

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CIDADE UNIVERSITÁRIA DOM DELGADO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANA LUIZA SOARES DE OLIVEIRA

**PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: Estudo de
caso em um pavimento rígido de um complexo de fertilizantes no distrito
industrial de São Luís/MA.**

SÃO LUÍS-MA

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CIDADE UNIVERSITÁRIA DOM DELGADO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADRIANA LUIZA SOARES DE OLIVEIRA

PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: Estudo de caso em um pavimento rígido de um complexo de fertilizantes no distrito industrial de São Luís/MA.

Trabalho de conclusão de curso II apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Mikhail Luczynski.

SÃO LUIS-MA

2026

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CIDADE UNIVERSITÁRIA DOM DELGADO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANA LUIZA SOARES DE OLIVEIRA

**PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: Estudo de
caso em um pavimento rígido de um complexo de fertilizantes no distrito
industrial de São Luís/MA.**

**Trabalho de Conclusão de Curso II aprovada pela Banca Examinadora,
constituída por:**

Prof. Msc.: Mikhail Luczynski

Prof. Dra.: Solange da Silva Nunes Boni

Prof. Dr.: Wener Miranda Teixeira dos Santos

SÃO LUIS-MA

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Soares de Oliveira, Adriana Luiza.

PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO : estudo de caso em um pavimento rígido de um complexo de fertilizantes no distrito industrial de São Luís/MA / Adriana Luiza Soares de Oliveira. - 2026.

58 p.

Orientador(a): Mikhail Luczynski.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2026.

1. Manifestações Patológicas. 2. Concreto Armado. 3. Pavimento Rígido. I. Luczynski, Mikhail. II. Título.

**Dedico este trabalho aos meus
pais por promoverem meus
estudos e ao meu filho
Bernardo de Oliveira Passos.**

RESUMO

As estruturas de concreto armado utilizadas em pavimentos rígidos estão sujeitas ao desenvolvimento de manifestações patológicas decorrentes de falhas de projeto, execução, condições geotécnicas e ausência de manutenção, comprometendo sua durabilidade e desempenho estrutural. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar as principais patologias que acometem estruturas de concreto armado, abordando suas causas, métodos de diagnóstico e técnicas de intervenção, por meio de um estudo de caso realizado em um pavimento rígido localizado no estacionamento de um complexo industrial de fertilizantes, em São Luís – MA. A metodologia consistiu na realização de inspeção visual e no diagnóstico das anomalias estruturais observadas em campo, permitindo identificar trincas, fissuras, deterioração do concreto, desníveis entre placas e instabilidade do talude adjacente. Os resultados evidenciaram que as manifestações patológicas estão associadas, principalmente, à inadequação das camadas de base e sub-base, à ausência ou deficiência das juntas de dilatação e retração e a problemas de natureza geotécnica. Com base no diagnóstico, foram propostas medidas de intervenção, incluindo a reabilitação estrutural do pavimento, o reforço das camadas de suporte, a adequação das juntas e a estabilização do talude, associadas à implementação de um programa de manutenção preventiva. Conclui-se que a identificação precisa das manifestações patológicas é fundamental para subsidiar ações preventivas e corretivas, contribuindo para o aumento da vida útil das estruturas, a segurança operacional e a redução dos custos com reparos futuros.

Palavras-chave: Manifestações patológicas; Concreto armado; Pavimento rígido.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures used in rigid pavements are susceptible to the development of pathological manifestations resulting from design and construction deficiencies, geotechnical conditions, and inadequate maintenance, compromising their durability and structural performance. In this context, this study aimed to analyze the main pathological manifestations affecting reinforced concrete structures, addressing their causes, diagnostic methods, and intervention techniques through a case study conducted on a rigid pavement located in the parking area of a fertilizer industrial complex in São Luís, Maranhão, Brazil. The methodology consisted of visual inspection and structural diagnosis of the anomalies identified in the field, enabling the detection of cracks, fissures, concrete deterioration, slab level differences, and instability of the adjacent slope. The results showed that the pathological manifestations were mainly associated with inadequate base and subbase layers, the absence or deficiency of expansion and contraction joints, and geotechnical problems. Based on the diagnosis, intervention measures were proposed, including structural rehabilitation of the pavement, reinforcement of the supporting layers, improvement of the joints, and stabilization of the adjacent slope, combined with the implementation of a preventive maintenance program. It is concluded that the accurate identification of pathological manifestations is essential to support preventive and corrective actions, contributing to increased service life of the structures, improved operational safety, and reduced future repair costs.

Keywords: Pathological manifestations; Reinforced concrete; Rigid pavement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pavimentação em paralelepípedos	16
Figura 2: Execução de pavimento de concreto armado.	17
Figura 3: Diferenças entre pavimentos rígidos e flexíveis.	18
Figura 4: Juntas de retração no concreto.	19
Figura 5: Estrutura de pavimentos.	20
Figura 6: Barras de transferência no pavimento de concreto.	21
Figura 7: Suporte de fixação com barras de transferências.	22
Figura 8: Apresentação de fissura, trinca e rachadura.	26
Figura 9: Medição de fissura com fissurômetro.	27
Figura 10: Porcentagem de erros em etapas de obra de pavimentação.	28
Figura 11: Esquema de funcionamento de um esclerômetro de reflexão.	31
Figura 12: Medidor de velocidade de pulso ultrassônico.	33
Figura 13: Injeção de resina epóxi	35
Figura 14: Instalação dos ânodos galvânicos para proteção das armaduras... 36	
Figura 15: Reforço com geossintéticos ou fibras poliméricas.	37
Figura 16: Layout de implantação do galpão com a projeção do piso do pátio de circulação de caminhões e maquinários em evidência (vermelho).	40
Figura 17: Vista aérea do local de estudo.	40
Figura 18: Registro de um dos lados do galpão.	41
Figura 19: Layout do local de estudo indicando os pontos SPT.	42
Figura 20: Especificação dos furos de sondagem realizados pela empresa JM TOPOGRAFIA.	43
Figura 21: Fissuras no piso do pátio.	44
Figura 22: Pátio de circulação de veículos pesados.	47
Figura 23: Desgaste da pavimentação.	48
Figura 24: Talude presente no local de estudo.	49
Figura 25: Deformações em decorrência do deslocamento entre placas.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais mecanismos de degradação das estruturas de concreto.	24
Tabela 2: Classificação da manifestação patológica conforme o tamanho.	26
Tabela 3: Medidas corretivas recomendadas, descrição, normas técnicas aplicáveis e benefícios esperados.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

ABPC – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DNIT – Departamento Nacional de Normas Técnicas

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

NBR – Norma Brasileira

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Um breve histórico	16
3.2 Concreto armado e pavimento rígido	17
3.3 Vida útil das pavimentações de concreto armado	23
3.4 Principais patologias em pavimentos rígidos de concreto armado	24
3.5 Causas das patologias.....	30
3.6 Métodos de Diagnóstico	31
3.7 Técnicas de Reparo	34
4. METODOLOGIA	38
5. ESTUDO DE CASO	39
5.1 Descrição do local.....	39
5.2 Patologias identificadas e suas causas	43
5.3 Análise das causas	49
5.4 Medidas corretivas e recomendações técnicas	51
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado representam as bases fundamentais da engenharia civil moderna, sendo amplamente utilizadas devido à sua elevada resistência mecânica, versatilidade de aplicação e durabilidade quando corretamente projetadas e executadas.

Seu uso se estende a diversas tipologias estruturais, incluindo edifícios, pontes, viadutos e, de forma significativa, pavimentos rígidos, que são empregados em rodovias, aeroportos e áreas industriais, onde há intensa solicitação por cargas dinâmicas e estáticas.

No entanto, ao longo do ciclo de vida dessas estruturas, diversos fatores podem desencadear manifestações patológicas que comprometem sua integridade, funcionalidade e segurança.

Entre os principais agentes causadores destacam-se: falhas de projeto, execução inadequada, escolha deficiente dos materiais, ações mecânicas excessivas (como sobrecargas e fadiga), além de condições ambientais adversas, como variações térmicas intensas, exposição à umidade, sais agressivos e ciclos de congelamento e degelo (HELENE; ANDRADE, 1993; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Esses fatores, isoladamente ou em conjunto, contribuem para o surgimento de fissuras, trincas, desagregações, reações deletérias internas, entre outras anomalias.

A análise das principais causas dessas patologias demanda um diagnóstico criterioso, que deve envolver inspeções visuais sistemáticas, ensaios não destrutivos (como ultrassom e esclerometria), ensaios laboratoriais em testemunhos extraídos do pavimento, além da verificação de parâmetros de projeto e execução (HELENE et al., 2001).

Apenas com um diagnóstico técnico e preciso é possível propor soluções de recuperação eficazes e duradouras, que variam conforme o tipo e a gravidade da patologia, podendo incluir desde tratamentos superficiais até intervenções estruturais profundas.

Assim, compreender as origens, os mecanismos e as consequências das patologias em pavimentos rígidos de concreto armado são fundamentais para a

formulação de estratégias de projeto, execução e manutenção que promovam a durabilidade e o desempenho adequado dessas estruturas ao longo de sua vida útil.

1.2 JUSTIFICATIVA

A análise das manifestações patológicas na construção civil constitui um tema de grande relevância para a sociedade, uma vez que está diretamente relacionada à qualidade, durabilidade, desempenho e segurança das edificações e infraestruturas utilizadas pela população.

No contexto das estruturas industriais em concreto armado, essa importância torna-se ainda mais evidente, devido às elevadas solicitações mecânicas, químicas e ambientais às quais essas estruturas são constantemente submetidas.

Essas estruturas industriais, como galpões fabris, silos, reservatórios, pontes rolantes, pisos industriais e estruturas portuárias estão frequentemente expostas a condições severas de operação, incluindo vibrações, sobrecargas, ambientes agressivos, ação de agentes químicos e variações térmicas, são essas condições que favorecem o surgimento de manifestações patológicas, tais como fissuração, corrosão de armaduras, carbonatação, desagregação do concreto, infiltrações e deformações excessivas.

Para Helene (1993), as patologias em estruturas de concreto podem ser compreendidas como os danos, defeitos ou deteriorações que comprometem o desempenho, a segurança, a durabilidade e a funcionalidade da estrutura. Essas manifestações podem ter origem em falhas de projeto, inadequações na execução, utilização de materiais de baixa qualidade, ausência de manutenção preventiva ou na exposição da estrutura a condições ambientais para as quais não foi devidamente dimensionada.

A análise das manifestações patológicas que ocorrem em setores da construção civil é um assunto de suma importância para a sociedade como um todo, já que é feito um estudo aprofundado da qualidade e segurança que as construções oferecem para a população em geral que as utilizam.

Este estudo de caso tem como objetivo detalhar as causas das patologias e a instabilidade geotécnica, com base em investigações geotécnicas (sondagem SPT), e propor soluções exequíveis para a recuperação e estabilização do pavimento, garantindo a durabilidade e segurança operacional do complexo industrial. Além de analisar as patologias que ocorrem especificamente em pavimentos rígidos de concreto armado, que embora apresentem maior durabilidade quando comparados aos pavimentos flexíveis, não estão isentos de falhas ao longo do tempo.

As manifestações patológicas mais frequentes nesse tipo de pavimentação incluem fissuras longitudinais e transversais, falhas nas juntas de dilatação, exsudação, segregação, reação álcali-agregado (RAA) e deterioração por ataque químico (ACI COMMITTEE 201.1R-08, 2008). A presença dessas patologias pode reduzir significativamente a vida útil da estrutura e impactar diretamente na qualidade da infraestrutura viária.

