



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

PEDRO GOMES DE OLIVEIRA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS ESTRUTURAIS PRÉ-
FABRICADOS DE CONCRETO: REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA E ANÁLISE
DE CASOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

BELÉM – PA
2026

PEDRO GOMES DE OLIVEIRA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS ESTRUTURAIS PRÉ- FABRICADOS
DE CONCRETO: REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA E ANÁLISE DE CASOS NA
REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Pina

BELÉM – PA
2026

PEDRO GOMES DE OLIVEIRA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM SISTEMAS ESTRUTURAIS PRÉ- FABRICADOS
DE CONCRETO: REVISÃO CRÍTICA DA LITERATURA E ANÁLISE DE CASOS NA
REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso
de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará,
como requisito parcial para a obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Pina

Data da Aprovação: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Mauricio de Pina Ferreira
Universidade Federal do Pará - UFPA

Prof. Dr. Manoel José Mangabeira Pereira Filho
Universidade Federal do Pará - UFPA

Ronaldson José de Franca Mendes Carneiro
Universidade Federal do Pará - UFPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, fonte suprema de sabedoria, fé, força e perseverança, que esteve presente em cada etapa desta trajetória acadêmica, concedendo-me saúde, discernimento, equilíbrio emocional e resiliência para enfrentar os desafios, superar as dificuldades e manter a constância necessária para a conclusão deste estudo, especialmente nos momentos de incerteza e cansaço, nos quais a fé se mostrou essencial para seguir adiante. Dedico, de maneira especial, ao meu orientador, **Professor Maurício Pina**, pela orientação segura, criteriosa e responsável, pela disponibilidade ao longo do desenvolvimento da pesquisa, pelo comprometimento acadêmico e pelas valiosas contribuições técnicas, científicas e metodológicas, que foram fundamentais para o amadurecimento intelectual, para a estruturação do trabalho e para o aprofundamento crítico dos temas abordados, exercendo papel decisivo na condução deste estudo. Estendo esta dedicatória a todos os **profissionais da área** que, de forma ética, colaborativa e voluntária, dedicaram parte de seu tempo para responder ao formulário que serviu como base empírica desta pesquisa, compartilhando experiências, percepções e conhecimentos técnicos que enriqueceram significativamente os resultados obtidos e possibilitaram uma aproximação mais consistente entre a produção acadêmica e a prática profissional. Dedico, ainda, aos **membros da comunidade acadêmica**, pesquisadores, docentes e autores que, por meio da elaboração de artigos científicos, livros, dissertações, teses e estudos técnicos, contribuíram de maneira inestimável para a fundamentação teórica deste trabalho, fornecendo subsídios conceituais, metodológicos e analíticos que permitiram a construção do referencial teórico, a interpretação crítica dos dados e o avanço do conhecimento na área estudada. Reconheço que este trabalho é fruto de um esforço coletivo, construído a partir da fé, da orientação acadêmica qualificada, da colaboração profissional e do legado científico deixado por gerações de pesquisadores que se dedicam à produção e à disseminação do saber, aos quais expresso meu profundo respeito, gratidão e reconhecimento, ciente de que cada contribuição, direta ou indireta, foi essencial para a realização e a qualidade desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha mãe, Andrea, e ao meu pai, Luiz, que sempre foram a base de tudo em minha vida. A vocês devo não apenas esta conquista acadêmica, mas também os valores, a educação, o incentivo constante e o apoio incondicional que me permitiram chegar até aqui. Cada esforço, conselho e demonstração de amor foram fundamentais para a minha formação pessoal e profissional, sendo essenciais em todos os momentos desta caminhada.

Agradeço, com imenso carinho, às minhas irmãs, Amanda e Luciana, pelo companheirismo, pela presença constante e pelo apoio ao longo de toda a minha trajetória. Estendo meus agradecimentos aos meus sobrinhos e afilhados, Francisco, Miguel e Roger, que, mesmo sem saber, foram fonte de alegria, motivação e inspiração nos momentos mais desafiadores. Agradeço também ao meu primo Diogo, ao meu tio Ari e ao meu padrinho Aníbal, que sempre estiveram presentes, reforçando a importância da família como meu maior alicerce e principal fonte de apoio.

Agradeço de forma especial à minha namorada, Adrielle, que durante todo o processo de desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso esteve ao meu lado, acompanhando cada etapa, oferecendo apoio emocional, compreensão, incentivo e auxílio sempre que precisei. Sua paciência, parceria e presença foram fundamentais para que este trabalho pudesse ser concluído com serenidade e dedicação.

Expresso minha gratidão ao meu tio Hawlley, à minha madrinha e tia Lana e ao meu primo Ari Filho, que foram grandes inspirações na área da engenharia, despertando em mim o interesse pela profissão e servindo como exemplos de comprometimento, ética e dedicação profissional, os quais influenciaram diretamente minhas escolhas e minha trajetória acadêmica.

Agradeço, também, aos amigos que fiz ao longo da graduação e nos locais onde trabalhei, que tornaram essa caminhada mais leve e significativa, em especial Uesley, Murilo e Christiane, pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento, pelo apoio nos desafios diários e pelas experiências compartilhadas que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Registro meu agradecimento à Quadra Engenharia e à Solest Engenharia, ambientes profissionais nos quais tive a oportunidade de aprender, desenvolver habilidades técnicas, adquirir experiência prática e me tornar um profissional mais preparado, consciente e responsável, contribuindo de forma decisiva para a minha formação como engenheiro.

RESUMO

A industrialização da construção civil tem ampliado o emprego de sistemas estruturais pré-fabricados de concreto, com ganhos de produtividade e padronização. Entretanto, o desempenho em serviço e a durabilidade desses sistemas são fortemente condicionados pela integração entre projeto, fabricação, transporte, montagem e manutenção, com ênfase nas ligações, juntas e interfaces, que concentram transferência de esforços, exigências de tolerâncias e requisitos de estanqueidade. Em ambientes de elevada umidade, como a Região Metropolitana de Belém, tais zonas tornam-se ainda mais suscetíveis ao ingresso de agentes agressivos, intensificando mecanismos de deterioração. Este trabalho analisou manifestações patológicas em estruturas pré-fabricadas por meio de revisão crítica da literatura técnica e científica, com foco em falhas e desempenho de conexões, e de pesquisa de campo baseada em questionário aplicado a profissionais atuantes na região. Os resultados indicam predominância de fissuração como manifestação mais frequente, porém com maior criticidade associada à infiltração em juntas e à corrosão localizada em inserts e dispositivos de ligação, evidenciando a interdependência entre fissuração, perda de estanqueidade e deterioração progressiva. Observou-se concentração das patologias nas conexões estruturais e interfaces, com forte associação a falhas executivas, especialmente na montagem, e a deficiências no controle de qualidade de grauteamento e vedação. Conclui-se que a redução de patologias depende prioritariamente da gestão das interfaces ao longo do ciclo de vida, com detalhamento rigoroso, controle de tolerâncias, procedimentos executivos padronizados, capacitação das equipes e inspeção/manutenção sistemáticas, adequadas às condições ambientais locais.

Palavras-chave: Estruturas pré-fabricadas. Patologia das construções. Conexões e juntas. Durabilidade do concreto. Região Metropolitana de Belém.

ABSTRACT

The industrialization of the construction sector has increased the adoption of precast concrete structural systems due to productivity gains and process standardization. However, in-service performance and durability depend on the integrated control of design, manufacturing, transportation, erection, and maintenance, with particular emphasis on connections, joints, and interfaces. These regions concentrate force transfer, erection tolerances, and watertightness requirements and, under high-humidity exposure such as in the Belém Metropolitan Region, they become more vulnerable to the ingress of aggressive agents and accelerated deterioration mechanisms. This study investigates pathological manifestations in precast concrete structures through a critical review of technical and scientific literature focused on connection performance and failure modes, combined with a field survey using a questionnaire administered to construction professionals operating in the region. The findings indicate cracking as the most frequently reported manifestation; nevertheless, joint leakage and localized corrosion of inserts and connection hardware are identified as more critical, highlighting the coupled relationship between cracking, loss of watertightness, and progressive deterioration. Reported damage concentrates at structural connections and interfaces and is strongly associated with execution-related deficiencies, especially during erection, including inadequate quality control of grouting and sealing. The study concludes that mitigating pathological manifestations primarily requires lifecycle-oriented interface management, including rigorous connection detailing, tolerance control, standardized erection procedures, workforce training, and systematic inspection and preventive maintenance tailored to local environmental conditions.

Keywords: Precast concrete structures. Building pathology. Connections and joints. Concrete durability. Belém Metropolitan Region.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	8
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	8
2 OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. JUSTIFICATIVA	9
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
4.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO	10
4.2 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES: CONCEITOS FUNDAMENTAIS	12
4.3 DURABILIDADE E AGENTES DE DETERIORAÇÃO.....	13
4.4 JUNTAS, CONEXÕES E INTERFACES COMO ZONAS CRÍTICAS.....	17
4.5 ESTUDOS INTERNACIONAIS SOBRE FALHAS E DESEMPENHO DE CONEXÕES	19
5 METODOLOGIA.....	22
5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA	22
5.2 ESTUDO CONCEITUAL DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS	24
5.3 ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	24
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
7 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS.....	32
APÊNDICE - A	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A industrialização da construção civil tem impulsionado a adoção de sistemas estruturais pré-fabricados de concreto, em razão de ganhos de produtividade, padronização e racionalização do processo construtivo, com elementos produzidos previamente e posteriormente transportados e montados em obra. Apesar dessas vantagens, o desempenho em serviço desses sistemas depende do funcionamento integrado entre projeto, fabricação, transporte, montagem e manutenção, uma vez que o comportamento estrutural e a durabilidade não são determinados apenas pelos elementos isolados, mas especialmente pelo desempenho das ligações, juntas e interfaces entre componentes. Essas regiões concentram transferência de esforços, exigências de tolerâncias e condições de estanqueidade, configurando-se como zonas de maior vulnerabilidade ao surgimento e à evolução de manifestações patológicas.

