



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
PROTENDIDO

Uberlândia,
2026

GUSTAVO LOPES DOS SANTOS

Manifestações patológicas em estruturas de concreto protendido.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Doutor Paulo Roberto Cabana Guterres

Uberlândia,

2026

AGRADECIMENTOS

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso representa não apenas o encerramento de uma importante etapa acadêmica, mas também a concretização de um sonho construído com o apoio e incentivo de pessoas muito especiais ao longo dessa jornada.

Em primeiro lugar, agradeço à minha família e à minha namorada pelo amor, paciência, compreensão e apoio incondicional nos momentos de cansaço, estresse e dúvidas. Sua presença constante foi essencial à manutenção do foco e da motivação.

Aos meus amigos que, com companheirismo e incentivo, tornaram essa caminhada mais leve, seja com palavras de apoio, momentos de descontração ou ajuda nos estudos.

Agradeço imensamente à minha mãe e ao meu pai por todo o amor, educação e valores que me transmitiram. Sem o esforço, dedicação e sacrifícios deles, jamais teria chegado até aqui. À minha irmã, por ser sempre uma fonte de carinho e parceria.

Finalmente, agradeço à instituição e a todos os professores que fizeram parte da minha formação. Cada aula, cada desafio e cada aprendizado foram essenciais para minha evolução como profissional e como ser humano.

A todos, o meu mais sincero e profundo agradecimento.

*“Se você encontrar um caminho sem
obstáculos, ele provavelmente não leva a lugar
nenhum”*

(René Descartes)

RESUMO

O presente trabalho aborda as manifestações patológicas em estruturas de concreto protendido, destacando sua relevância técnica diante da crescente utilização desse sistema estrutural em obras de médio e grande porte. O concreto protendido é amplamente empregado por possibilitar a redução de seções, o aumento de vãos e o melhor controle da fissuração. Contudo, apresenta elevada sensibilidade a falhas de projeto, execução e manutenção, especialmente no que se refere à integridade dos cabos de protensão. O objetivo do estudo consiste em analisar os principais tipos de patologias que acometem estruturas protendidas, bem como os métodos de identificação e as estratégias de reparo e manutenção associadas, visando contribuir para a segurança, durabilidade e desempenho dessas estruturas. O método adotado baseia-se em revisão bibliográfica de normas técnicas brasileiras, em especial a ABNT NBR 6118:2023 e a ABNT NBR 1493:2023, além de artigos científicos, dissertações e estudos de caso recentes relacionados ao tema. São discutidos os principais mecanismos patológicos, como ruptura súbita de cabos, perda de protensão, fissuração, deslocamentos excessivos e infiltrações, enfatizando suas causas, consequências e inter-relações. Adicionalmente, o trabalho apresenta os principais métodos de identificação de patologias, com destaque para ensaios não destrutivos, como ultrassom, esclerometria, resistividade elétrica, termografia e o ensaio RIMT, evidenciando sua importância no diagnóstico precoce de danos internos. Como resultado, observa-se que a maioria das patologias em estruturas de concreto protendido está associada à deficiência de controle tecnológico, à exposição a ambientes agressivos e à ausência de manutenção preventiva sistemática. Conclui-se que a adoção de estratégias integradas de inspeção, diagnóstico, reparo e manutenção, aliadas ao rigor no atendimento às normas técnicas e à atuação de profissionais qualificados, é fundamental para prolongar a vida útil das estruturas protendidas e garantir níveis adequados de segurança estrutural ao longo do tempo.

Palavras-chave: concreto protendido; manifestações patológicas; ensaios não destrutivos; durabilidade estrutural; manutenção estrutural.

ABSTRACT

The present study addresses pathological manifestations in prestressed concrete structures, highlighting their technical relevance in view of the increasing use of this structural system in medium- and large-scale projects. Prestressed concrete is widely employed because it allows for reduced cross-sections, increased spans, and improved control of cracking. However, it presents high sensitivity to design, construction, and maintenance failures, particularly with regard to the integrity of prestressing tendons. The objective of this study is to analyze the main types of pathologies affecting prestressed structures, as well as the methods for their identification and the associated repair and maintenance strategies, aiming to contribute to the safety, durability, and performance of these structures. The adopted method is based on a bibliographic review of Brazilian technical standards, especially ABNT NBR 6118:2023 and ABNT NBR 14931:2023, in addition to scientific articles, dissertations, and recent case studies related to the subject. The main pathological mechanisms are discussed, such as sudden tendon rupture, loss of prestress, cracking, excessive displacements, and water infiltration, emphasizing their causes, consequences, and interrelationships. In addition, the study presents the main methods for identifying pathologies, highlighting non-destructive testing techniques such as ultrasonic testing, rebound hammer testing, electrical resistivity, thermography, and the RIMT test, demonstrating their importance in the early diagnosis of internal damage. As a result, it is observed that most pathologies in prestressed concrete structures are associated with deficiencies in technological control, exposure to aggressive environments, and the lack of systematic preventive maintenance. It is concluded that the adoption of integrated strategies for inspection, diagnosis, repair, and maintenance, combined with strict compliance with technical standards and the involvement of qualified professionals, is essential to extend the service life of prestressed structures and ensure adequate levels of structural safety over time.