Este trabalho visa contribuir para o aprimoramento do conhecimento técnico-científico relacionado à identificação, análise, diagnóstico e recuperação das manifestações patológicas em pavimentos rígidos de concreto armado, desde a compreensão dos mecanismos que originam tais patologias, associada à aplicação adequada de métodos de inspeção, diagnóstico e intervenção, possibilita a adoção de medidas corretivas e preventivas mais eficazes.

Além disso, o estudo prima pela melhoria do desempenho estrutural e funcional dos pavimentos, promovendo o aumento de sua durabilidade e vida útil, bem como a redução dos custos associados à manutenção e recuperação. Dessa forma, este trabalho busca contribuir para o desenvolvimento de soluções técnicas para obtenção de estruturas mais seguras, confiáveis e economicamente viáveis, atendendo aos requisitos de qualidade, segurança e sustentabilidade exigidos pelos usuários e pelo setor da construção civil.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar as manifestações patológicas mais recorrentes em pavimentos rígidos de concreto armado, investigando suas origens, características e impactos no desempenho estrutural, visando à proposição de medidas adequadas de prevenção e recuperação.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as manifestações patológicas do pavimento de um complexo de fertilizantes localizado na cidade de São Luís, MA.
- Analisar e levantar as causas das patologias;
- Revisar técnicas de recuperação aplicáveis, propondo soluções para as manifestações patológicas do estudo de caso.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Um breve histórico

O pavimento rígido de concreto teve sua origem no início do século XX, em um contexto marcado pela busca por soluções de pavimentação mais duráveis e mais resistentes capazes de suportar o crescente aumento de tráfego de veículos na época, que até então onde eram utilizados paralelepípedo que apresentavam limitações sobre o conforto de rolamento, manutenção e capacidade estrutural de acordo com BALBO, 2009.

Com a revolução Industrial, houve um avanço tecnológico que proporcionou maior destaque nos Estados Unidos e em 1893 foi construída a primeira via de concreto Portland na cidade de Bellefontaine, em Ohio (FRAZÃO & NEVILLE, 2016). A figura 1 representa a exemplificação do pavimento de paralelepípedos.

Figura 1: Pavimentação em paralelepípedos



Fonte: Qualidade Mineração LTDA. Disponível em: <https://qualidademinerao.com.br/calçamento-com-paralelepipedo>. Acesso em: 15 mai. 2025.

No Brasil, os pavimentos rígidos de concreto são utilizados desde o início do século XX, tendo sua aplicação ampliada em função do desenvolvimento industrial e da crescente demanda por infraestrutura de transporte. Entretanto, ao longo das décadas seguintes, a pavimentação asfáltica passou a predominar no país devido, entre outros fatores, ao menor custo inicial de implantação, à maior rapidez executiva e aos incentivos direcionados à indústria do petróleo.

A partir da década de 1990 e, principalmente, nos últimos anos, observou-se uma retomada do interesse pelos pavimentos de concreto, impulsionada pelos avanços tecnológicos, pelo aperfeiçoamento dos métodos de

dimensionamento, pela evolução dos processos construtivos e pela busca por soluções mais duráveis e sustentáveis.

Nesse contexto, os pavimentos rígidos, especialmente os de concreto armado, passaram a ser amplamente empregados em corredores de ônibus, vias urbanas de tráfego intenso, áreas portuárias, aeroportuárias e complexos industriais, devido à sua elevada capacidade estrutural, resistência às cargas repetidas e menor necessidade de manutenção ao longo da vida útil (ABCP, 2019; ABCP, 2022).

3.2 Concreto armado e pavimento rígido

O concreto armado segundo Mehta e Monteiro (2014) é constituído pela associação entre o concreto e armaduras de aço, possibilitando a estrutura a resistir às solicitações de tração e compressão garantindo o elevado desempenho mecânico, sendo amplamente empregado em diversas obras de engenharia, inclusive em pavimentos urbanos e industriais.

Quando aplicado em pavimentos rígidos, esse sistema permite maior resistência às cargas concentradas, o que minimiza deformações permanentes e conseqüentemente, o aumento da durabilidade da via.

Figura 2: Execução de pavimento de concreto armado.



Fonte: CT GUEDES – Pisos e concretos. Disponível em: [https://ctguedes.com.br/home/obras/execucao-piso-concreto-armado/#lightbox\[gallery_image_1\]/-1](https://ctguedes.com.br/home/obras/execucao-piso-concreto-armado/#lightbox[gallery_image_1]/-1). Acesso em: 15 mai. 2025.

Segundo o DNIT (2023), os pavimentos rígidos são estruturas constituídas por placas de concreto de cimento Portland, onde utilizam essa alta

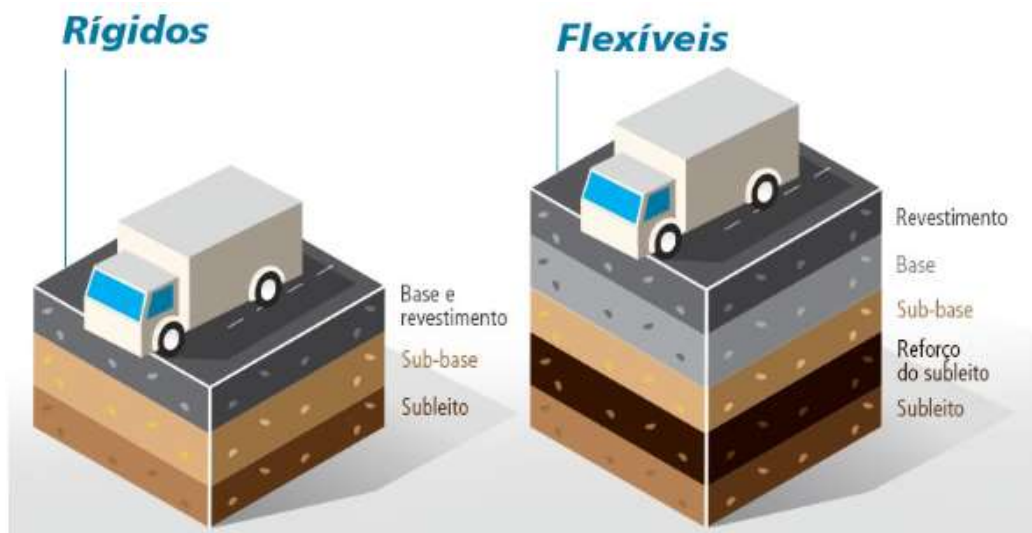
rigidez para resistir às cargas aplicadas, o que reduz as deformações e são utilizados em locais onde o tráfego é intenso e de cargas pesadas.

Esse tipo de pavimentação apresenta melhores desempenhos às variações climáticas e menor necessidade de manutenção, em contrapartida, exige maior controle tecnológico e investimento inicial, diferentemente dos pavimentos flexíveis, que distribuem as tensões através da elasticidade de suas camadas.

Os pavimentos flexíveis dependem da elasticidade e da capacidade de deformação das camadas inferiores para dissipar os esforços, enquanto os pavimentos rígidos utilizam a rigidez do concreto para resistir diretamente às cargas aplicadas. Esses pavimentos podem ser classificados em diferentes tipos, como os pavimentos com juntas de retração, os pavimentos contínuos armados e os que utilizam barras de transferência para melhorar a distribuição de esforços entre placas adjacentes (DNIT, 2023; CAETANO, 2013).

A figura 1 apresenta um esquemático da diferença básica entre pavimentos rígidos e flexíveis.

Figura 3: Diferenças entre pavimentos rígidos e flexíveis.



Fonte: Mapa da obra.

Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/pavimento-rigido-para-corredores-de-onibus/>. Acesso em: 17 de junho de 2025.

O pavimento de concreto simples é composto por placas de concreto separadas por juntas, cuja função é controlar o surgimento de fissuras provocadas pela retração, empenamento e variações térmicas.

Para melhorar a transferência de esforços entre as placas, é comum a utilização de barras de aço posicionadas transversalmente (BALBO, 2009). Esse

tipo de pavimento é executado com placas de cimento Portland sem armadura, geralmente de pequenas dimensões, sendo o concreto o único responsável por resistir às solicitações impostas pelo tráfego

As juntas de retração nos pavimentos, permitem que o concreto contraia sem que haja fissuras aleatórias, o que garante a integridade estrutural e a durabilidade do pavimento. Segundo Mehta e Monteiro (2014) a retração é um fenômeno natural do concreto endurecido, que está diretamente associado à perda de água e ao encolhimento do cimento hidratado, e deve ser controlada por meio de técnicas como a execução correta das juntas.

A ausência ou a execução inadequada dessas juntas pode acarretar diversas consequências, entre as quais se destacam a infiltração de água, a redução da vida útil da estrutura e a necessidade de manutenções mais frequentes. A Figura 4 apresenta um exemplo de junta de retração em pavimento de concreto.

Figura 4: Juntas de retração no concreto.



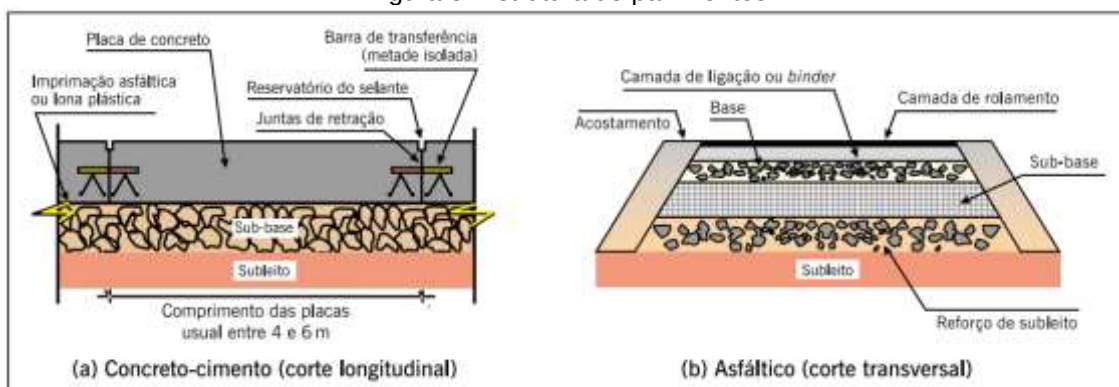
Fonte: Cava, 2018.

No caso dos pavimentos contínuos armados, há juntas de dilatação, porém esses sistemas são projetados para resistir às tensões de retração e temperatura por meio da armadura passiva que é distribuída em toda a área a ser pavimentada o que permite o controle das aberturas das fissuras, que são

previamente esperadas e não comprometem o desempenho estrutural quando bem dimensionados (MEHTA; MONTEIRO 2014).

Na figura 5 podemos observar que o pavimento rígido é constituído por camadas dispostas de forma estratégica com o objetivo de resistir às solicitações provenientes do tráfego e garantir o desempenho estrutural e funcional da via ao longo de sua vida útil

Figura 5: Estrutura de pavimentos.



Fonte: BERNUCCI *et al.* (2022).

Bernucci *et al.* (2022) exemplifica na figura 5, que a pavimentação asfáltica são estruturas compostas por múltiplas camadas, onde o revestimento asfáltico atua em conjunto com as camadas de base, sub-base e subleito para distribuir as tensões advindas do tráfego.

O desempenho e a durabilidade desse tipo de pavimento dependem diretamente da qualidade dos materiais empregados e das características geotécnicas das camadas de suporte, especialmente da base e da sub-base, que são responsáveis por absorver e transmitir os esforços às camadas inferiores.