No contexto da Região Metropolitana de Belém, características ambientais como elevada umidade e condições potencialmente agressivas tendem a intensificar mecanismos de deterioração e agravar efeitos associados a falhas de execução e controle de qualidade, especialmente em regiões de junta e conexão, nas quais a entrada de água e agentes agressivos pode acelerar processos de fissuração, infiltração e corrosão localizada. Dessa forma, compreender como essas manifestações ocorrem, em quais regiões se concentram e quais fatores condicionantes predominam torna-se relevante tanto para a interpretação técnica dos problemas quanto para a proposição de diretrizes de prevenção e mitigação compatíveis com a realidade regional.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando a recorrência de manifestações patológicas em estruturas pré-fabricadas de concreto e a criticidade de juntas, conexões e interfaces para o desempenho e a durabilidade do sistema, quais são as manifestações patológicas mais frequentes observadas em sistemas estruturais pré-fabricados na Região Metropolitana de Belém, em que regiões do sistema elas se concentram e quais fatores predominantes (especialmente ligados à execução, ao controle de qualidade e à fase de montagem) estão associados à sua ocorrência, à luz do que é discutido na literatura técnica e científica?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar as manifestações patológicas em sistemas estruturais pré-fabricados de concreto, a partir de uma revisão crítica da literatura técnica e científica, identificando as patologias mais recorrentes, suas causas predominantes e as principais estratégias de prevenção e mitigação apontadas pelos estudos existentes. Adicionalmente, busca-se levantar, por meio de questionário aplicado a engenheiros e demais profissionais da construção civil, a percepção sobre as patologias mais frequentes na Região Metropolitana de Belém, de modo a comparar os padrões descritos na literatura com a realidade observada na prática regional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivo específico identificar e analisar, com base na revisão crítica da literatura e na pesquisa de campo na Região Metropolitana de Belém, as principais manifestações patológicas em sistemas pré-fabricados de concreto, com ênfase em juntas, conexões e interfaces, relacionando-as às causas, fases críticas de ocorrência, consequências e medidas e preventivas corretivas adotadas.

3. JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo justifica-se pela crescente utilização de sistemas estruturais pré-fabricados de concreto na construção civil e pela recorrência de manifestações patológicas associadas, especialmente em juntas, conexões e interfaces, regiões críticas que concentram elevadas solicitações estruturais e maior sensibilidade a falhas de projeto, execução e manutenção. No contexto da Região Metropolitana de Belém, características ambientais como elevada umidade e condições potencialmente agressivas, aliadas a variabilidades nos processos construtivos, podem intensificar a ocorrência e a evolução dessas patologias, comprometendo o desempenho, a durabilidade e, em situações mais severas, a segurança das estruturas. Assim, o estudo torna-se relevante ao integrar evidências da literatura técnica com dados de campo obtidos junto a profissionais atuantes na região, contribuindo para a compreensão dos mecanismos patológicos, a

identificação de padrões recorrentes e o aprimoramento de práticas preventivas e corretivas aplicáveis a estruturas pré-fabricadas de concreto.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

Os sistemas estruturais pré-fabricados de concreto baseiam-se na produção prévia de elementos estruturais fora de sua posição definitiva, com posterior transporte e montagem na obra, sob uma lógica de maior industrialização e racionalização do processo construtivo. A ABNT NBR 9062 enquadra esse conceito ao tratar do projeto, execução e controle de estruturas de concreto pré-moldado, reforçando a necessidade de compatibilização entre concepção, fabricação e montagem (ABNT, 2017). No âmbito técnico, a distinção entre pré-moldado e pré-fabricado é relevante porque o segundo tende a se associar a rotinas industriais mais sistematizadas e controle tecnológico mais rigoroso, com repercussões diretas em desempenho, tolerâncias e repetibilidade produtiva (EL DEBS, 2017).

Quanto aos arranjos estruturais, a aplicação do pré-fabricado pode ocorrer por meio de pórticos viga-pilar, sistemas de painéis (estruturais ou de fachada), lajes pré-fabricadas e soluções modulares, escolhidos conforme tipologia, vãos, demandas arquitetônicas e estratégia de montagem. Em especial, referências internacionais de projeto consolidam a adoção de sistemas em esqueleto estrutural e a necessidade de considerar, desde a concepção, os caminhos de carga e a estabilidade global com base no comportamento das ligações (PCI, 2010). Para edificações com elementos planos e repetitivos, a literatura técnica também destaca o emprego de lajes e painéis pré-fabricados como alternativa para produtividade e padronização, desde que haja detalhamento adequado das interfaces e das juntas (FIB, 2013).

O ciclo de produção e implantação do sistema envolve, de forma integrada, projeto, fabricação, cura, estocagem, transporte e montagem, com impactos diretos na qualidade final e no risco de danos durante a execução. A ABNT NBR 14931 estabelece requisitos gerais para a execução de estruturas de concreto e delimita que a produção de elementos pré-moldados deve seguir diretrizes específicas, o que reforça a importância de procedimentos e registros de controle tecnológico (ABNT, 2004). Em complemento, a bibliografia especializada enfatiza que o projeto deve incorporar condicionantes de fabricação e montagem (por exemplo, modulação, pontos de

içamento, sequência de montagem e tolerâncias), pois incompatibilidades nessas etapas tendem a gerar retrabalhos e concentrações de tensões não previstas (EL DEBS, 2017).

As ligações e juntas entre elementos são componentes críticos do sistema pré-fabricado, pois governam a transferência de esforços, a estabilidade global e a robustez estrutural em serviço. Uma síntese de pesquisas aplicada ao setor produtivo destaca que as ligações são “as partes mais importantes no projeto” dessas estruturas e discute soluções típicas como cálice pilar–fundação, apoios, interfaces e ligações viga–pilar, ressaltando o papel de materiais de interface, grauteamento e dispositivos metálicos na resposta estrutural (EL DEBS, 2020). Em termos normativos, a ABNT NBR 9062 reforça que o desempenho das estruturas pré-moldadas depende da adequada especificação e execução das ligações, incluindo tolerâncias e controle durante a montagem, dada a sensibilidade das interfaces (ABNT, 2017).

Sob a ótica do desempenho e da durabilidade, os pontos críticos do sistema se concentram nas regiões de ligação e nas interfaces, onde tolerâncias, cobrimentos, fissuração e estanqueidade podem favorecer a entrada de agentes agressivos e acelerar processos de deterioração. A ABNT NBR 6118 estabelece critérios de durabilidade associados às classes de agressividade ambiental, cobrimento mínimo e controle de fissuração, os quais devem ser rigorosamente atendidos também em estruturas pré-fabricadas (ABNT, 2014). Assim, a compreensão do funcionamento global do sistema, dos elementos e, sobretudo, das ligações e interfaces constitui base conceitual indispensável para interpretar manifestações patológicas típicas em estruturas pré-fabricadas de concreto, tema desenvolvido nos capítulos seguintes (SOUZA; RIPPER, 2009) (Figura 1).

Figura 1 - Arranjos estruturais de sistemas pré-moldados



Fonte: Autoral (2026).

4.2 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES: CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A patologia das construções é o campo técnico que estuda as anomalias em edificações e sistemas construtivos, abrangendo suas origens, mecanismos de ocorrência, manifestações e consequências sobre o desempenho ao longo do tempo. Nesse contexto, é essencial diferenciar manifestação patológica (efeito observado, como fissuras, infiltrações e corrosão) de causa (origem do problema), mecanismo (processo físico-químico ou mecânico de deterioração) e consequência (impacto funcional, estético ou estrutural), pois a intervenção adequada depende do diagnóstico correto e não apenas do “sintoma” visível (SOUZA; RIPPER, 2009).

A abordagem normativa conecta patologia a desempenho e vida útil ao estabelecer que o atendimento aos requisitos de desempenho deve ser mantido ao longo de um período esperado de uso, desde que cumpridas condições de utilização e manutenção compatíveis. Nesse sentido, a ABNT NBR 15575 estrutura requisitos de desempenho para edificações habitacionais e introduz a perspectiva de vida útil de projeto como referência para desempenho esperado, reforçando que a degradação pode comprometer o atendimento a esses requisitos quando não controlada (ABNT, 2013). Para sistemas em concreto, a durabilidade também se relaciona diretamente às condições ambientais e às medidas de projeto e execução voltadas a limitar a deterioração (ABNT, 2014).

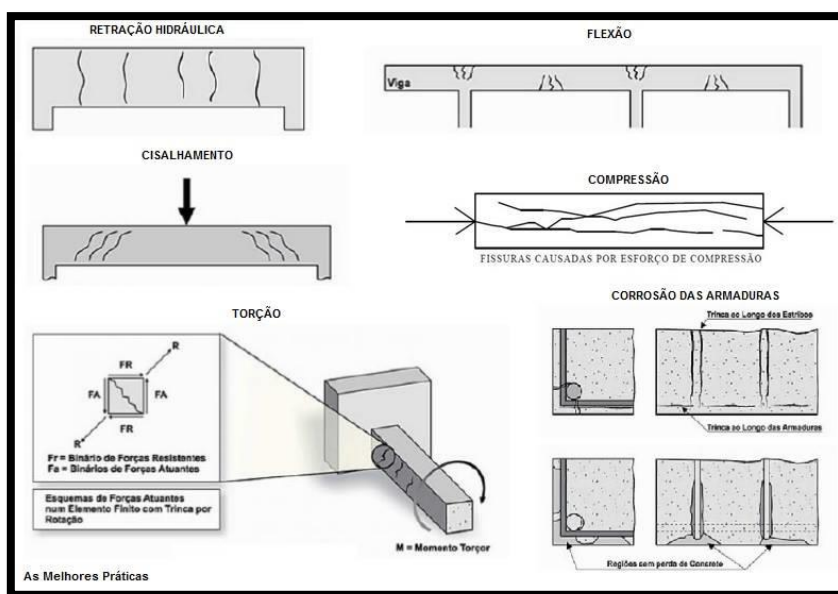
As principais origens das patologias podem ser agrupadas em falhas de projeto (concepção, detalhamento e compatibilização), inadequações de materiais (seleção, especificação e variabilidade), deficiências de execução (controle tecnológico, cobrimento, cura e qualidade de interfaces), além de condições ambientais agressivas e uso/manutenção inadequados. Em estruturas de concreto, muitos processos patológicos decorrem da interação entre transporte de agentes agressivos (água, cloretos, CO_2), microfissuração, porosidade e reações químicas, que podem culminar em perda de proteção da armadura e deterioração acelerada (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A compreensão dessas origens é indispensável para distinguir anomalias primárias (causais) de danos secundários (decorrentes).