Keywords: prestressed concrete; pathological manifestations; non-destructive testing; structural durability; structural maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de viga pré-tensionada.....	15
Figura 2 - Viaduto com reforço de cordoalha.....	17
Figura 3 - Laje protendida com aderência.....	19
Figura 4 - Protensão sem aderência.....	20
Figura 5 - Barra de protensão.....	21
Figura 6 - Colocação de blocos e cunhas.....	22
Figura 7 - Posicionamento do macaco de protensão.....	22
Figura 8 - SCC em cordoalha.....	24
Figura 9 - Escorregamento nas ancoragens.....	25
Figura 10 - Peça de elemento estrutural protendido.....	26
Figura 11 - Sistema de ancoragem oxidado.....	26
Figura 12 - Esquematização do ensaio de ultrassom.....	29
Figura 13 - Esclerômetro.....	30
Figura 14 - Esquematização da sonda de Wenner.....	31
Figura 15 - Ensaio termográfico.....	32
Figura 16 - Ensaio RIMT.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
RIMT	Remanent Induction Magnetic Test
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral:	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 DESENVOLVIMENTO.....	15
3.1 Aplicação de tensões antes da concretagem (Pré-tensionada).....	15
3.2 Aplicação de tensões após a concretagem (Pós-tensionada)	16
3.3 Critérios de Seleção dos Aços de Protensão.....	18
3.4 Aderência e Sistema de Protensão.....	19
3.5 Tipos de sistemas de ancoragem	20
4 TIPOS E CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS	23
5 IDENTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS.....	28
5.1 Ultrassom.....	28
5.2 Esclerometria	29
5.3 Ensaio de Resistividade Elétrica.....	31
5.4 Termografia	32
5.5 RIMT	33
6 PROPOSIÇÃO DE REPARO E MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO	35
6.1 Proposição de reparo	35
6.2 Proposição de manutenção	36
7 CONCLUSÃO.....	38
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

O concreto protendido constitui uma tecnologia consagrada na engenharia estrutural, permitindo a otimização de seções e o aumento de vãos em elementos como vigas, lajes e pisos industriais. Por meio da aplicação de forças de pré-compressão do concreto, determinadas pela pré-tensão do aço estrutural.

Essa técnica evoluiu significativamente, desde as primeiras experiências na França feitas pelo engenheiro Eugène Freyssinet, que patenteou o concreto protendido em 1928, até seu emprego maciço em obras de grande porte na Europa, EUA e, posteriormente, no Brasil, a partir da década de 1950 (Bastos, 2025).

Apesar de a corrosão generalizada ser a forma de degradação mais recorrente em estruturas protendidas, a ruptura frágil dos elementos de protensão, sobretudo em sistemas pós-tensionados com cabos aderentes, representa o maior perigo, já que tende a ocorrer de maneira súbita, sem sinais antecipados de falha (Proverbio, 2024).

Na fase de execução, adotam-se técnicas especiais de protensão, o que impõe um controle de qualidade mais rigoroso sobre os materiais e elementos instalados. Além disso, é preciso dispor de maior tecnologia, envolvendo profissionais qualificados e equipamentos que, normalmente, apresentam custos mais elevados (Hanai, 2005).

As normas como a ABNT NBR 6118:2023 (Projeto de Estruturas de Concreto) e a ABNT NBR 14931:2023 (Execução de Estruturas de Concreto) preveem diretrizes gerais para proteção de armaduras, a especificidade do aço protendido, porém demanda estudos mais profundos para otimizar a sua utilização.

O uso do concreto protendido cresceu muito no Brasil porque ele permite fazer vãos maiores e lajes mais espessas, o que é ótimo para a arquitetura e para a economia de materiais. No entanto, essa tecnologia exige um cuidado muito maior do que o concreto armado comum. Como os cabos de aço estão sempre tensionados, qualquer falha pode ser perigosa.