De acordo com Cristiano e Maia (2014), esse tipo de pavimento associa a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço, permitindo a construção de placas com espessuras menores e dimensões maiores, se comparadas às do pavimento de concreto simples ou ao pavimento com armadura de retração.

A execução desse pavimento envolve duas armaduras específicas: uma armadura superior, voltada ao controle de fissuração originada pela retração e pelas variações térmicas; e uma armadura inferior, que atua na resistência à tração. É comum, na prática, que a concretagem seja dividida em etapas, com o

uso de juntas de transferência, o que confere ao piso uma configuração semelhante a uma grande placa contínua (BALBO, 2009).

Além das vantagens como a eliminação das juntas, consequentemente redução com o custo dessas manutenções, melhor desempenho para tráfego de rodas duras e maior resistência a esforços térmicos e de retração. Em contrapartida, há um custo elevado devido ao uso de armaduras, necessidade de controle rigoroso na execução e cura do concreto e apesar de controladas, as fissuras podem ser visíveis.

Nesse tipo de pavimento, a armadura longitudinal contínua é disposta pouco acima da linha neutra da seção transversal, permitindo o controle da fissuração de retração, que ocorre de forma aleatória ao longo da extensão da placa. A principal função dessa armadura é manter unidas as faces fissuradas, garantindo o funcionamento monolítico do pavimento. Diferentemente dos demais modelos, o PCAC não requer juntas de contração, exceto as juntas construtivas (BALBO, 2009).

Segundo Oliveira (2000), o pavimento com armadura contínua permite a construção de placas com extensão superior a 150 metros, com fissuras bem distribuídas e controladas pela armadura longitudinal.

Nos pavimentos rígidos dotados de barras de transferência, como exemplificado na Figura 6, a adequada transferência de cargas entre as placas de concreto é fundamental para o desempenho estrutural do pavimento. De acordo com Yoder e Witczak (1975), quando as cargas aplicadas sobre a borda de uma placa não são transferidas de forma eficiente para a placa adjacente, podem ocorrer deformações diferenciais, favorecendo o surgimento de trincas, a deterioração das juntas e outras manifestações patológicas que comprometem a durabilidade e a funcionalidade da estrutura.

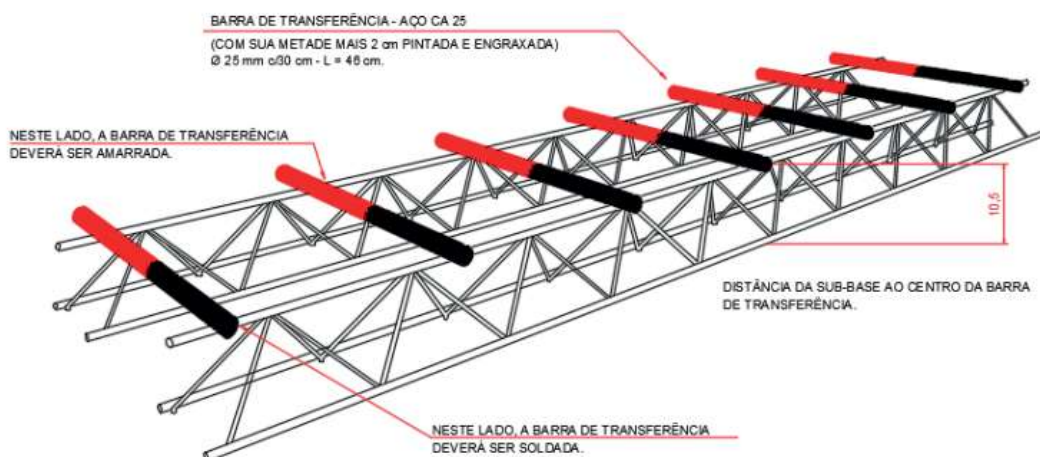
Figura 6: Barras de transferência no pavimento de concreto.



Fonte: Cava, 2018.

As barras de transferência são elementos metálicos, geralmente constituídos por aço liso ou nervurado que são embutidos transversalmente nas juntas de concretagem ou dilatação onde proporcionam um melhor equilíbrio entre os esforços, melhorando o desempenho estrutural do pavimento. A figura 7 representa o esquema de instalação das barras de transferência.

Figura 7: Suporte de fixação com barras de transferências.



Fonte: Helene, 2015.

A utilização dessas barras é definida de acordo com as exigências do projeto, sendo recomendada em locais com maior intensidade de carga, para promover a distribuição dos esforços entre as placas adjacentes (CUNHA, 2013).

O pavimento de concreto protendido permite a execução de placas de grandes dimensões e espessuras reduzidas, com comportamento estrutural predominantemente elástico.

Este tipo de sistema combina armaduras convencionais com cordoalhas de protensão, às quais é aplicada uma força de tração previamente, por meio de macacos hidráulicos. Essa protensão, seja pré ou pós-tensionada, gera uma compressão interna na estrutura, que antecipa parte dos esforços a que o pavimento será submetido.

Dessa forma, o concreto só entra em tração quando o esforço aplicado supera a força pré-estabelecida, o que permite uma significativa redução de espessura e maior resistência a momentos fletores (BALBO, 2009).

Cristiano e Maia (2014) complementam que as cordoalhas são ancoradas nas extremidades da placa, garantindo que a força de protensão seja eficazmente transferida ao concreto.

A placa de concreto do pavimento rígido apresenta elevada rigidez estrutural, o que permite a distribuição mais uniforme das cargas aplicadas, reduzindo significativamente as tensões transmitidas às camadas inferiores do pavimento.

Diferente dos pavimentos flexíveis, nos quais as cargas são absorvidas principalmente pelas camadas inferiores, nos pavimentos rígidos a maior parte da solicitação é suportada pela própria placa de concreto. Essa característica garante maior durabilidade e menor suscetibilidade a deformações permanentes, mesmo sob tráfego intenso e cargas elevadas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

3.3 Vida útil das pavimentações de concreto armado

A vida útil das pavimentações de concreto armado, podem variar de 20 a 40 anos de acordo com Mehta e Monteiro (2014) variando de acordo com a escolha dos materiais, execução, utilização e manutenções. Os autores defendem que o desempenho a longo prazo do concreto está condicionado à sua porosidade, ao tipo de cimento utilizado, à relação água/cimento e à presença de adições minerais. O DNIT afirma que os pavimentos rígidos bem projetados podem ultrapassar 30 anos de vida útil, desde que sejam feitos os controles de qualidade, manutenções e observadas as boas práticas.

Segundo Helene e Andrade (2015), as estruturas de concreto armado podem ter vida útil superior a 50 anos, de forma que obedeçam a critérios rigorosos de durabilidade e manutenções preventivas adequadas. Para que isso ocorra, Helene (2015) recomenda que o concreto possua baixa permeabilidade, prevenção à corrosão e à reação álcali-agregado e controle de cobrimento da armadura. Portanto, para garantir uma vida útil adequada às exigências de uso, é essencial adotar medidas preventivas já na fase de projeto, bem como realizar manutenções periódicas durante a vida em serviço do pavimento.

Os pavimentos rígidos destacam-se pela elevada durabilidade e pelo bom desempenho estrutural ao longo do tempo, podendo atingir vidas úteis superiores a 30 anos quando adequadamente projetados, executados e submetidos a programas de manutenção preventiva.

Essa característica está associada à elevada rigidez das placas de concreto, que proporcionam melhor distribuição das cargas e maior resistência às deformações permanentes. Em contrapartida, os pavimentos flexíveis tendem

a demandar intervenções de manutenção com maior frequência devido à sua maior suscetibilidade ao surgimento de deformações, trincas e desgaste superficial decorrentes das ações do tráfego e das condições ambientais.

Dessa forma, embora os pavimentos rígidos apresentem maior investimento inicial, seus custos de manutenção ao longo do ciclo de vida tendem a ser inferiores, tornando-os uma alternativa técnica e economicamente viável para vias submetidas a tráfego intenso e cargas elevadas (ABCP, 2022; DNIT, 2023).

3.4 Principais patologias em pavimentos rígidos de concreto armado

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado indicam processos de degradação que podem comprometer a funcionalidade e a segurança da estrutura. Entre as mais recorrentes, destacam-se as fissuras, trincas, corrosão das armaduras, reações deletérias e desagregação superficial (HELENE; PEREIRA, 2015). A tabela 1 demonstra os mecanismos de degradação das estruturas de concreto.

Tabela 1: Principais mecanismos de degradação das estruturas de concreto.

Agressividade		Consequências inerentes ao processo	
Natureza do processo	Condições particulares	Alterações de cor/manchas	Alterações Físico-Químicas
Carbonatação	UR 60% a 85%	Em geral, mais clara	Redução do Ph Corrosão das armaduras Fissuração superficial
Lixiviação	Atmosfera ácida, águas moles	Escurece com manchas	Redução do pH Corrosão das armaduras Desagregação superficial
Retração	Molhagem/secagem Ausência de cura	Manchas e fissuras	Fissuração Redução do pH Corrosão das armaduras
Fuligem	Atmosferas urbanas e industriais (zonas úmidas)	Manchas escuras	Redução do pH Corrosão das armaduras
Fungos	Zonas úmidas e salinas	Manchas escuras esverdeadas	Redução do pH Desagregação superficial Corrosão das armaduras
Concentração salina	Atmosferas marinhas e industriais	Branqueamento	Despassivação da armadura

			Desagregação superficial
--	--	--	--------------------------

Fonte: Adaptado de Helene (2015).

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, incluindo os pavimentos rígidos, estão diretamente relacionadas a fatores como retração volumétrica, variações térmicas, falhas de projeto e execução, além da exposição a agentes ambientais agressivos.

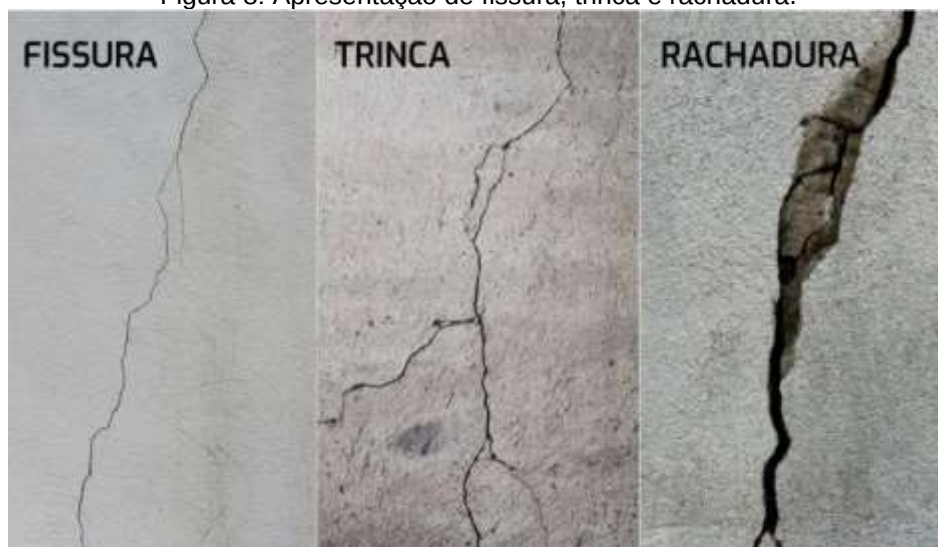
Esses mecanismos podem desencadear processos de deterioração, tais como fissuração, carbonatação, corrosão das armaduras, desagregação do concreto e perda de desempenho estrutural.

A intensidade e a velocidade de propagação dessas manifestações dependem das características dos materiais empregados, das condições de exposição e das ações mecânicas e ambientais atuantes ao longo da vida útil da estrutura (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2022).