O diagnóstico patológico deve seguir uma lógica sistemática: inspeção, levantamento e registro das manifestações, mapeamento de danos, classificação por severidade e extensão, e formulação de hipóteses de causa e mecanismo, que podem exigir ensaios e verificações complementares. A gestão da manutenção é parte integrante dessa lógica, pois atua tanto na prevenção quanto na interrupção da progressão dos danos, conforme a ABNT NBR 5674 ao definir

requisitos para o sistema de gestão de manutenção em edificações (ABNT, 2012). Além disso, a ABNT NBR 14037 reforça a importância de diretrizes e informações ao usuário por meio do manual de uso, operação e manutenção, reduzindo a probabilidade de falhas por uso inadequado (ABNT, 2020).

Aplicando esses conceitos ao escopo deste trabalho, a patologia em sistemas estruturais pré-fabricados de concreto exige atenção especial às interfaces e ligações entre elementos, onde tolerâncias, estanqueidade e proteção de armaduras podem governar o desempenho em serviço e a durabilidade (Figura 2). Assim, a base conceitual apresentada permite interpretar, de forma crítica, como manifestações observadas se relacionam a falhas de projeto, execução, materiais, ambiente e manutenção, orientando a análise de casos em estruturas pré-fabricadas na Região Metropolitana de Belém (SOUZA; RIPPER, 2009).

Figura 2 - Exemplos de patologias diversas em estruturas



Fonte: Google Imagens (2026).

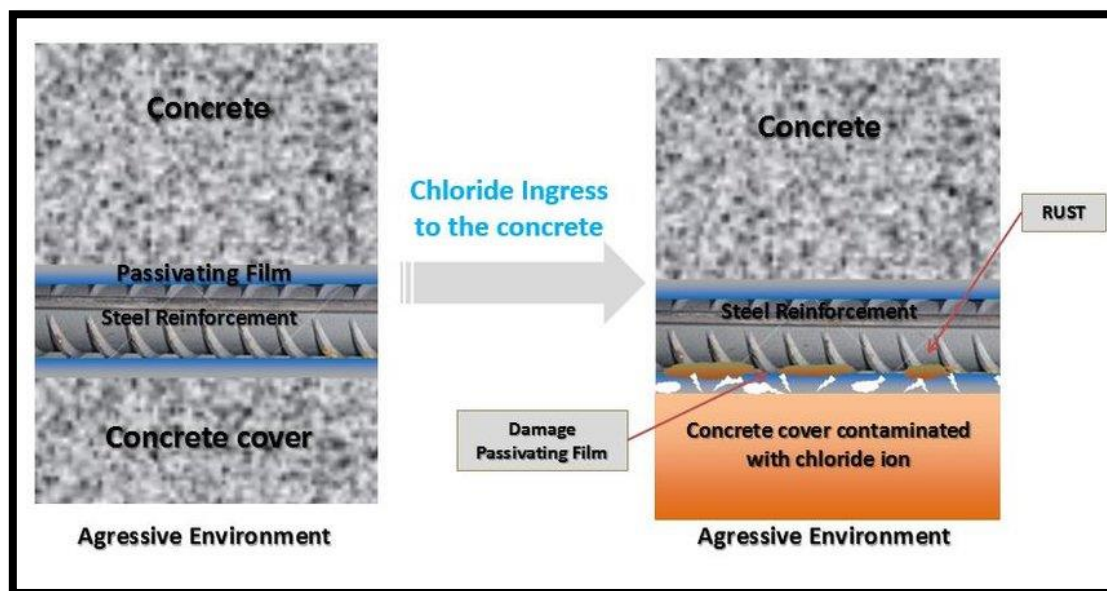
4.3 DURABILIDADE E AGENTES DE DETERIORAÇÃO

A durabilidade, no contexto das estruturas de concreto, pode ser entendida como a capacidade de manter, ao longo do tempo, as propriedades necessárias ao atendimento das funções previstas, considerando o ambiente de exposição e as condições de uso e manutenção. No enfoque

de desempenho, a ABNT NBR 15575 associa o atendimento de requisitos ao longo da vida útil de projeto à adoção de diretrizes de uso e manutenção compatíveis (ABNT, 2013). Para estruturas de concreto, a ABNT NBR 6118 explicita que a durabilidade deve ser tratada no projeto por meio de medidas coerentes com a agressividade ambiental, incluindo parâmetros de cobrimento, controle de fissuração e qualidade do concreto (ABNT, 2014).

Os mecanismos de deterioração mais relevantes em concreto armado incluem a carbonatação e a penetração de cloretos, por atuarem diretamente na despassivação do aço e no desencadeamento da corrosão, fenômeno com forte impacto sobre desempenho e vida útil. A carbonatação reduz a alcalinidade do concreto, e, ao atingir a armadura, favorece o início da corrosão em condições de umidade adequadas (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Já o ingresso de cloretos, recorrente em regiões de influência marinha, pode acelerar a despassivação e reduzir a vida útil, demandando modelos de previsão e parâmetros coerentes com a exposição ambiental (SILVA; LEONEL, 2024).

Figura 3 - Esquema mecanismo de carbonatação e cloretos

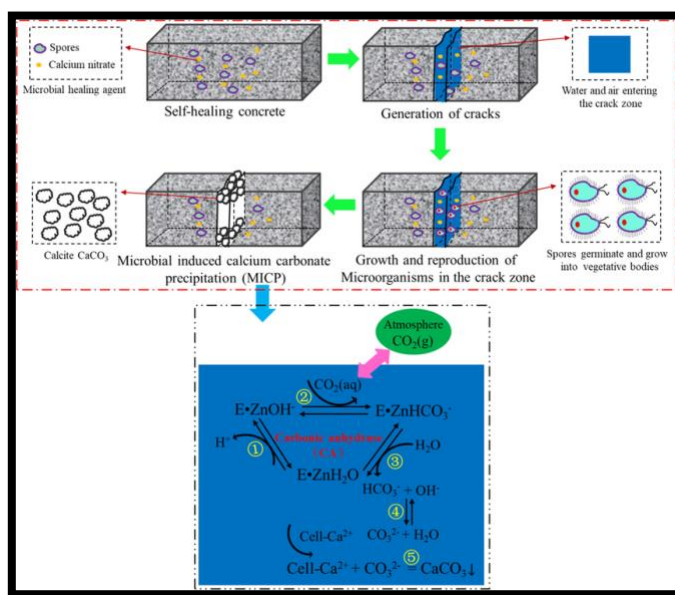


Autor: Pryo Suprobo (2017).

Além desses processos, a durabilidade também é condicionada por agentes químicos e físicos como lixiviação, ataque por sulfatos, reação álcali-agregado, abrasão/erosão e variações térmicas e higrométricas, que atuam de forma combinada e podem intensificar o transporte de fluidos e íons na rede porosa do material. A permeabilidade e a fissuração, por sua vez,

desempenham papel central por controlarem a facilidade de entrada de agentes agressivos e a manutenção de umidade no interior do concreto, influenciando tanto a cinética de reações quanto a progressão de danos (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Nesse cenário, vem ganhando relevância a avaliação por indicadores de durabilidade e abordagens baseadas em desempenho, pois concretos que atendem aos mesmos limites prescritivos podem apresentar potenciais de durabilidade distintos quando submetidos ao mesmo ambiente (WALLY; MAGALHÃES; SILVA FILHO, 2020).

Figura 4 - Diagrama de permeabilidade/fissuração e transporte de agentes



Fonte: Research Gate, Le Zhe Fang (2021).

As medidas de prevenção e mitigação envolvem a definição de requisitos do concreto (propriedades e verificação), a adequação do cobrimento e do detalhamento para controle de fissuração, além do rigor no controle de execução e cura, de modo a limitar a conectividade de poros e a entrada de agentes agressivos. A ABNT NBR 6118 estabelece diretrizes para compatibilizar cobrimento e controle de fissuras com a classe de agressividade ambiental, integrando a durabilidade às decisões de projeto (ABNT, 2014). Em complemento, requisitos de preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto são fundamentais para reduzir variabilidades e assegurar que o material executado se aproxime do desempenho esperado em projeto (ABNT, 2015).

Em sistemas pré-fabricados de concreto, esses mecanismos assumem particular relevância nas interfaces, ligações e juntas, onde tolerâncias, descontinuidades geométricas, heterogeneidades

locais e eventuais falhas de estanqueidade podem favorecer a entrada de água, CO₂ e cloretos. Nesses pontos, a durabilidade depende tanto da qualidade intrínseca do concreto quanto do controle de execução das regiões de ligação, que tende a governar o comportamento em serviço e o risco de manifestações patológicas associadas à corrosão, infiltrações e fissuração localizada (WALLY; MAGALHÃES; SILVA FILHO, 2020). Assim, a análise de durabilidade em estruturas pré-fabricadas deve privilegiar o entendimento dos agentes de deterioração e sua interação com interfaces e detalhes construtivos, estabelecendo uma ponte direta com o estudo de patologias no sistema.

Figura 5 - Fissuração em torno de Pilar Pré-moldado



Fonte: Carvalho (2019).

Figura 6 - Carbonatação em armaduras de concreto



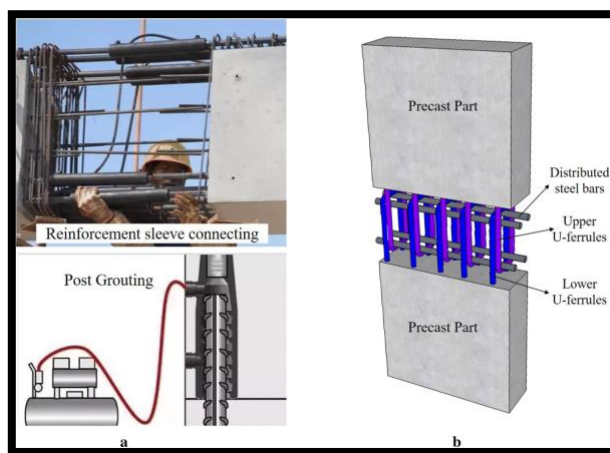
Fonte: Antonio Neves (2024).

4.4 JUNTAS, CONEXÕES E INTERFACES COMO ZONAS CRÍTICAS

Em estruturas pré-fabricadas de concreto, juntas, conexões e interfaces constituem regiões críticas porque concentram a transferência de esforços entre elementos e condicionam a estabilidade global do sistema, ao mesmo tempo em que incorporam descontinuidades geométricas e construtivas inerentes à montagem. A ABNT NBR 9062 trata essas regiões como parte essencial do projeto e da execução, pois o comportamento estrutural não depende apenas dos elementos isolados, mas do desempenho conjunto e compatibilizado do sistema durante e após a montagem (ABNT, 2017). Em manuais de projeto de pré-fabricados, a confiabilidade estrutural é associada diretamente ao desempenho das conexões, que definem rigidez, redistribuição de esforços e robustez do conjunto, sobretudo frente a ações horizontais e efeitos de segunda ordem (PCI, 2010).

Do ponto de vista construtivo, o caráter “crítico” dessas zonas decorre também do acoplamento entre tolerâncias, sequência de montagem e execução dos detalhes, fatores que podem gerar excentricidades não previstas, aberturas de juntas e concentrações de tensões. Em sistemas pré-fabricados, pequenas incompatibilidades geométricas podem se traduzir em ajustes em obra com consequências estruturais e de durabilidade, especialmente quando envolvem regiões de apoio, consolos, inserts e dispositivos metálicos (ABNT, 2017). A literatura especializada ressalta que as ligações são determinantes para o desempenho do sistema e que sua concepção deve considerar simultaneamente requisitos estruturais e construtivos, evitando soluções que transfiram para a obra variabilidades que deveriam ser resolvidas em projeto (EL DEBS, 2020).

Figura 7 - Construction details of the grouted sleeve connection and previous U-type reinforcement ferrule connection: a the grouted sleeve connection; b the U-type reinforcement ferrule connection.



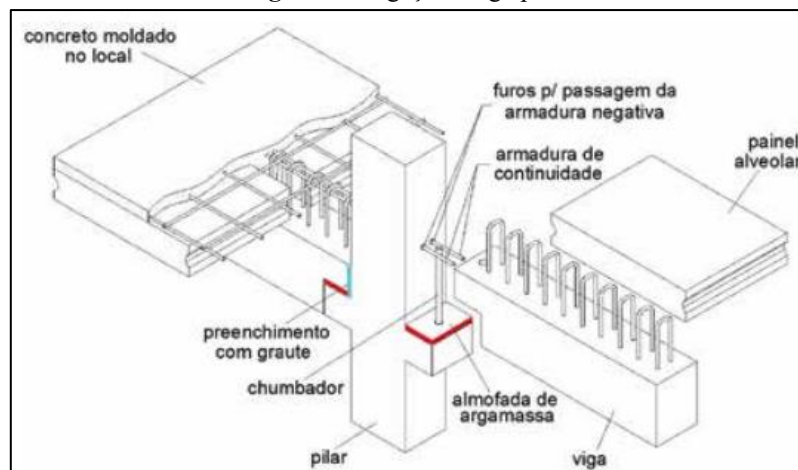
Fonte: Zhiwu Yu (2019).

As ligações típicas incluem soluções por grauteamento, chumbadores e barras de continuidade, soldas em dispositivos metálicos, juntas secas e juntas com elastômeros, além de alternativas com protensão em aplicações específicas. Em termos funcionais, essas ligações podem atuar com predominância estrutural (transferência de esforços e rigidez), construtiva (ajuste e montagem) e de estanqueidade (controle de entrada de água e agentes agressivos), sendo comum que uma mesma ligação acumule mais de uma função. Para que esse conjunto opere adequadamente, os procedimentos executivos — posicionamento, nivelamento, apoio, preenchimento com graute, soldagem e cura — devem ser controlados de forma compatível com as exigências do sistema, conforme diretrizes gerais de execução e controle previstas para estruturas de concreto (ABNT, 2004). Na prática, falhas de execução nessas etapas tendem a se manifestar como fissuração localizada, perda de apoio efetivo ou deficiência de aderência e ancoragem, com reflexos no desempenho global (EL DEBS, 2020).

Sob a ótica da durabilidade, interfaces e juntas são zonas preferenciais de ingresso de água, CO₂ e cloretos, sobretudo quando há descontinuidade de cobrimento, microfissuração ou perda de estanqueidade, aumentando a probabilidade de corrosão e destacamento do cobrimento. A ABNT NBR 6118 estabelece requisitos de durabilidade associados à classe de agressividade ambiental, cobrimento mínimo e controle de fissuração, parâmetros que se tornam particularmente sensíveis justamente nas regiões de ligação e transição entre elementos (ABNT, 2014). Em materiais cimentícios, a permeabilidade e a fissuração governam o transporte de agentes agressivos e a cinética de deterioração, o que reforça a necessidade de detalhamento e execução que minimizem caminhos preferenciais de penetração nessas zonas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Assim, juntas, conexões e interfaces configuram zonas críticas por reunirem, simultaneamente, demandas estruturais (transferência de esforços e estabilidade), demandas construtivas (tolerâncias e montagem) e demandas de durabilidade (estanqueidade e proteção das armaduras). Em inspeções de campo, é comum que manifestações patológicas em sistemas pré-fabricados se iniciem ou se tornem mais evidentes nessas regiões, por meio de infiltrações, eflorescências, corrosão em *inserts* e fissuração em apoios e grauteamentos, indicando falhas de concepção, execução ou manutenção (SOUZA; RIPPER, 2009). Dessa forma, a análise dessas zonas críticas é central para interpretar, com base técnica, a ocorrência e a evolução das patologias em estruturas pré-fabricadas, constituindo eixo de leitura para os casos investigados neste TCC (EL DEBS, 2020).

Figura 8 - Ligação Viga pilar



Fonte: El Debs (2020).

4.5 ESTUDOS INTERNACIONAIS SOBRE FALHAS E DESEMPENHO DE CONEXÕES

Em sistemas estruturais pré-fabricados, conexões e interfaces governam não apenas a transferência de esforços entre elementos, mas também a rigidez global, a robustez e a previsibilidade do mecanismo resistente. Por isso, a literatura internacional trata as conexões como componentes do sistema estrutural, e não como “detalhes locais”, enfatizando que escolhas de tipologia (seca, grauteada, soldada, com dispositivos metálicos, elastomérica ou protendida) devem ser coerentes com o modelo estrutural e com a estratégia de redistribuição de esforços ao longo da vida útil (FIB, 2008). Nessa perspectiva sistêmica, falhas recorrentes reportadas incluem mecanismos frágeis por cisalhamento/arrancamento de *inserts* e chumbadores, fendilhamento e esmagamento do concreto em regiões de apoio, ruptura por falta de confinamento local e degradação progressiva por dano acumulado em interfaces com descontinuidades geométricas (FIB, 2008).

Sob ações cíclicas e eventos sísmicos, os estudos destacam que o desempenho satisfatório requer ductilidade, capacidade de dissipação de energia e controle de degradação de rigidez/resistência, evitando mecanismos frágeis antecipados. Ensaios experimentais com ligações híbridas em pórticos pré-fabricados apontam que detalhes soldados e componentes metálicos podem concentrar deformações e induzir fissuração na região de conexão quando não há hierarquia resistente e detalhamento apropriado de transferência e ancoragem (GIRGIN; MISIR; KAHRAMAN, 2017). Assim, recomenda-se que conexões em regiões sísmicas sejam concebidas para desenvolver mecanismos previsíveis (por exemplo, escoamento controlado) e para manter

integridade mesmo com grandes rotações e reversões de esforços (GIRGIN; MISIR; KAHRAMAN, 2017).

Figura 9 - Ruptura em ligação viga-pilar devido a rotação



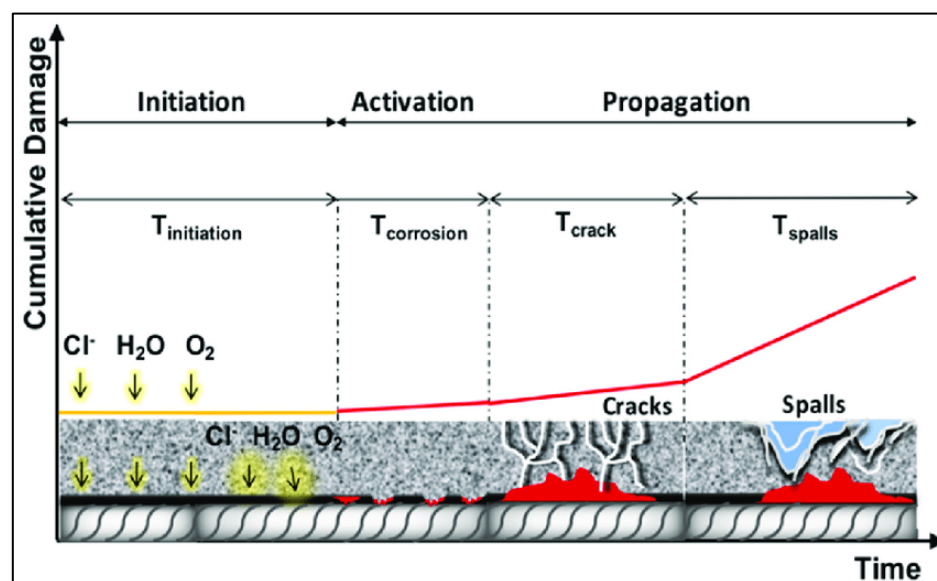
Fonte: GIRGIN; MISIR; KAHRAMAN, (2017).

As evidências internacionais também enfatizam o papel crítico de diafragmas e juntas entre elementos planos (lajes/painéis), onde a perda de continuidade e deformabilidade de conectores pode levar a fissuração extensa, perda de caminho de forças e amplificação de danos. Guias de referência para diafragmas pré-fabricados sistematizam a necessidade de compatibilizar demanda de deslocamentos com capacidade dos conectores, sobretudo em sistemas com ou sem capa moldada “in loco”, destacando que o desempenho global pode ser limitado por falhas localizadas de junta e por degradação acumulada em carregamentos cíclicos (GHOSH; CLELAND; NAITO, 2017). Nessa mesma linha, documentos de provisões sísmicas reforçam que a segurança depende de caminhos de força contínuos e de detalhes que evitem colapsos progressivos, o que confere papel decisivo ao projeto e à execução de conexões (FEMA, 2003).