Entre as principais patologias observadas, destacam-se as fissuras e trincas longitudinais e transversais, que frequentemente resultam da retração do concreto e da ausência ou inadequação das juntas de dilatação e retração. A desagregação superficial também é comum, sendo provocada por ciclos repetitivos de molhagem e secagem, além de ações físicas como congelamento e degelo em ambientes específicos

A corrosão das armaduras, por sua vez, é favorecida pela penetração de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, comprometendo a durabilidade e a integridade estrutural. Ademais, as reações álcali-agregado são apontadas como mecanismos deletérios relevantes, capazes de provocar expansão interna do concreto e danos progressivos ao pavimento rígido. (GOMES; DAL MOLIN, 2005; ARAÚJO, 2020). A figura 8 apresenta essas patologias.

Figura 8: Apresentação de fissura, trinca e rachadura.



Fonte: Dallminas, 2022.

As fissuras e trincas geralmente ocorrem por retração, recalques diferenciais ou sobrecarga. A corrosão das armaduras é favorecida pela penetração de agentes agressivos como íons cloreto ou dióxido de carbono, levando à perda de seção da armadura e consequente redução da capacidade resistente da estrutura (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A ABNT NBR 6118:2026 estabelece que a abertura admissível das fissuras deve ser limitada em função da classe de agressividade ambiental e das condições de exposição da estrutura, uma vez que fissuras excessivas favorecem a penetração de agentes deletérios e comprometem a durabilidade do concreto armado.

Lopes e Nobrega (2021) afirmam que elas são consideradas agressivas de acordo com as aberturas na superfície, as fissuras possuem aberturas de 0,06mm a 0,5mm, podendo evoluir para trincas, de 0,6 a 1mm que diferente das trincas, são mais profundas e a identificação visual é mais simples de ser feita que por ventura pode evoluir para uma rachadura que possuem aberturas superiores a 1mm, que é o caso mais grave podendo permitir a passagem de água e ar. A tabela 2 apresenta a evolução da patologia de acordo com as aberturas.

Tabela 2: Classificação da manifestação patológica conforme o tamanho.

Manifestação	Abertura (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	0,5 a 1,5
Rachadura	1,5 a 5,0

Fonte: Adaptado de Lopes e Nóbrega (2021).

Conforme indicado na Tabela 2, as fissuras e trincas podem apresentar diferentes aberturas e origens, estando associadas a diversos mecanismos de deterioração. Entre as principais causas destacam-se as movimentações térmicas, decorrentes das variações de temperatura às quais a estrutura está submetida.

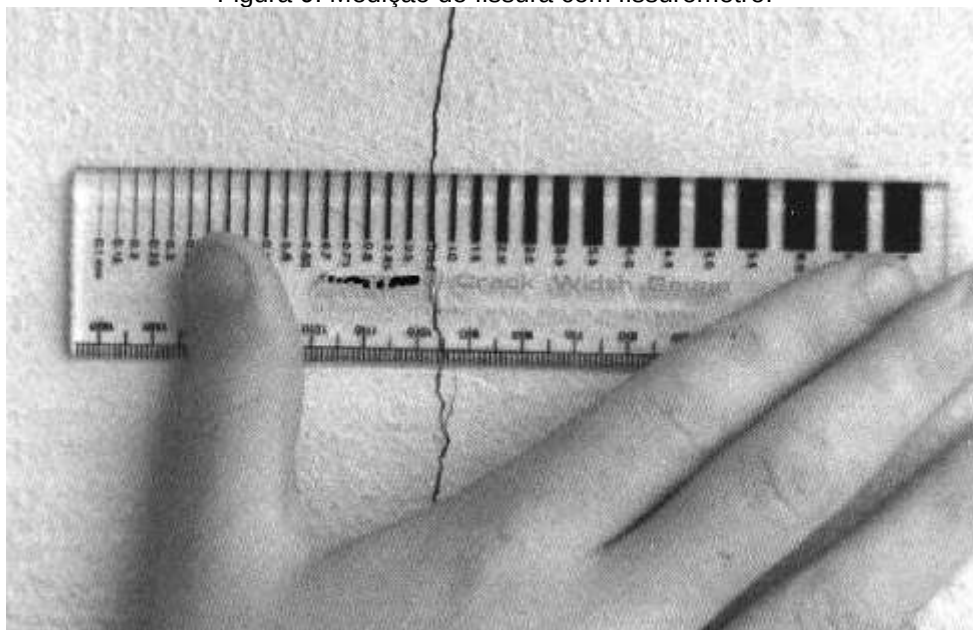
Essas variações promovem fenômenos de dilatação e contração dos materiais, gerando tensões internas que, quando superiores à capacidade de deformação do concreto, podem resultar no surgimento de fissuras e trincas.

A intensidade dessas manifestações depende de fatores como as condições ambientais, as características dos materiais empregados, as dimensões dos elementos estruturais e a existência de juntas adequadamente dimensionadas (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2022).

Suas análises podem ser feitas imediatamente sem a necessidade de estudos aprofundados, já que elas surgem na superfície das estruturas, esses problemas podem surgir após longos períodos, em questão de dias ou horas, podem ser diagnosticados e classificados de acordo com a dimensão de sua abertura (SANTOS, 2021).

A figura 9 apresenta identificação de acordo com um instrumento adequado para medição utilizado para classificar essas anomalias chamado fissurômetro.

Figura 9: Medição de fissura com fissurômetro.



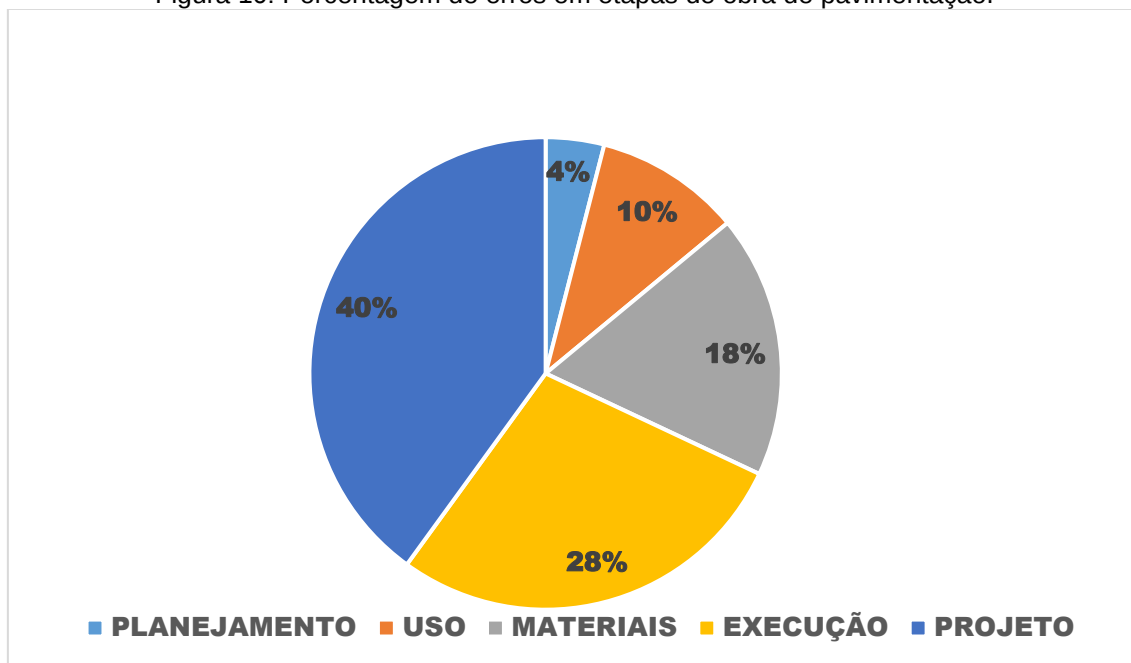
Fonte: Guerra, 2013.

Essas manifestações patológicas podem estar associadas à atuação de cargas superiores às previstas em projeto, falhas de dimensionamento estrutural, deficiências construtivas ou inadequações durante a execução da obra. Em muitos casos, as fissuras e deformações observadas inicialmente não comprometem de forma imediata a segurança da estrutura, uma vez que seus efeitos ainda se encontram dentro dos limites admissíveis de utilização estabelecidos pelas normas técnicas.

Entretanto, quando não identificadas e corrigidas adequadamente, essas anomalias podem evoluir, reduzindo a durabilidade, a funcionalidade e o desempenho estrutural ao longo da vida útil da edificação.

A Figura 10 apresenta um gráfico ilustrativo da distribuição percentual dos erros associados às diferentes etapas de uma obra de pavimentação, evidenciando a influência das fases de projeto, execução, materiais e manutenção no surgimento das manifestações patológicas, com base na ABNT NBR 6118:2026 e em Medeiros, Andrade e Helene (2022).

Figura 10: Porcentagem de erros em etapas de obra de pavimentação.



Fonte: Adaptado de HELENE (2022).

Nesse caso, é possível destacar que a fase de projeto e execução das pavimentações e outras construções como um todo, devem possuir uma atenção adequada para evitar erros que possam comprometer a vida útil do que se está construindo e a segurança de quem as usa.

Suas principais causas, são retração plástica, variações térmicas, sobrecargas, corrosão da armadura, ou recalque diferenciais (HELENE, 2022).

As fissuras por retração do concreto, segundo Thomaz (2020), acontecem de forma natural pela própria hidratação do cimento, mas alguns fatores podem desregular o processo, como por exemplo, a concretagem em elevadas temperaturas, baixa umidade do local.

Outras patologias incluem a segregação de agregados, causada por falhas na mistura e lançamento do concreto, e as reações álcali-agregado (RAA), que promovem expansões internas, formando fissuras visíveis na superfície do concreto (HELENE; PEREIRA, 2015).

A segregação dos agregados é uma manifestação patológica decorrente da separação dos componentes do concreto fresco durante o transporte, lançamento ou adensamento inadequado. Essa patologia compromete a homogeneidade da mistura, gerando regiões com maior concentração de pasta ou de agregados graúdos, o que reduz a resistência mecânica e favorece o surgimento de vazios e fissuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2016).

Conforme Weimer (2018) vários tipos de agentes patológicos podem afetar o concreto armado, o que dificulta a classificação das fissuras. Ele classifica as causas das fissuras em dois grandes grupos: Fissuras provocadas por ações externas, que podem ser recalques diferenciais, vibrações, impactos e sobrecargas; e fissuras por causas internas que estão relacionadas ao processo construtivo, no caso das retrações plásticas, por secagem, variações térmicas e reações álcali-agregados.

As fissuras e trincas são causadas por retração térmica, carregamentos excessivos ou erros de execução, esses carregamentos e esforços internos, são capazes de romper o concreto causando essas patologias (Weimer, 2018). Os recalques diferenciais são decorrentes de falhas na compactação do subleito.

A desagregação superficial é o resultado de ataque químico ou desgaste por abrasão. As reações álcali-agregado (RAA) promovem expansão interna e fissuração. A corrosão das armaduras é causada por penetração de cloretos ou carbonatação. A Exsudação e segregação são problemas ainda na fase plástica do concreto, que comprometem a resistência e homogeneidade da placa.

3.5 Causas das patologias

As causas das patologias podem ser agrupadas em falhas de projeto, execução ou uso. De acordo com Helene e Pereira (2015), deficiências no projeto, como a má distribuição de juntas de dilatação ou subdimensionamento do pavimento, contribuem significativamente para o surgimento de falhas.