No horizonte de vida útil, os estudos internacionais indicam que a degradação ambiental atua de modo preferencial nas juntas e interfaces, especialmente quando há perda de estanqueidade, abrindo caminho para água e agentes agressivos que aceleram corrosão de componentes metálicos, deterioração de grautes e destacamentos. Em estruturas como edifícios-garagem pré-fabricados, diretrizes técnicas destacam juntas como pontos de recorrente manutenção corretiva, justamente porque movimentos, tolerâncias e drenagem inadequada podem comprometer o sistema de vedação,

favorecendo infiltrações e degradação de conectores e inserts ao longo do tempo (BAUR et al., 2007). Dessa forma, falhas por corrosão e por perda de estanqueidade não são apenas “patologias de acabamento”, mas fatores que podem reduzir capacidade resistente e confiabilidade das conexões (BAUR et al., 2007).

Figura 10 - Initiation and propagation of the corrosion of reinforcing steel in concrete



Fotnte: Tuutti (2020).

Como implicações práticas, a síntese internacional converge para três diretrizes: (i) projeto e detalhamento orientados por caminhos de força, hierarquia resistente e deformabilidade compatível com ações (incluindo cíclicas); (ii) controle de fabricação/montagem que assegure tolerâncias, posicionamento e execução dos componentes (grautes, soldas, chumbadores e inserts); e (iii) inspeção e manutenção focadas em sinais precursores nas zonas críticas (abertura de juntas, fissuras localizadas, umidade persistente, eflorescências e corrosão aparente). Para a ponte com o contexto brasileiro, esses achados auxiliam a interpretar manifestações patológicas em conexões e interfaces de pré-fabricados como efeitos combinados de concepção, execução e exposição ambiental, alinhando a leitura de campo com requisitos nacionais aplicáveis às estruturas pré-moldadas (ABNT, 2017).

5 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi estruturada para compreender manifestações patológicas em sistemas estruturais pré-fabricados de concreto por meio de duas frentes complementares: (i) revisão bibliográfica sistematizada, voltada à identificação do estado da arte internacional sobre desempenho e falhas de conexões e regiões de interface; e (ii) pesquisa de campo na Região Metropolitana de Belém (RMB), baseada em formulário aplicado a profissionais com experiência em pré-fabricados, visando registrar a ocorrência, frequência e percepção técnica sobre causas, consequências e formas de tratamento das patologias. Do ponto de vista metodológico, a investigação se classifica como aplicada (orientada à compreensão de um problema técnico com potencial de subsidiar práticas de inspeção e mitigação), com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), objetivos exploratórios e descritivos, e procedimentos técnicos de revisão bibliográfica e levantamento (survey) em ambiente digital, conforme tipologias consagradas em manuais de metodologia científica (GIL, 2019).

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA

A revisão bibliográfica foi conduzida de forma sistematizada, com foco em publicações internacionais diretamente relacionadas a falhas, desempenho e durabilidade de conexões em estruturas pré-fabricadas (juntas grauteadas, soldadas, chumbadores/inserts, ligações de paredes e diafragmas). As buscas foram realizadas em bases e portais reconhecidos (ex.: *ASCE Library*, *Elsevier/ScienceDirect*, *Springer*, *Taylor & Francis*, *Wiley*, além de repositórios de acesso aberto como PubMed Central e relatórios técnicos institucionais).

Como estratégia de busca, empregaram-se combinações de descritores em inglês, tais como *precast concrete*, *connection*, *joint*, *defect*, *failure*, *durability*, *corrosion*, *leakage*, *grouted sleeve*, *seismic* e *cyclic*, ajustando filtros por relevância, área e disponibilidade de acesso ao texto completo. Para seleção, adotaram-se como critérios de inclusão: aderência direta ao tema (conexões/juntas/ interfaces em pré-fabricados), qualidade e rastreabilidade (periódicos indexados, editoras técnicas ou relatórios institucionais), e possibilidade de consulta (open access, DOI estável ou PDF institucional). Foram excluídos materiais sem identificação bibliográfica verificável, duplicados, ou com foco genérico sem conexão com mecanismos/falhas de ligações. A etapa de triagem resultou em um conjunto-base de estudos utilizados para orientar o recorte conceitual e apoiar a análise comparativa dos dados de campo; um subconjunto representativo (5–10 trabalhos)

é apresentado na Tabela 1. Exemplos de estudos selecionados incluem investigações experimentais sobre reabilitação de ligações defeituosas em segmentos pré-moldados (ELNAGGAR; OMAR; YASSIN, 2023) e análises de defeitos de qualidade em juntas horizontais de paredes pré-fabricadas, com impactos em resistência e rigidez sob carregamentos quase-estáticos (CHU *et al.*, 2025).

Tabela 1- Tabela de artigos da Revisão Bibliográfica Sistematizada

Autores	Ano	Título do Trabalho	Tipo de Estudo	Patologias Abordadas
Elnaggar; Omar; Yassin	2023	<i>Rehabilitation of defective connections between two precast concrete segments (experimental and analytical study)</i>	Experimental + analítico	Defeitos em ligação, perda de capacidade, estratégias de reabilitação na região de conexão
Girgin; Misir; Kahraman	2017	<i>Experimental Cyclic Behavior of Precast Hybrid Beam-Column Connections with Welded Components</i>	Experimental (cíclico)	Degradação sob ações cíclicas, fissuração/danos em conexão, ductilidade e rigidez
Xiao; Fomin	2024	<i>Development and systematic review of connection techniques for RC Precast structural elements: Beam and Column Connection</i>	Revisão sistemática	Modos recorrentes de falha, vulnerabilidades por detalhamento/execução, desempenho de técnicas de conexão
Moon; Kim; Lee	2024	<i>Experimental Evaluation of Precast Concrete Walls with High-Tension Bolted Vertical Joints for Enhanced Ductile Behavior</i>	Experimental	Desempenho de junta vertical, controle de fissuração/danos, influência de solução de conexão
Chu; Zhang; Liu; Wu; Dong	2025	<i>Experimental Research on Mechanical Behaviour of Precast Concrete Shear Walls with Horizontal Joint Quality Defects</i>	Experimental + modelagem	Defeitos de execução em juntas, redução de resistência/rigidez, degradação de desempenho

fib (Task Group / Bulletin)	2008	<i>Structural connections for precast concrete buildings (fib Bulletin 43)</i>	Guia técnico (estado da prática)	Regiões críticas em conexões, tolerâncias, juntas e riscos de infiltração/durabilidade
FEMA	2003	<i>NEHRP Recommended Provisions... (FEMA 450)</i>	Norma-guia/Provisões	Exigência de caminhos de força, detalhamento e desempenho em ações sísmicas (impacto em conexões)
PCI (paper técnico)	2017	<i>Distress and Repair of Precast Parking Structure Decks</i>	Documento técnico/aplicado	Infiltrações em juntas, degradação e reparo em zonas de junta e “pour strips”

Fonte: O autor (2026).

5.2 ESTUDO CONCEITUAL DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS

A partir do material selecionado na revisão, foi realizado um estudo conceitual dirigido para organizar a compreensão dos mecanismos de ocorrência de manifestações patológicas em pré-fabricados, com ênfase em conexões, juntas e interfaces, por serem zonas de descontinuidade geométrica, de compatibilização de tolerâncias e de concentração de tensões e deformações. Nessa etapa, os achados foram consolidados em uma matriz conceitual de apoio (não necessariamente apresentada como quadro no texto final), relacionando “manifestação observável” (ex.: fissuração localizada, abertura de junta, infiltração, corrosão aparente) com “fatores condicionantes” (detalhamento, sequência de montagem, qualidade do graute, proteção e vedação, agressividade ambiental). O objetivo foi assegurar coerência entre o referencial técnico internacional e a leitura de campo que seria capturada pelo instrumento de pesquisa, tomando como referência guias técnicos de conexões em pré-fabricados e evidências de desempenho sob ações cíclicas (FIB, 2008).

5.3 ELABORAÇÃO DO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

A pesquisa de campo foi estruturada por meio de formulário digital composto por 13 perguntas, elaborado para captar a experiência prática de profissionais que já atuaram com estruturas pré-fabricadas de concreto na RMB. O instrumento foi desenhado para levantar, de forma padronizada, (i) as patologias mais frequentes percebidas em elementos e, sobretudo, em

juntas e conexões; (ii) causas prováveis (projeto/detalhamento, fabricação, transporte, montagem, execução do graute, vedação, manutenção); (iii) consequências (perda de desempenho, infiltrações, necessidade de reparo, risco de corrosão/comprometimento local); e (iv) medidas de tratamento/mitigação (selagem, recomposição, reforço local, melhorias de execução, inspeção e manutenção). A opção pelo formulário se justifica por permitir levantar padrões de ocorrência e percepções técnicas de modo economicamente viável, favorecendo tanto a descrição quantitativa (frequências) quanto a interpretação qualitativa (justificativas e comentários), coerente com uma abordagem mista (CRESWELL, 2014).

5.4 APLICAÇÃO DO FORMULÁRIO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O formulário foi aplicado em meio digital, com convite direcionado a profissionais com experiência anterior em obras, montagem, projeto, fiscalização, produção ou manutenção de sistemas pré-fabricados de concreto, preservando o anonimato dos participantes. O recorte espacial foi definido como a Região Metropolitana de Belém, de modo a captar a realidade local de exposição ambiental, práticas executivas e contexto construtivo, compatibilizando-se com o objetivo do TCC de analisar ocorrências regionais. A caracterização da amostra deve ser apresentada de forma ética e técnica (por exemplo: perfil profissional, tempo de experiência, área de atuação e natureza das obras), sem identificação nominal; recomenda-se explicitar no texto final o número de respondentes ($n = \dots$) e o período de coleta, a partir do registro efetivo da aplicação. Esse procedimento segue recomendações gerais para levantamentos e uso de questionários em pesquisas aplicadas, incluindo clareza de objetivo, padronização do instrumento e registro de condições de coleta (GIL, 2019).

5.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Após o encerramento da coleta, as respostas foram organizadas em planilhas, com padronização de categorias (por exemplo: “fissuração”, “infiltração em juntas”, “corrosão”, “desplacamento”, “falha de graute”, “falha de vedação”) para permitir análise quantitativa. Em seguida, foram elaborados gráficos (barras e/ou setores, conforme adequação ao tipo de variável) para representar a distribuição de frequências e percentuais de patologias, causas e soluções apontadas. A análise dos resultados foi conduzida em duas camadas: (i) quantitativa, pela leitura de frequências/percentuais e identificação de recorrências; e (ii) qualitativa, pela interpretação

técnica dos comentários e justificativas, buscando coerência com os mecanismos descritos na literatura internacional, especialmente no que se refere à criticidade de conexões sob ações cíclicas e à influência de defeitos de execução em juntas (GIRGIN; MISIR; KAHRAMAN, 2017). Como estratégia de validação interna, os achados de campo foram confrontados com os modos de falha e vulnerabilidades discutidos em estudos experimentais e revisões sistemáticas, permitindo discutir convergências (padrões esperados) e particularidades da RMB (XIAO; FOMIN, 2024).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da amostra (Apêndice A) indica um predomínio de profissionais com formação em Engenharia Civil e atuação em funções técnicas e decisórias, como projeto estrutural e gestão técnica. Esse perfil confere maior consistência técnica às respostas, uma vez que os participantes possuem vivência direta nas etapas críticas do ciclo dos sistemas pré-fabricados, incluindo concepção, montagem e acompanhamento de obras. A diversidade de sistemas com os quais os respondentes já atuaram, como lajes treliçadas, tubos pré-moldados e manilhas de drenagem, evidencia que as manifestações patológicas relatadas não se restringem a uma tipologia específica, mas estão associadas a características sistêmicas do pré-fabricado, especialmente às regiões de ligação, transporte e montagem, conforme discutido por EL DEBS (2017) e ABNT NBR 9062 (ABNT, 2017).

As fissurações identificadas como a manifestação patológica mais frequente devem ser analisadas com cautela do ponto de vista técnico. Conforme a literatura de patologia das construções, nem toda fissura possui o mesmo significado estrutural ou impacto sobre a durabilidade (SOUZA; RIPPER, 2009). Em sistemas pré-fabricados, fissurações podem estar associadas a retrações, incompatibilidades de deformações, ajustes geométricos durante a montagem ou concentrações de tensões em regiões de apoio e ligação. Embora algumas fissuras possam ter caráter predominantemente estético, sua ocorrência em interfaces e conexões tende a assumir maior relevância técnica, pois pode comprometer a estanqueidade local, favorecendo o ingresso de água e agentes agressivos, conforme discutido por MEHTA e MONTEIRO (2014).

A elevada incidência de infiltrações em juntas e interfaces reforça esse entendimento. Diferentemente de um problema meramente funcional ou estético, a infiltração atua como um gatilho para processos de deterioração mais severos, ao manter condições de umidade favoráveis ao transporte de CO₂ e cloretos até as armaduras. Em ambientes com elevada umidade, como o da

Região Metropolitana de Belém, esse mecanismo tende a ser intensificado, acelerando processos de carbonatação e corrosão localizada, conforme descrito por MEHTA e MONTEIRO (2014) e SILVA e LEONEL (2024). Assim, os resultados de campo corroboram a abordagem normativa e conceitual de que a durabilidade em estruturas pré-fabricadas é fortemente condicionada pela qualidade das juntas, interfaces e sistemas de vedação (ABNT, 2014; WALLY; MAGALHÃES; SILVA FILHO, 2020).

A corrosão localizada em inserts e conexões, apontada com frequência semelhante à das infiltrações, representa uma manifestação patológica de maior gravidade do ponto de vista da segurança estrutural. Conforme discutido na literatura internacional, a corrosão em componentes metálicos de ligação pode reduzir a capacidade resistente, comprometer a rigidez do sistema e afetar a robustez global da estrutura, especialmente quando associada à perda de seção ou à degradação do concreto adjacente (FIB, 2008; BAUR et al., 2007). Nesse sentido, os resultados evidenciam que fissuração, infiltração e corrosão não devem ser analisadas de forma isolada, mas como manifestações interligadas por mecanismos comuns de deterioração, cuja origem está frequentemente associada a falhas de detalhamento, execução e controle de qualidade.

A concentração das manifestações patológicas nas conexões estruturais e nas juntas entre elementos confirma o papel dessas regiões como zonas críticas dos sistemas pré-fabricados. Conforme discutido por EL DEBS (2020) e PCI (2010), as conexões governam a transferência de esforços, a estabilidade global e o desempenho em serviço do sistema. Pequenas incompatibilidades geométricas, tolerâncias mal controladas ou falhas na execução do grauteamento e da vedação podem gerar concentrações de tensões, abertura de juntas e caminhos preferenciais para a entrada de agentes agressivos. A ocorrência relevante de patologias durante as fases de transporte e montagem reforça a natureza sistêmica do problema, evidenciando que danos podem ser introduzidos antes mesmo da estrutura entrar em serviço, conforme já apontado pela ABNT NBR 14931 (ABNT, 2004).

A forte associação das patologias com falhas no processo executivo, especialmente durante a montagem, está alinhada com a literatura técnica que aponta essa etapa como uma das mais sensíveis do ciclo do pré-fabricado. A montagem envolve ajustes em campo, posicionamento de elementos, execução de ligações e preenchimento de interfaces, atividades nas quais o controle de tolerâncias e a qualificação da mão de obra são determinantes para o desempenho final do sistema (EL DEBS, 2017; ABNT, 2017). A combinação de múltiplos fatores, apontada pelos respondentes,

reforça que as patologias raramente decorrem de uma única causa isolada, mas da interação entre projeto, execução, materiais e ambiente, conforme a abordagem clássica da patologia das construções (SOUZA; RIPPER, 2009).

As medidas preventivas mais adotadas pelos profissionais refletem a percepção de que a mitigação das patologias depende, sobretudo, do fortalecimento das etapas de fabricação e montagem. O destaque para treinamento de equipes, inspeções em fábrica e inspeções pós-entrega está coerente com a necessidade de controle tecnológico e verificação contínua do desempenho ao longo do ciclo de vida da estrutura, conforme preconizado pelas normas ABNT NBR 9062 (ABNT, 2017) e ABNT NBR 5674 (ABNT, 2012). O reconhecimento da eficácia dessas medidas reforça que a prevenção é tecnicamente mais adequada e economicamente mais eficiente do que a adoção de intervenções corretivas após a manifestação dos danos.

As consequências técnicas e econômicas associadas às patologias evidenciam que seus impactos vão além de aspectos estéticos. O aumento dos custos de manutenção, a redução da durabilidade e a perda de desempenho estrutural indicam que falhas inicialmente localizadas podem evoluir para problemas sistêmicos quando não diagnosticadas e tratadas precocemente. A ocorrência de riscos à segurança e de casos de colapso local ou progressivo, ainda que em menor proporção, reforça a gravidade potencial dessas manifestações, especialmente quando associadas à degradação de conexões e elementos estruturais críticos, conforme discutido em estudos internacionais sobre falhas em pré-fabricados (FIB, 2008; FEMA, 2003).

A predominância de intervenções corretivas, em detrimento de estratégias de monitoramento contínuo, indica uma abordagem ainda reativa na gestão dessas estruturas. Reparos de concreto, proteção de armaduras, reforços estruturais e, em casos mais severos, demolições parciais, refletem consequências diretas de falhas que poderiam ter sido mitigadas nas fases iniciais de projeto, fabricação e montagem. Esse resultado converge com a percepção majoritária dos respondentes de que a maior parte das patologias observadas poderia ter sido evitada, sobretudo por meio de melhor execução em obra, detalhamento mais adequado e práticas sistemáticas de inspeção e manutenção, em consonância com as diretrizes normativas e conceituais apresentadas no referencial teórico. Tendo em vista os resultados apontados foi criada a Tabela 2, na qual é relacionada a manifestação patológica, as regiões onde mais ocorrem, causas associadas e suas respectivas medidas preventivas.

Tabela 2 - Síntese das manifestações patológicas em estruturas pré-fabricadas de concreto

Manifestação patológica	Elementos/regiões mais recorrentes	Causas predominantes associadas	Medidas preventivas indicadas no estudo
Fissuração em geral	Interfaces entre elementos	Incompatibilidade de deformações; concentrações de tensões; ajustes geométricos na montagem; falhas de execução local	Detalhamento adequado das ligações; controle de tolerâncias; qualificação da montagem; inspeções durante a execução
Infiltração	Juntas entre elementos pré-fabricados; regiões de ligação	Falhas de vedação; abertura de juntas; deficiência no grauteamento; execução inadequada	Projeto adequado de juntas; sistemas eficientes de vedação; controle rigoroso da execução e da montagem; inspeções pós-entrega
Corrosão	Inserts metálicos; dispositivos de ligação; regiões com perda de estanqueidade	Ingresso de água e agentes agressivos; falhas de proteção; exposição prolongada à umidade; associação com fissuração e infiltração	Proteção adequada das armaduras e inserts; controle da estanqueidade; inspeções periódicas; manutenção preventiva
Patologias associadas à execução	Elementos durante o transporte e montagem	Falhas no processo executivo; controle de qualidade insuficiente; combinação de múltiplos fatores	Treinamento das equipes; procedimentos padronizados; inspeções em fábrica e em obra; controle tecnológico
Degradação com impacto no desempenho estrutural	Conexões estruturais e regiões críticas do sistema	Evolução não tratada de fissuração, infiltração e corrosão; ausência de diagnóstico precoce	Diagnóstico antecipado; estratégias preventivas; manutenção sistemática; intervenções corretivas programadas

Fonte: O autor (2026).

7 CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso analisou as manifestações patológicas em sistemas estruturais pré-fabricados de concreto, com foco nas conexões, juntas e interfaces, integrando revisão crítica da literatura técnica internacional e pesquisa de campo realizada na Região Metropolitana de Belém. A abordagem adotada permitiu compreender não apenas a frequência das manifestações, mas sobretudo seus mecanismos de formação, sua hierarquia de gravidade e suas implicações para o desempenho e a durabilidade estrutural.

Os resultados evidenciam que, embora as fissurações sejam as manifestações mais frequentemente observadas, não representam, isoladamente, o maior risco técnico. Patologias associadas à infiltração e à corrosão em conexões e interfaces assumem maior criticidade, por atuarem como gatilhos para deterioração progressiva, perda de seção resistente e comprometimento da segurança estrutural. A convergência entre literatura e prática profissional confirma que essas regiões constituem os pontos mais vulneráveis dos sistemas pré-fabricados, sobretudo quando associadas a falhas de execução e controle durante a fase de montagem.