Durante a execução, a compactação inadequada do subleito, a cura deficiente e o controle precário da qualidade dos materiais são fatores críticos. Além disso, o uso indevido da estrutura, como sobrecarga ou tráfego não previsto, acelera o processo de deterioração (FUSCO, 2013).

Em ambientes industriais, como pátios e estacionamentos logísticos, o pavimento está frequentemente exposto a solicitações elevadas, tornando imprescindível a adoção de critérios rigorosos desde a fase de projeto até a manutenção periódica.

Diversos fatores contribuem para o surgimento de falhas em pavimentos rígidos:

- Projeto estrutural inadequado
- Erro na dosagem do concreto
- Ausência ou falha nas juntas de dilatação
- Falta de controle tecnológico durante a execução
- Carga excessiva ou tráfego fora do previsto
- Ação de agentes agressivos (água, sulfatos, etc.)

Além dos aspectos construtivos, as condições de uso influenciam diretamente a vida útil do pavimento. Tráfego com cargas superiores às previstas no projeto ou volumes de veículos maiores aumentam o esforço sobre a estrutura, podendo causar falhas prematuras (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Por fim, a exposição a agentes agressivos externos, como água, sulfatos e sais, favorece processos de degradação química e física, que, se não mitigados por meio de um concreto adequado e manutenção preventiva, reduzem a vida útil da pavimentação (HELENE; ANDRADE, 2016).

3.6 Métodos de Diagnóstico

A escolha do método deve considerar o tipo, extensão e localização da manifestação patológica, bem como os recursos disponíveis e o acesso à estrutura.

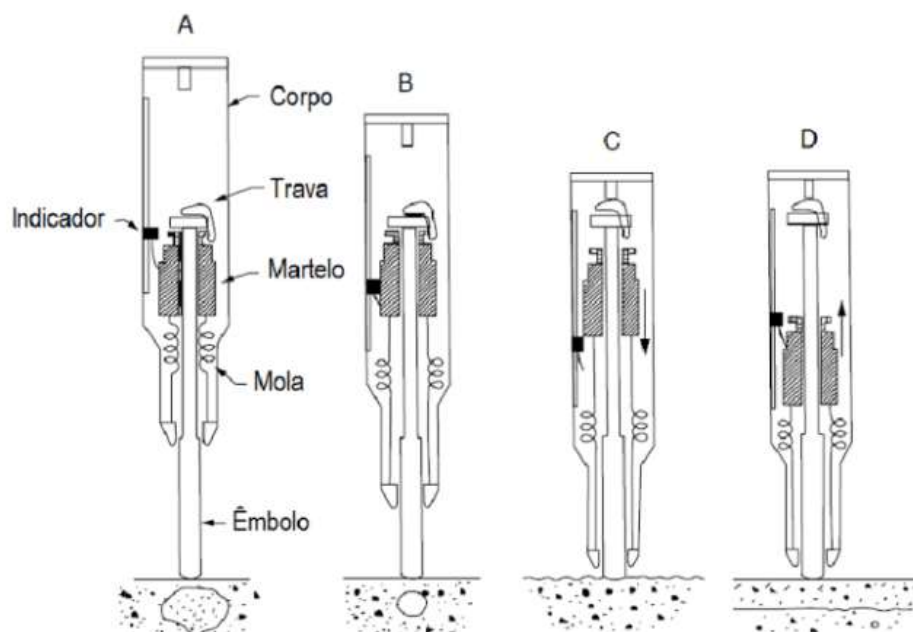
Para identificar e avaliar as patologias, utilizam-se técnicas como:

- Inspeção visual sistematizada
- Esclerometria (ensaio de dureza superficial)
- Ultrassom no concreto
- Carotagem e análise laboratorial
- Mapeamento de fissuras com monitoramento fotográfico
- Ensaio de corrosão (potencial eletroquímico)

O diagnóstico técnico é essencial para determinar a origem das patologias e definir as medidas corretivas apropriadas. A primeira etapa geralmente consiste em inspeção visual sistematizada, que permite a identificação preliminar de trincas, deslocamentos, manchas e deformações (HELENE; PEREIRA, 2015).

Para aprofundar a análise, podem ser aplicados ensaios não destrutivos como esclerometria, que mede a dureza superficial do concreto, e ultrassonografia, que verifica a integridade interna da estrutura. Os métodos eletroquímicos (potencial de corrosão, resistividade elétrica) e os testes por ultrassom, são fundamentais para a detecção precoce de corrosão nas armaduras e a identificação de fissuras internas, sem comprometer a integridade da estrutura.

Figura 11: Esquema de funcionamento de um esclerômetro de reflexão.



Fonte: Mehta; Monteiro, 2014.

A figura 11 esquematiza em quatro partes a utilização da esclerometria de reflexão ou Martelo de Schmidt como ensaio semidestrutivo, utilizando danos mínimos para avaliação da resistência à compressão indireta ou dureza superficial de estruturas (IBRACON, 2018). Na imagem (a), indica o instrumento pronto para o ensaio, na (b), o corpo é impulsado em direção ao objeto de ensaio, (c) o martelo é solto; e (d) o martelo sofre reflexão.

Durante a realização do ensaio, a energia gerada pelo impacto é parcialmente absorvida pelo elemento de concreto, provocando deformações localizadas em sua superfície. A parcela restante da energia permanece armazenada elasticamente, possibilitando o retorno do mecanismo de impacto a uma posição próxima à sua condição inicial.

Dessa forma, a distância de retorno registrada após o impacto está diretamente relacionada à dureza superficial do concreto, permitindo uma avaliação indireta de suas propriedades mecânicas e de sua uniformidade superficial.

A combinação dessas técnicas possibilita um diagnóstico mais completo, orientando decisões sobre manutenção e reparo. A carotagem, por sua vez, possibilita retirar amostras para ensaios laboratoriais, enquanto os ensaios eletroquímicos indicam a presença de corrosão nas armaduras (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O ensaio de ultrassom no concreto consiste em um método não destrutivo amplamente empregado para avaliação da qualidade e da integridade estrutural de elementos de concreto, incluindo pavimentos rígidos. O método baseia-se na propagação de ondas ultrassônicas através do material, permitindo analisar suas características internas sem causar danos à estrutura.

Na pavimentação rígida, o ensaio apresenta grande relevância para o controle tecnológico, diagnóstico de patologias e avaliação das condições estruturais do pavimento ao longo de sua vida útil. A figura 12, demonstra o aparelho utilizado nos ensaios.

Figura 12: Medidor de velocidade de pulso ultrassônico.



Fonte: <https://megainstrumentos.com.br/produto/ultrassom-para-concreto-proceq-pundit-lab/>. Acesso em 10 de mai.2026.

O UPV (Ultrasonic Pulse Velocity), ou velocidade de pulso ultrassônico, consiste em um ensaio não destrutivo utilizado para avaliar a qualidade e a integridade do concreto por meio da medição da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas através do material.

O princípio do ensaio está relacionado à velocidade de propagação das ondas ultrassônicas no interior do concreto. Essa velocidade depende de propriedades físicas do material, como densidade, elasticidade, presença de vazios e descontinuidades internas. Para Mehta e Monteiro (2014), em concretos homogêneos e bem adensados, as ondas tendem a apresentar maiores velocidades de propagação. Por outro lado, concretos com fissuras, segregações, falhas de compactação ou deterioração apresentam redução na

velocidade das ondas. Na pavimentação rígida, o ultrassom pode ser utilizado para identificar defeitos internos não visíveis superficialmente, como vazios, fissuras, ninhos de concretagem e regiões deterioradas. Além disso, o método auxilia na avaliação da homogeneidade do concreto e na estimativa indireta de propriedades mecânicas, como resistência à compressão, desde que sejam estabelecidas correlações experimentais adequadas.

O ensaio também pode contribuir para a determinação da profundidade de fissuras e para a análise do grau de degradação estrutural em pavimentos submetidos ao tráfego e às ações ambientais (NEVILLE, 2016).

Entre as principais vantagens do método destacam-se a rapidez de execução, a ausência de danos à estrutura e a possibilidade de monitoramento contínuo do pavimento durante sua vida útil. Entretanto, os resultados podem ser influenciados por diversos fatores, tais como teor de umidade, tipo de agregado utilizado, idade do concreto e condições superficiais da peça ensaiada.

De acordo com a ABNT NBR 8802:2019, recomenda-se que o ensaio de ultrassom seja utilizado em conjunto com outros métodos de avaliação, visando aumentar a confiabilidade dos diagnósticos realizados. Dessa maneira, o ensaio ultrassônico representa uma ferramenta importante para a avaliação de pavimentos rígidos, contribuindo para a identificação precoce de falhas e auxiliando no planejamento de ações de manutenção e recuperação, reduzindo custos operacionais e aumentando a durabilidade das estruturas.

3.7 Técnicas de Reparo

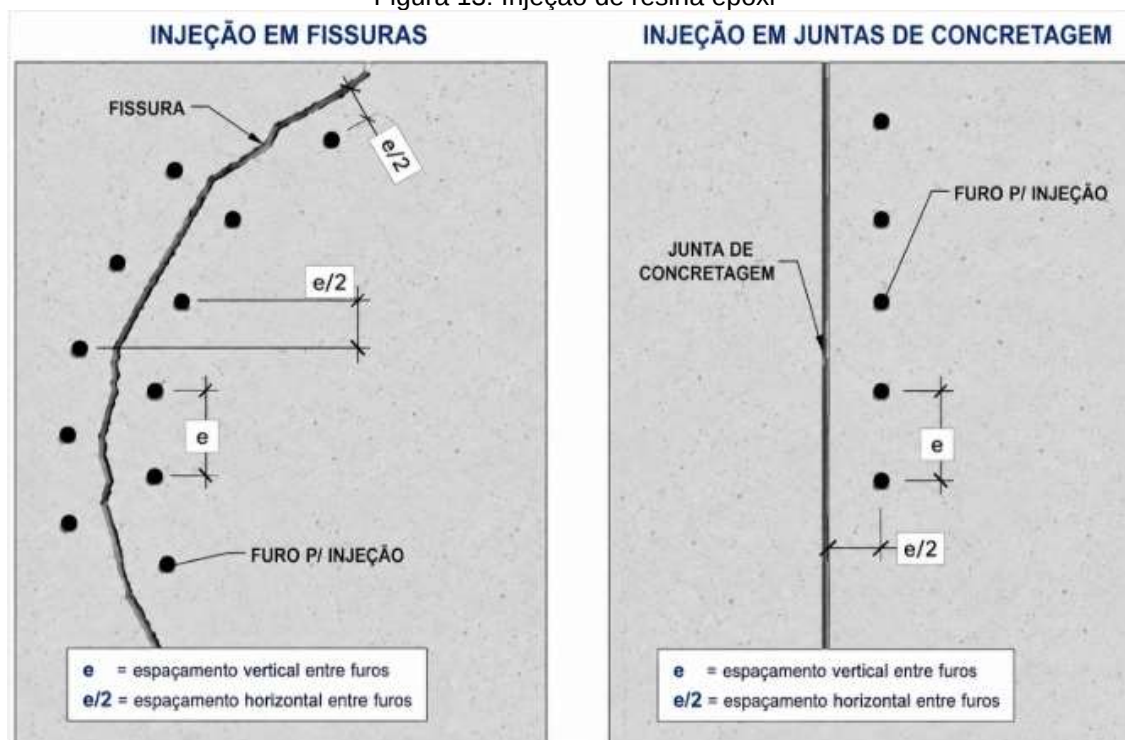
A escolha da solução deve ser orientada por critérios técnicos, econômicos e de viabilidade prática, garantindo a durabilidade e a segurança da estrutura recuperada.