Do ponto de vista técnico, os achados do estudo indicam implicações diretas para a prática da Engenharia Civil. Em projeto, destaca-se a necessidade de detalhamento mais rigoroso das ligações, com atenção às tolerâncias, à transferência de esforços e à estanqueidade das juntas. Na fabricação, reforça-se a importância do controle tecnológico e da compatibilização entre projeto e processo produtivo. Na montagem, etapa reconhecida como a mais crítica, torna-se fundamental investir em treinamento das equipes, procedimentos padronizados, inspeções sistemáticas e controle efetivo do grauteamento e da vedação das interfaces.

Como limitações da pesquisa, reconhece-se o tamanho reduzido da amostra e o caráter perceptivo dos dados coletados, baseados na experiência profissional dos respondentes. Essas limitações restringem a generalização dos resultados e indicam que as percepções levantadas não substituem inspeções instrumentadas ou análises experimentais. Ainda assim, o estudo demonstra maturidade científica ao reconhecer tais restrições e ao alinhar os achados empíricos com o conhecimento técnico consolidado.

Conclui-se que a principal contribuição deste trabalho reside em evidenciar que a recorrência de patologias em estruturas pré-fabricadas está menos associada ao material e mais à gestão das interfaces ao longo do ciclo de vida da estrutura. A adoção de medidas preventivas

focadas em projeto, controle de execução e capacitação técnica constitui estratégia fundamental para reduzir a incidência de manifestações patológicas, ampliar a durabilidade e garantir o desempenho adequado dos sistemas pré-fabricados de concreto, especialmente em ambientes com condições ambientais agressivas, como a Região Metropolitana de Belém.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2021/2024.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

BAUR, K. C. *et al.* **Joint detailing best practices white paper: guidelines and recommendations concerning design, installation, and maintenance of sealant joints in precast concrete parking structures**. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI), 2007.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Ligações em estruturas de concreto pré-moldado: pesquisas e transferências ao setor produtivo**. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 2020. DOI: 10.4322/1809-7197.2020.100.0004.

FEMA – FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450)**. Washington, DC: FEMA, 2003.

FIB – FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. **Precast concrete buildings**. Lausanne: fib, 2013.

GHOSH, S. K.; CLELAND, N. M.; NAITO, C. J. **Seismic design of precast concrete diaphragms: a guide for practicing engineers**. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2017. (NIST GCR 17-917-47). DOI: 10.6028/NIST.GCR.17-917-47.

GIRGIN, S. C.; MISIR, I. S.; KAHRAMAN, S. **Experimental cyclic behavior of precast hybrid beam-column connections with welded components**. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2017. DOI: 10.1007/s40069-017-0190-y.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 4. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

PCI – PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE. **PCI design handbook: precast and prestressed concrete**. 7. ed. Chicago: PCI, 2010.

SILVA, Wagner Queiroz; LEONEL, Edson Denner. **Análise da durabilidade do concreto armado em cenário de mudança climática: uma formulação 3D do MEF considerando efeito da temperatura**. *Concreto & Construções*, ed. 116, p. 34–39, out./dez. 2024. Disponível em: IBRACON. Acesso em: 14 fev. 2026.

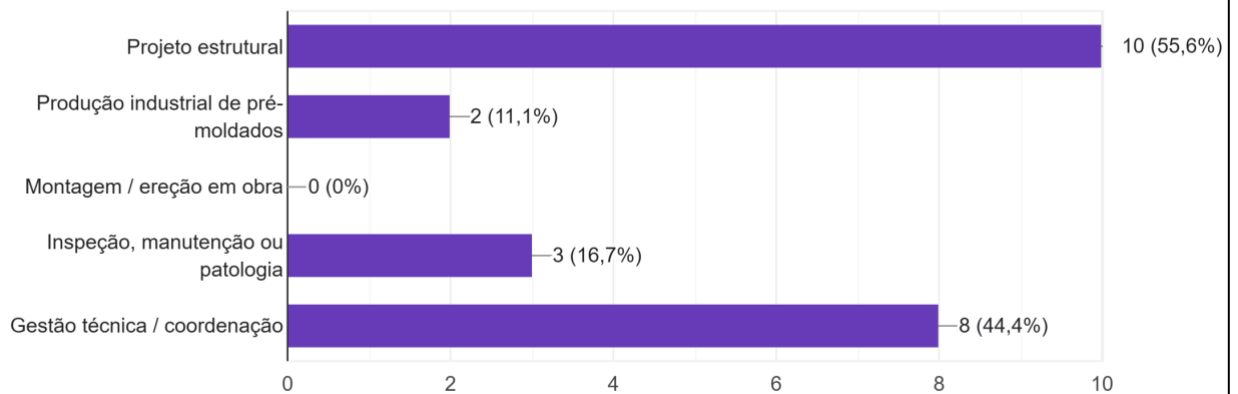
SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2009.

WALLY, Gustavo Bosel; MAGALHÃES, Fábio Costa; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. **Conceitos e aspectos da abordagem com base no desempenho na avaliação da durabilidade de estruturas de concreto armado expostas a ambientes agressivos**. *Concreto & Construções*, ed. 100, p. 81–85, out./dez. 2020. DOI: 10.4322/1809-7197.2020.100.0006. Disponível em: IBRACON. Acesso em: 14 fev. 2026.

APÊNDICE - A

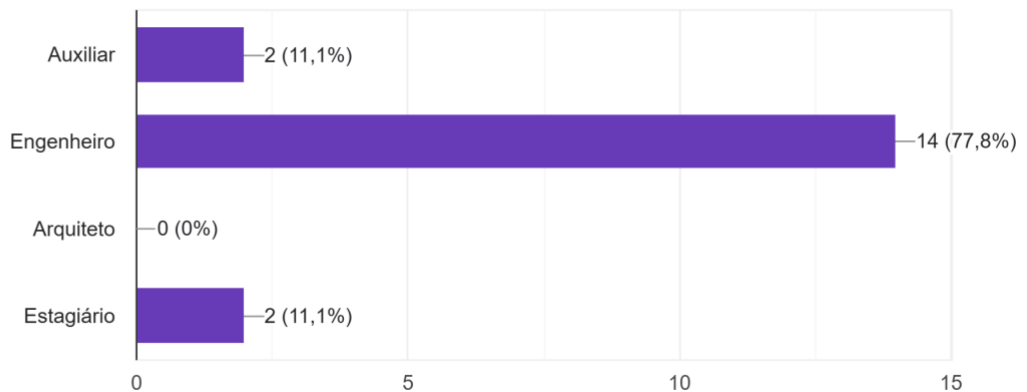
1. Área principal de atuação profissional:

18 respostas



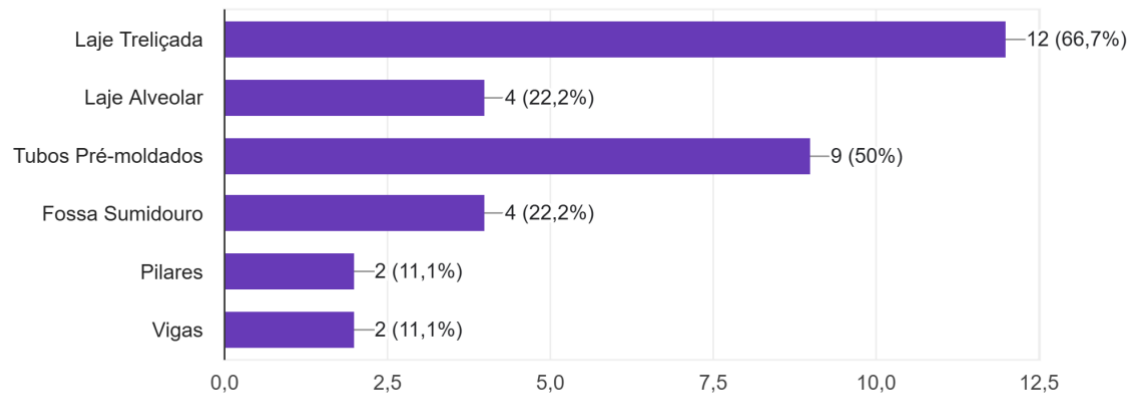
2. Qual o seu cargo na construção civil:

18 respostas



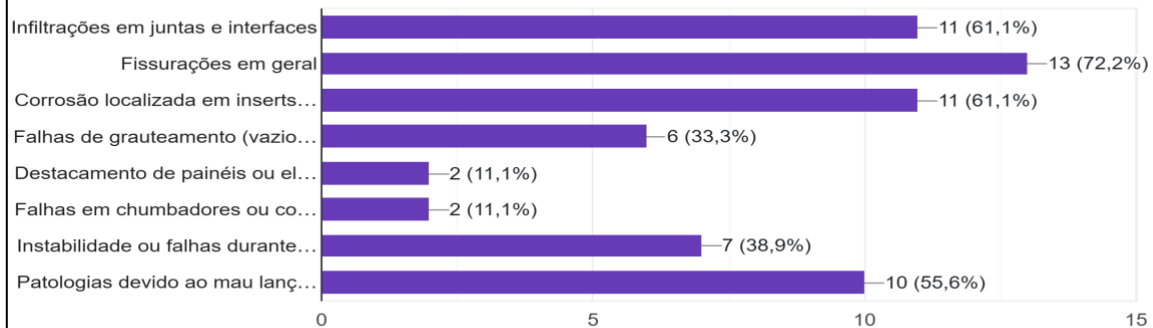
3. Tipos de sistemas pré-fabricados com os quais já trabalhou:

18 respostas



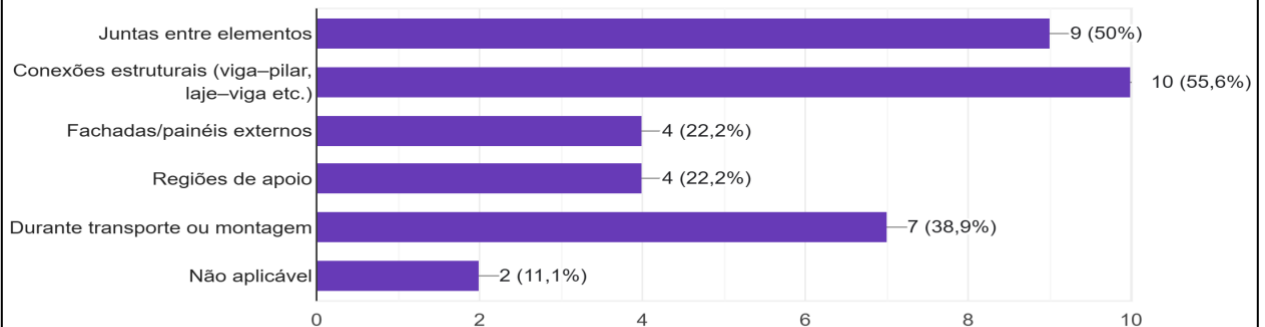
4. Quais patologias você já observou em estruturas pré-fabricadas?