As ações corretivas podem variar de acordo com a gravidade da patologia de acordo com o DNIT (2013), as ações corretivas estão entre as principais as seguintes:

- Tratamento de fissuras com resinas epóxi ou silicones
- Reparos superficiais com argamassa modificada
- Reparos em profundidade
- Substituição de placas danificadas

As técnicas de recuperação variam conforme a gravidade da patologia. O tratamento de fissuras pode ser feito com injeção de resinas epóxi ou selantes flexíveis. Em casos de corrosão localizada, é possível aplicar argamassas poliméricas para recobrimento e proteção das armaduras (HELENE; PEREIRA, 2015). A figura 13 representa o esquema de injeção de resina epóxi nas fissuras e juntas de concretagem.

Figura 13: Injeção de resina epóxi

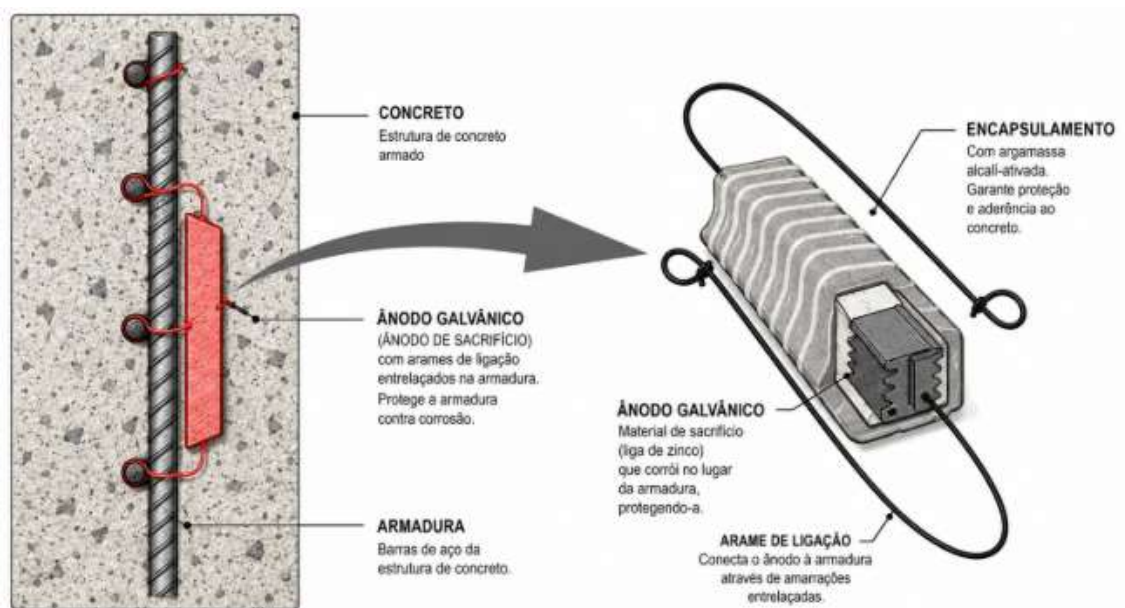


Fonte: disponível em: <https://parametricaeng.com/injecao-de-resina-epoxi/> . Acesso em 10 de mai. 2026.

Quando a placa de concreto está comprometida de forma irreversível, recomenda-se sua substituição. Já em problemas estruturais maiores, o reforço com fibras sintéticas ou estruturas metálicas pode ser necessário. Em situações de recalque, técnicas como recomposição do subleito e melhoramento do solo devem ser aplicadas (FUSCO, 2013).

A figura 14 demonstra o esquema de ânodos instalados durante os serviços de reabilitação ou ainda durante a construção de uma nova obra.

Figura 14: Instalação dos ânodos galvânicos para proteção das armaduras.



Fonte: Adaptado de Gomes (2024).

Os ânodos são componentes fundamentais dos sistemas de proteção catódica, sendo utilizados para reduzir ou interromper o processo de corrosão das armaduras de aço presentes no concreto armado. SANTOS, 2021 afirma que esse tipo de componente funciona com base no princípio eletroquímico de proteção, onde o ânodo atua como elemento de sacrifício, corroendo-se preferencialmente em relação ao aço da armadura. Dessa forma, reduz-se significativamente a perda de seção das barras de aço e prolonga-se a vida útil da estrutura.

A utilização de geossintéticos em pavimentos rígidos ocorre principalmente na interface entre a sub-base e a placa de concreto, bem como em intervenções de reforço e recuperação estrutural de pavimentos existentes. A figura 15 demonstra como é feito esse reforço:

Figura 15: Reforço com geossintéticos ou fibras poliméricas.



Fonte: SANTOMAURO (2022).

Conforme ilustrado na Figura 15, a execução do sistema inicia-se com a preparação e regularização do subleito ou da sub-base, garantindo adequadas condições de compactação e nivelamento. Em seguida, realiza-se o posicionamento do geossintético sobre a camada preparada, observando-se o alinhamento e as sobreposições especificadas em projeto, seguido da fixação do material para evitar deslocamentos durante as etapas construtivas subsequentes.

Posteriormente, executa-se a camada superior, que pode ser constituída por material granular, camada tratada com cimento ou pela própria placa de concreto.

A inserção de geossintéticos visa melhorar o comportamento estrutural do pavimento, uma vez que as geogrelhas contribuem para a distribuição de tensões e confinamento dos agregados, os geotêxteis desempenham funções de separação, filtração e drenagem, reduzindo problemas associados ao bombeamento de finos (pumping), enquanto as geocélulas promovem o confinamento lateral dos materiais, aumentando a estabilidade e o desempenho do sistema ao longo de sua vida útil (Koerner, 2012; IGS, 2019).

Para casos de corrosão das armaduras, técnicas como o revestimento com produtos anticorrosivos, a proteção catódica e o encapsulamento das armaduras são empregadas para evitar a progressão do fenômeno corrosivo, prolongando a vida útil da estrutura. A aplicação de revestimentos

impermeabilizantes na superfície também é uma estratégia eficiente para reduzir a penetração de água e agentes agressivos (IBRACON, 2018).

4. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo de analisar as principais manifestações patológicas em pavimentos rígidos de concreto armado, identificando suas causas, mecanismos de deterioração e possíveis técnicas de recuperação, esta pesquisa adotou o método de pesquisa revisão bibliográfica, desenvolvida a partir da consulta a livros, artigos científicos, dissertações, teses, normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), manuais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e publicações técnicas do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON).

A revisão teve como finalidade reunir conhecimentos consolidados acerca das patologias em pavimentos rígidos de concreto armado, abrangendo suas causas, mecanismos de degradação, métodos de diagnóstico e técnicas de recuperação, constituindo o embasamento teórico necessário para a análise do estudo de caso.

Como complemento à pesquisa bibliográfica, foi desenvolvido um estudo de caso, caracterizado por uma abordagem qualitativa e descritiva, com o propósito de relacionar os conhecimentos obtidos na literatura com uma situação real observada em ambiente industrial.

Para complementar o diagnóstico, foram analisadas informações disponibilizadas pela empresa responsável pela operação do empreendimento, incluindo projetos estruturais, relatórios de manutenção, histórico de tráfego e registros das cargas aplicadas ao pavimento. Embora não tenham sido realizados ensaios laboratoriais durante o período de desenvolvimento da pesquisa, a análise técnica foi fundamentada nas recomendações da literatura especializada, especialmente nas contribuições de Mehta e Monteiro (2014), Helene (1993), além das diretrizes técnicas do DNIT e das publicações do IBRACON.

A análise dos dados foi conduzida por meio da comparação entre as manifestações patológicas observadas durante as inspeções e os mecanismos de deterioração descritos na literatura técnica. Foram considerados aspectos

relacionados ao projeto estrutural, à qualidade dos materiais, aos processos executivos, às condições de manutenção e às solicitações mecânicas e ambientais às quais o pavimento está submetido. Em razão das características operacionais do complexo industrial, também foram avaliados os efeitos do tráfego intenso de veículos pesados, da elevada frequência de manobras de carga e descarga e da exposição contínua a agentes químicos agressivos, fatores que influenciam diretamente a durabilidade e o desempenho dos pavimentos rígidos.

Dessa forma, a integração entre a revisão bibliográfica e o estudo de caso permitiu compreender as causas das manifestações patológicas identificadas, estabelecer correlações entre teoria e prática e subsidiar a proposição de técnicas de recuperação compatíveis com as condições de operação do pavimento analisado. Esta abordagem metodológica proporcionou um diagnóstico técnico fundamentado, contribuindo para a avaliação do desempenho estrutural e para a definição de estratégias voltadas ao aumento da vida útil do pavimento rígido em ambiente industrial.

5. ESTUDO DE CASO

5.1 Descrição do local

O estudo de caso foi desenvolvido a partir da análise técnica do pátio de circulação de caminhões e maquinários de um complexo industrial de fertilizantes localizado na área industrial de São Luís – MA. O objeto de estudo corresponde ao pavimento rígido em concreto armado convencional, destinado às operações de circulação, carregamento e descarregamento de fertilizantes e submetido continuamente ao tráfego intenso de veículos pesados.

A unidade industrial foi inaugurada em 2012 e, no período da pesquisa, apresentava aproximadamente 11 anos de operação. O galpão de armazenamento possui área total de 11.631,40 m², conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16: Layout de implantação do galpão com a projeção do piso do pátio de circulação de caminhões e maquinários em evidência (vermelho).



Fonte: Luczynski, 2025.

Foram disponibilizados apenas os projetos arquitetônicos da edificação, não sendo fornecidos os projetos estruturais do pavimento, o que impossibilitou a verificação do detalhamento da armadura, das juntas e dos critérios de dimensionamento estrutural.

A Figura 17 apresenta a localização da área estudada.

Figura 17: Vista aérea do local de estudo.



Fonte: Google Earth.

O pavimento é constituído por placas de concreto armado com espessura média de 20 cm, apoiadas sobre camadas de base e sub-base, projetadas para suportar solicitações elevadas decorrentes das operações logísticas da planta industrial.

Após aproximadamente 11 anos de utilização, o pavimento passou a apresentar manifestações patológicas como fissuras, trincas, rachaduras, desagregação superficial, desníveis entre placas, falhas nas juntas de dilatação e pontos de exsudação. Também foi identificada a instabilidade de um talude com aproximadamente 2,0 m de altura, localizado nas proximidades do pátio, condição que pode favorecer recalques diferenciais e comprometer o desempenho estrutural da pavimentação.

A coleta de dados foi realizada por meio de inspeções visuais *in loco*, complementadas por registros fotográficos e análise dos documentos disponibilizados pela empresa. As vistorias ocorreram nos dias 14 e 17 de janeiro de 2025, com acompanhamento da equipe de manutenção do complexo industrial. Durante as inspeções foram registrados os diferentes tipos de manifestações patológicas observadas no pavimento, conforme ilustrado na Figura 18.

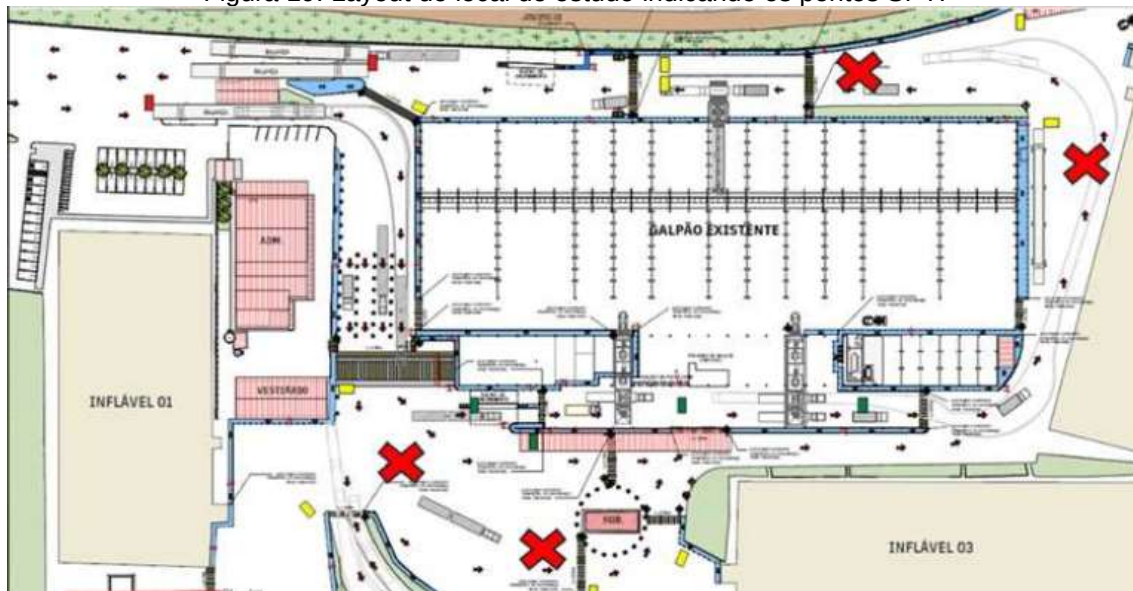
Figura 18: Registro de um dos lados do galpão.



Fonte: Luczynski, 2025.

Como etapa complementar da investigação, foram executadas quatro sondagens geotécnicas do tipo SPT (Standard Penetration Test) em pontos estratégicos do pátio, indicados na Figura 19.

Figura 19: Layout do local de estudo indicando os pontos SPT.



Fonte: Luczynski, 2025.

Os resultados evidenciaram que os primeiros dois metros do subsolo são constituídos predominantemente por areia fina siltosa de baixa resistência à penetração, indicando reduzida capacidade de suporte das camadas de fundação. Essa condição pode contribuir para a ocorrência de recalques diferenciais e para o desenvolvimento das patologias observadas. A localização dos furos de sondagem é apresentada na Figura 20.

Figura 20: Especificação dos furos de sondagem realizados pela empresa JM TOPOGRAFIA.



Fonte: JM TOPOGRAFIA, 2025.

A sondagem SPT é um método de investigação geotécnica utilizado para determinar as características do subsolo, incluindo a resistência à penetração, a identificação das camadas de solo e o nível do lençol freático, auxiliando na definição das fundações da obra (ABNT, 2020; PASCALC, 2025).

5.2 Patologias identificadas e suas causas

A inspeção técnica foi realizada mediante inspeção visual detalhada e levantamento dimensional com equipamento de nivelamento para identificar desníveis entre placas e foram observadas as seguintes manifestações patológicas:

- Trincas e fissuras:

Fissuras transversais e longitudinais com abertura variando entre 0,2 e 0,8 mm, principalmente nas regiões próximas aos apoios, indicando esforços concentrados e possível deficiência na distribuição de carga. Essas fissuras podem indicar tensões excessivas e fadiga do material. A figuras representa a patologias indicadas.

Figura 21: Fissuras no piso do pátio.



Fonte: Luczynski, 2025.

- Ausência ou deficiência das juntas de dilatação:

Em diversas placas, as juntas estavam ausentes, mal dimensionadas ou preenchidas inadequadamente, o que compromete a acomodação das dilatações térmicas e provoca esforços internos elevados.

O DNIT (2010) recomenda juntas de dilatação a cada 6 a 9 metros para pavimentos rígidos sujeitos a variações térmicas intensas, o que não foi respeitado integralmente no local.

- Desníveis entre placas:

As medições de nivelamento apontaram desníveis verticais de até 5 mm nas junções entre placas, especialmente ao redor dos bueiros de captação de águas pluviais, facilitando o acúmulo de água e aumentando o risco de infiltrações que podem acelerar a deterioração do concreto e o enfraquecimento da base. A Figura 22 representa um dos desníveis encontrados no piso durante a inspeção.

Figura 22: Registro do piso do pátio.



Fonte: Luczynski, 2025.

A presença desse tipo de irregularidade em pavimentos rígidos está associada ao fenômeno conhecido como faulting, caracterizado pela diferença de elevação entre placas adjacentes em juntas ou fissuras. Segundo Yu Chen e Robert Lytton (2019), o faulting constitui uma das principais manifestações patológicas em pavimentos de concreto, sendo responsável pelo aumento da irregularidade superficial e pela redução da qualidade funcional do pavimento. Esse mecanismo geralmente ocorre devido à ação combinada de carregamentos repetitivos, infiltração de água, perda de suporte da fundação e processos erosivos nas camadas subjacentes do pavimento.

A entrada de água pelas juntas pode provocar a saturação das camadas de apoio e favorecer a remoção progressiva de partículas finas por meio do fenômeno denominado pumping, ocasionando a formação de vazios sob as placas e, conseqüentemente, recalques diferenciais ao longo da estrutura do pavimento.

- Deterioração do concreto:

Em áreas próximas ao talude, observou-se perda da camada superficial do concreto, exposta à ação de agentes agressivos, tais como sulfatos presentes

no solo e águas pluviais ácidas, além de desnível entre as placas ocasionando concentrações localizadas de tensões e comprometendo as condições de trafegabilidade da estrutura. A figura 23 demonstra os desgastes da via causado pela movimentação de cargas pesadas.

Figura 23: Desgastes na via.



Fonte: Luczynski, 2025.

A figura 24 demonstra como o pátio de circulação de veículos se apresentava após a ocorrência de chuvas na região.

Figura 22: Pátio de circulação de veículos pesados.



Fonte: Luczynski, 2025.

Pela análise da figura 24 pode-se perceber o acúmulo de águas proveniente de chuvas que se acumulam e infiltram pelas trincas e rachaduras presentes no piso. A combinação entre ações químicas e solicitações mecânicas repetidas tende a acelerar os mecanismos de deterioração, promovendo desgaste superficial, desprendimento de partículas e redução da capacidade resistente do concreto (Neville, 2016).

Além disso, a presença de desníveis pode aumentar os impactos dinâmicos gerados pelo tráfego, intensificando a degradação progressiva das juntas e das regiões adjacentes. Na figura 25 é observado o desgaste da pavimentação causado pelo intenso fluxo de veículos pesados e exposição do concreto à agentes agressivos.

Figura 23: Desgaste da pavimentação.



Fonte: Luczynski, 2025.

Conforme observado na Figura 25, o desgaste superficial identificado na pavimentação evidencia um processo de deterioração associado à atuação simultânea de esforços mecânicos e fatores ambientais. O tráfego contínuo de veículos pesados submete as placas de concreto a ciclos repetitivos de carregamento, provocando tensões de compressão, tração e cisalhamento que contribuem para a degradação progressiva da superfície do pavimento.

Além disso, a exposição a agentes agressivos pode acelerar mecanismos de deterioração do concreto, favorecendo processos como desagregação superficial, perda de material e redução das propriedades mecânicas ao longo do tempo. De acordo com Neville (2016), a ação combinada de carregamentos repetitivos e fatores ambientais constitui uma das principais causas de redução da durabilidade do concreto, principalmente quando há presença de umidade e substâncias potencialmente agressivas.

- Instabilidade do talude:

O talude adjacente, com aproximadamente 2 metros de altura, apresentou sinais de movimentação, como fissuras no solo e pequenas escorregadas, evidenciando a insuficiência dos sistemas de contenção existentes, que não

atendem aos critérios da ABNT NBR 11682:2009 para estabilidade de taludes em áreas industriais. A figura 26 indica o local do talude.

Figura 24: Talude presente no local de estudo.



Fonte: Luczynski, 2025.

Conforme a ABNT NBR 11682:2009, a análise da estabilidade de taludes deve considerar fatores como características geotécnicas do solo, condições de drenagem, geometria da encosta e cargas atuantes, de modo a garantir condições adequadas de segurança e desempenho ao longo da vida útil da estrutura. Assim a precoce identificação dessas patologias é fundamental para a definição de medidas corretivas com o objetivo de evitar a progressão e a dificuldade de resolução do problema

5.3 Análise das causas

O diagnóstico técnico apontou que a principal causa das patologias reside no subdimensionamento e na má execução das camadas de sub-base e leito, as quais não apresentam resistência mecânica compatível com as solicitações provenientes do tráfego pesado, sobretudo em situações de cargas cíclicas elevadas. A compactação inadequada dessas camadas provoca recalques diferenciais, resultando em fissurações longitudinais e transversais, desníveis

entre placas e perda da capacidade funcional do pavimento (YODER; WITCZAK, 1975).

Com base na NBR 6118:2026, que rege o dimensionamento de estruturas de concreto armado, e nos critérios de durabilidade definidos para estruturas submetidas a Classe de Agressividade Ambiental III (CAA III), conclui-se que o pavimento foi executado sem atender às condições mínimas exigidas quanto à resistência dos materiais, espessura de camadas e tratamento adequado das juntas.

Esse problema é intensificado quando há uso de materiais com baixa capacidade de suporte (CBR) ou executados sem controle de compactação e umidade ótima, o que compromete diretamente a modulação de tensões verticais e o desempenho da estrutura como um todo (DNIT, 2010).

Além disso, a ausência ou o dimensionamento incorreto das juntas de dilatação impede a acomodação dos movimentos térmicos e de retração do concreto, gerando tensões internas excessivas que culminam em trincas e deslocamentos entre placas (ACI 325.12R-02; MEHTA; MONTEIRO, 2014), como indica a figura 27.

Figura 25: Deformações em decorrência do deslocamento entre placas.



Fonte: Luczynski, 2025.

Na figura 27 é possível verificar pontos de deformação o que indica possível movimentação do solo, onde faz-se necessário um estudo sobre estabilidade de taludes. A instabilidade do talude é uma consequência direta da falta de contenção lateral eficaz e da inexistência ou deficiência dos sistemas de drenagem superficial e profunda.

Esses fatores são críticos para manter a estabilidade geotécnica da plataforma, sobretudo em áreas sujeitas a vibrações oriundas do tráfego e ciclos de carregamento e descarregamento intensos. A norma ABNT NBR 11682:2009 reforça a importância de sistemas de contenção e drenagem adequados para garantir a segurança de taludes em obras de engenharia civil.

A má colocação ou a inexistência de barras de transferência também contribui para o escalonamento nas juntas, uma das manifestações patológicas mais comuns em pavimentos rígidos (BALBO, 2009).

Segundo o Manual de Pisos Industriais (GERDAU, 2015), a eficiência do sistema de pavimentação está diretamente relacionada à compatibilidade mecânica entre placa, base, sub-base e subleito. No caso analisado, a sub-base cimentada apresentou comportamento frágil, absorvendo excessivamente os esforços, acelerando o processo de fadiga das placas de concreto.

Em áreas próximas ao talude, o concreto encontra-se mais vulnerável à exposição química e mecânica, favorecendo processos de degradação como abrasão, ataque por sulfatos ou ação de águas ácidas, especialmente em regiões onde há tráfego de veículos pesados, acúmulo de água e ausência de selamento adequado das juntas (HELENE; TERZIAN, 1992).

De acordo com Tschegg et al. (2008), fissuras e falhas estruturais em placas de concreto armado podem ser intensificadas pela presença de umidade constante na base, promovendo corrosão das armaduras e perda de aderência. Já o ACI 360R-10 recomenda cuidados específicos no preparo da base para minimizar recalques e garantir o desempenho adequado da laje de concreto em serviço.