18 respostas



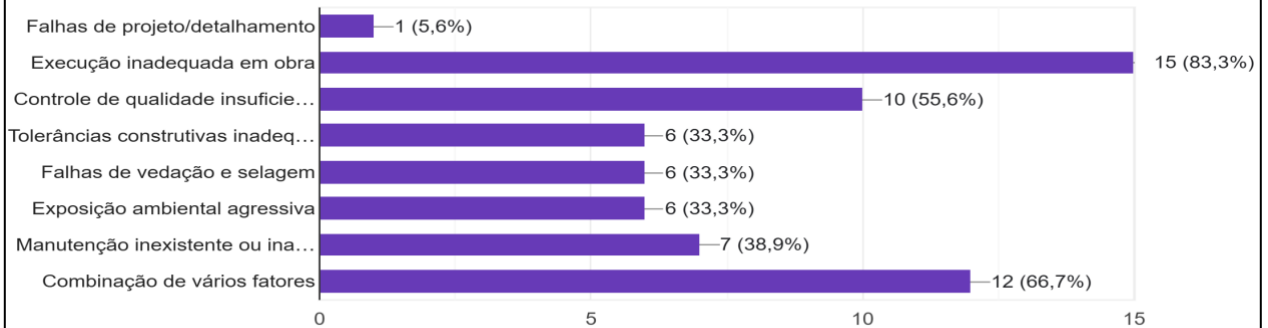
5. Em quais regiões essas patologias acontecem com maior frequência?

18 respostas



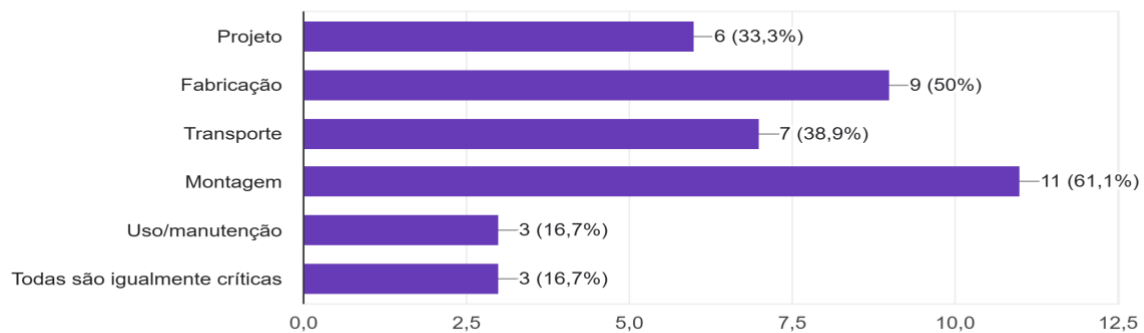
6. Na sua experiência, quais são as principais causas dessas patologias?

18 respostas



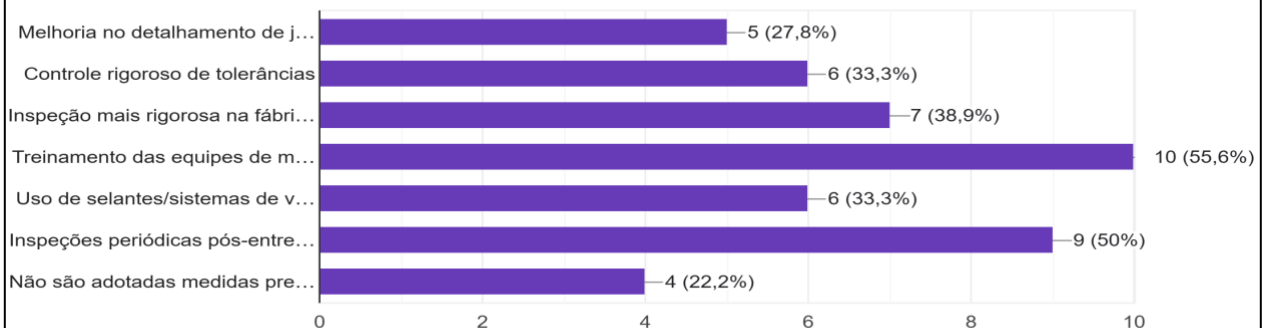
7. Em sua opinião, qual fase é mais crítica para o surgimento das patologias?

18 respostas



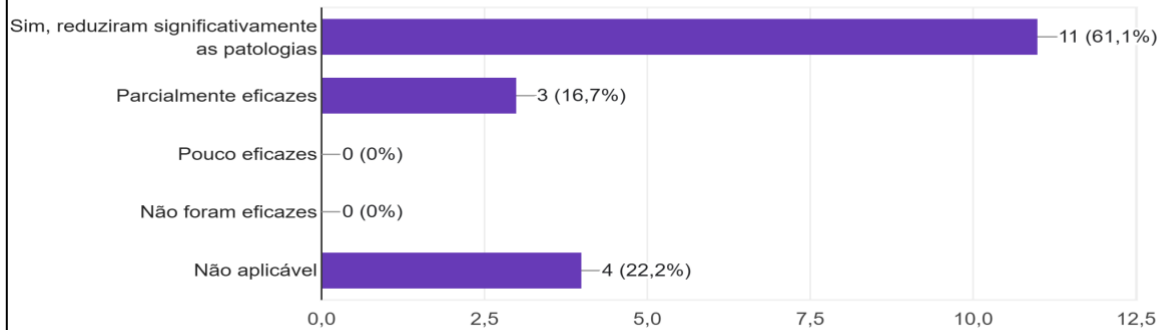
8. Quais medidas preventivas você adota ou já adotou para evitar patologias?

18 respostas



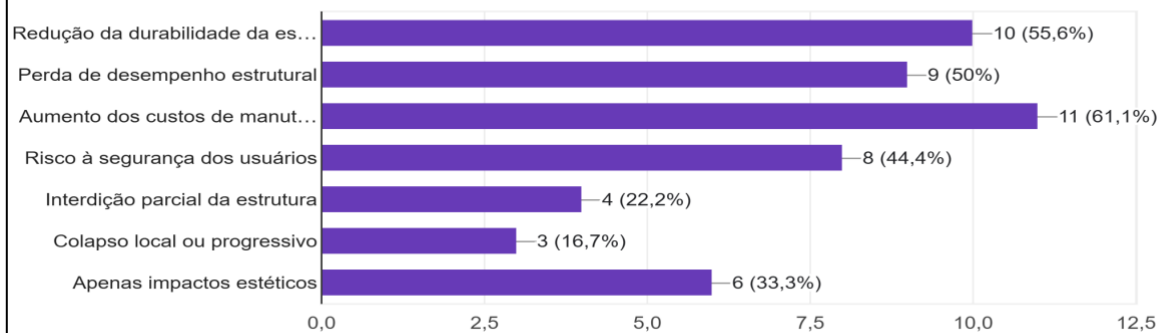
9. As medidas preventivas adotadas foram eficazes?

18 respostas



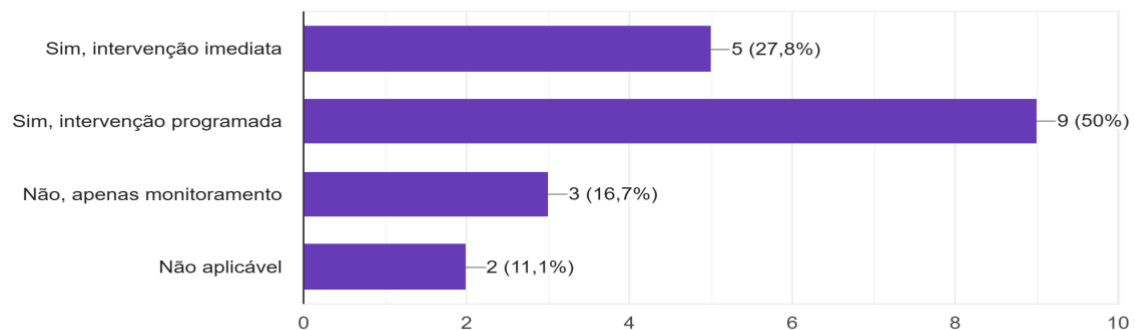
10. Quais consequências você já observou decorrentes das patologias?

18 respostas



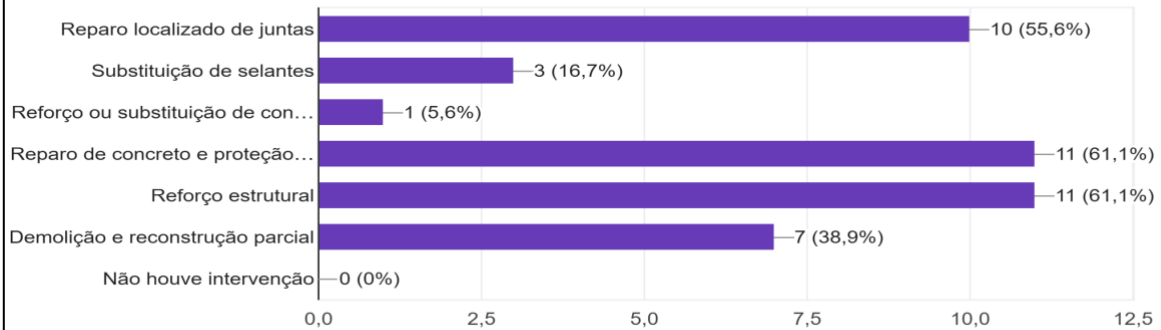
11. Os danos observados exigiram intervenção corretiva?

18 respostas



12. Quais tipos de intervenção já foram realizados para correção das patologias?

18 respostas



13. Após essas experiências, você considera que as patologias poderiam ter sido evitadas?

18 respostas