5.4 Medidas corretivas e recomendações técnicas

Com base nas constatações, foram propostas as seguintes medidas técnicas:

- **Reabilitação do talude**

A reabilitação do talude encontrado pode ser realizada por meio da implementação de técnicas geotécnicas de contenção, como muros de arrimo ou cortinas atirantadas, combinadas com drenagem superficial e profunda para controle eficiente das águas pluviais e redução da pressão hidrostática, conforme parâmetros da ABNT NBR 11682:2009.

Massad (2019) afirma que com a adoção de sistemas de drenagens adequados podem ser evitados os problemas de infiltração da excessiva presença de água no solo, o que acarreta no aumento da poropressão, redução da resistência ao cisalhamento e a perda das condições de estabilidade do talude.

A tabela 3 evidencia a sistemática de medidas, descrição, normas adotadas e os benefícios que são esperados.

Tabela 3: Medidas corretivas recomendadas, descrição, normas técnicas aplicáveis e benefícios esperados.

Medida Corretiva	Descrição	Normas Aplicáveis	Benefícios Esperados
Reabilitação do talude	Construção de muros de arrimo e drenagem eficiente	NBR 11682 (2009)	Estabilidade geotécnica
Reforço das camadas base/sub-base	Substituição por materiais adequados e compactação	NBR 7187 (2021)	Suporte adequado para cargas
Adequação das juntas de dilatação	Instalação de juntas flexíveis dimensionadas	NBR 7187 (2021)	Redução de esforços internos
Reparo das placas de concreto	Injeção de resinas epóxi e substituição de placas	NBR 6118 (2023)	Recuperação estrutural
Manutenção preventiva	Inspeções periódicas e monitoramento contínuo	Recomendações gerais	Prolongamento da vida útil

Fonte: Adaptado de Helene, 1993.

Essas soluções contribuem para a proteção superficial do talude, redução dos processos erosivos e aumento da resistência mecânica do conjunto solo-estrutura. Segundo Gerscovich (2016), a escolha da técnica de estabilização deve considerar fatores como características geotécnicas do solo, geometria do talude, condições de drenagem, intensidade das cargas atuantes e aspectos econômicos da intervenção.

- **Reforço das camadas de base e sub-base**

Substituição ou reforço das camadas inferiores com materiais de granulometria adequada e resistência compatível, seguindo as recomendações do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT. A adoção dessas técnicas pode proporcionar maior capacidade de suporte, aumento da vida útil da estrutura e redução das intervenções de manutenção ao longo do período de operação do pavimento (DNIT, 2006).

- Adequação das juntas de dilatação

Reposição e dimensionamento correto das juntas com materiais flexíveis e duráveis, que permitam acomodar as variações térmicas e evitar infiltrações, conforme detalhamento técnico do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT.

A infiltração de água através das juntas pode ocasionar erosão das camadas inferiores do pavimento, perda da continuidade do suporte estrutural e desenvolvimento do fenômeno de *pumping*, caracterizado pela expulsão de água e partículas finas sob a ação repetitiva das cargas do tráfego. Esse processo pode provocar recalques diferenciais, desníveis entre placas e redução significativa da vida útil do pavimento.

- Reparo das placas de concreto

Reparo das fissuras com injeção de resinas epóxi para restauração da integridade estrutural e vedação contra agentes agressivos, e substituição das placas com danos irreversíveis. As intervenções devem seguir as boas práticas recomendadas pela norma NBR 6118 para reparo estrutural.

- Implantação de plano de manutenção preventiva

Programa sistemático de inspeção periódica, monitoramento da estabilidade do talude e avaliação contínua das condições do pavimento, com registro de dados para planejamento de intervenções futuras e garantia da durabilidade da estrutura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso do complexo de fertilizantes evidencia a importância da compatibilidade entre dimensionamento estrutural, execução e qualidade do solo de apoio em pavimentos rígidos. A negligência de critérios técnicos fundamentais ao longo das camadas do pavimento e ausência de juntas de dilatação resultaram em danos estruturais relevantes.

A adoção de soluções paliativas, como o simples preenchimento de trincas, não se mostra eficaz diante da magnitude do problema. O cenário demanda uma reconstrução técnica do pavimento, respeitando os princípios da engenharia de pavimentos e as normas vigentes.

O caso analisado serve como exemplo concreto das consequências de falhas de projeto e execução em estruturas de concreto armado expostas a tráfego pesado contínuo, sendo um alerta sobre a necessidade de manutenção e inspeções periódicas para garantir a durabilidade e segurança das obras de infraestrutura.

Este trabalho apresentou uma análise detalhada das patologias encontradas em estruturas de concreto armado aplicadas em pavimentos rígidos, com foco em um estudo de caso real no estacionamento de um complexo industrial de fertilizantes em São Luís, Maranhão. Foram identificados trincas, fissuras, desníveis, deterioração do concreto e instabilidade do talude, cujas causas principais foram associadas à insuficiência das camadas de base e sub-base, falhas nas juntas de dilatação e instabilidade geotécnica do terreno.

As medidas corretivas propostas, incluindo a estabilização do talude, reforço das camadas de suporte, reparo das placas e adequação das juntas, aliadas à implantação de um plano de manutenção preventiva, são essenciais para garantir a durabilidade e segurança do pavimento rígido.

Recomenda-se a realização de monitoramento contínuo e avaliações periódicas para antecipar novas manifestações patológicas e garantir a eficiência das intervenções.

O estudo das patologias em pavimentos rígidos de concreto armado evidencia a importância de um projeto bem elaborado, uma execução controlada e manutenções regulares. As manifestações patológicas, quando não tratadas, comprometem seriamente a vida útil da estrutura e geram custos elevados com interdições e obras emergenciais.

Conclui-se que as patologias mais recorrentes estão associadas à negligência técnica e à ausência de ações preventivas. Assim, o conhecimento técnico aliado a ferramentas de inspeção e métodos de recuperação eficazes é essencial para garantir a segurança e a durabilidade dos pavimentos em concreto armado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Tecnologia do Pavimento de Concreto**. São Paulo: ABCP, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Estudo econômico pode definir uso de concreto em rodovias, mostra especialista da ABCP**. São Paulo, 2022.

ABNT NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto** — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ABNT NBR 7187. Pavimentos rígidos – **Projeto e execução**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021.

ABNT NBR 9781. **Execução de pavimentos rígidos de concreto**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2026.

ABNT NBR 11682. **Projeto de estabilidade de taludes**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009.

ACI COMMITTEE 201.1R-08. **Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service**. American Concrete Institute, 2008.

AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION. **Concrete Pavement History**. ACPA, 2002.

ARAÚJO, Thiago Thielmann de; SILVA JUNIOR, Wladimir Nascimento. **Reforço estrutural em fibra de carbono para estruturas de concreto armado**. In: PATORREB – 6ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, 2018, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: POLI/UFRJ, 2018. Disponível em: <https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80533.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2026.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras/ABEDA, 2022.

CAETANO, Luiz Carlos Pinto da Silva. **Engenharia de Pavimentos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABECE, 2013.

CAVA, Felipe. **Além da Inércia**. 2018. Disponível em: <https://alemdainercia.com/cursos/dimensionamento-de-pavimentos-2-0/>. Acesso em: 20 jul. 2025

CHEN, Y.; LYTTON, R. L. **Development of a New Faulting Model in Jointed Concrete Pavement using LTPP Data**. Transportation Research Record, v. 2673, n. 5, p. 407–417, 2019.

CRISTIANO, B. R.; MAIA, R. D. **Pavimentos rígidos em rodovias**. Caratinga, 2014. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/1134/1/MONOGRAFIA%20PAVIMENTOS%20RIGIDOS%204-6.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2025.

CT GUEDES – **Pisos e concretos**. Disponível em: [https://ctguedes.com.br/home/obras/execucao-piso-concretoarmado/#iLightbox\[gallery_image_1\]/-1](https://ctguedes.com.br/home/obras/execucao-piso-concretoarmado/#iLightbox[gallery_image_1]/-1). Acesso em: 15 mai. 2025.

CUNHA, P. F. da. **Dimensionamento e análise numérica de pisos industriais de concreto**. Dissertação (Especialização) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. Acesso em: 20 de junho de 2025. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UERJ_6672804eb1cff16fe068e7ca89675b62.

DNIT. **Manual de pavimentos rígidos – diagnóstico e manutenção**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2006.

FUSCO, F. J. **Concreto armado: conceitos, projeto e execução**. São Paulo: Pini, 2013.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GOMES, Juliano M.; DAL MOLIN, Denise C. C. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2005.

GOMES, Luiz Paulo. **Âodos Galvashield de proteção catódica para os serviços de reabilitação de estruturas de concreto contaminadas por cloretos**. IEC – Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda., 30 jul. 2024. Disponível em: www.iec-engenharia.com.br. Acesso em: 16 abr. 2026.

GUIMARÃES, G. L. N. **Estudo comparativo entre a pavimentação flexível e rígida** – Monografia – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia, 2011.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Manual de reparo, reforço e proteção das estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

HELENE, P. R. L.; ANDRADE, T. A. **Durabilidade do Concreto: como prevenir as manifestações patológicas**. Pini, 1993.

HELENE, P.; PEREIRA, A. A. **Patologia e recuperação de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

HELENE, P. R. L. et al. **Manual de Inspeção de Pontes em Concreto Armado**. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2001.

KOERNER, ROBERT M. **Designing with Geosynthetics**. 6. ed. Bloomington: Xlibris, 2012. International Geosynthetics Society. Geosynthetics Handbook. 2019.

LOPES, Diego Meireles; NÓBREGA, Marcelo de J. Rodrigues da. **Avaliação das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado de uma edificação**. Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro, p.4, 2021. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/view/1474>. Acesso em: 27 junho 2025.

LUCZYNSKI, Mikhail. **Laudo Técnico Referente a Avaliação Estrutural do Piso em Concreto Armado do Pátio de Circulação de Caminhões do Complexo de Fertilizantes**. São Luis, 2025.

MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 5ª ed. São Paulo: Bookman, 2016.

Qualidade Mineração LTDA. Disponível em: <https://qualidademineraacao.com.br/calçamento-com-paralelepipedo>. Acesso em: 15 mai. 2025.

PASCALC. **Sondagem SPT: como interpretar e usar no projeto — NBR 6484**. Disponível em: <https://www.pascalc.com.br/conteudo/sondagem-spt-interpretacao>. Acesso em: 15 mai. 2026.

SANTOMAURO, Antonio Carlos. **6 principais tipos de geossintéticos**. Plástico Moderno, 11 ago. 2022. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/os-principais-tipos-de-geossinteticos/>. Acesso em: 12 mai. 2026.

SANTOS, Rodrigo. **Ânodos GalvaShield de proteção catódica para os serviços de reabilitação de estruturas de concreto contaminadas por cloretos**. IEC Engenharia, 2021. Disponível em: <https://iecengenharia.com.br/noticia/anodos-galvashield-de-protecao-catodica-para-os-servicos-de-reabilitacao-de-estruturas-de-concreto-contaminadas-por-cloretos/>. Acesso em: 12 mai. 2026.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 2. ed. Porto Alegre: Grupo A, 2020. 244 p.

WEIMER, Paulo. **Fissuras em elementos de concreto: causas, tipos, mecanismos e prevenção**. Porto Alegre: Luzzatto, 2018.

YODER, E. J.; WITCZAK, M. W. **Principles of Pavement Design**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1975.