A principal razão para este trabalho é o fato de que os problemas no concreto protendido, como a corrosão sob tensão, costumam ser "silenciosos". Muitas vezes, um cabo pode estar se deteriorando na parte interna do concreto sem sinal visível na parte externa. Se não houver um acompanhamento técnico, a estrutura pode falhar de repente, colocando em risco a vida das pessoas e gerando prejuízos enormes.

Além disso, com as novas atualizações das normas NBR 6118:2023 e NBR 14931:2023, ficou claro que não basta executar, e necessário processos que garantam a qualidade da execução “in loco”. Por isso, este estudo se justifica ao mostrar como usar Ensaios Não

Destrutivos (como o Ultrassom e o RIMT) para diagnosticar o que está acontecendo no elemento estrutural sem precisar de interferências destrutivas. O objetivo é ajudar engenheiros a identificar problemas logo no início, garantindo que a estrutura desempenhe melhor.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Analisar as principais manifestações patológicas em estruturas de concreto protendido, identificando suas causas, métodos de diagnóstico e estratégias de reparo e manutenção, com o propósito de contribuir para a segurança, durabilidade e desempenho dessas estruturas ao longo de sua vida útil.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar e caracterizar as principais manifestações patológicas em estruturas de concreto protendido, como ruptura de cabos, perda de protensão, fissuração, deslocamentos excessivos e infiltrações;
- Investigar os métodos de identificação e diagnóstico de patologias, com ênfase em ensaios não destrutivos, como ultrassom, esclerometria, resistividade elétrica, termografia e RIMT;
- Avaliar as consequências estruturais e funcionais das patologias, especialmente quanto à segurança, durabilidade e desempenho das estruturas;
- Apresentar estratégias de reparo, recuperação e manutenção aplicáveis a estruturas de concreto protendido;

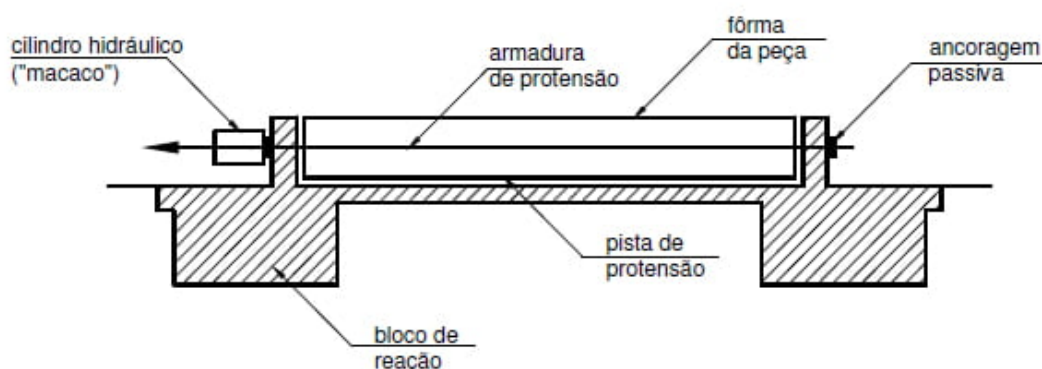
3 DESENVOLVIMENTO

O concreto protendido diferencia-se do concreto armado convencional pela aplicação de tensões prévias à concretagem ou após a cura, conferindo-lhe melhor controle de fissuração, maior rigidez e capacidade de vencer vãos superiores com seções reduzidas. É também associado a esse método a utilização de tecnologias que não são utilizadas em estruturas de concretos convencionais como os macacos hidráulicos e bainhas com graxa, dentre outros.

3.1 Aplicação de tensões antes da concretagem (Pré-tensionada)

O pré-tensionamento é o método de protensão no qual os cabos ou fios de aço de alta resistência são tracionados e ancorados antes da concretagem, conforme ilustrado na Figura 1. Após a cura do concreto, o tensionamento é liberado e a força elástica dos tendões transfere compressão ao concreto, reduzindo fissuração e aumentando a capacidade de carga com o objetivo de equilibrar ou neutralizar ações externas que possam comprometer seu desempenho.

Figura 1 - Exemplo de viga pré-tensionada



Fonte: SH (2005).

O sistema pré-tensionado é amplamente empregado na indústria de pré-moldados, especialmente na fabricação de vigas, lajes alveolares, dormentes ferroviários e elementos padronizados, nos quais o controle tecnológico rigoroso e a produção em série favorecem a eficiência do método. A aderência entre o aço e o concreto é um aspecto fundamental nesse tipo de protensão, uma vez que a transferência das tensões ocorre ao longo do comprimento do

elemento, exigindo a utilização de aços com características superficiais adequadas e concretos com resistência compatível para garantir a ancoragem por aderência. Conforme destacado por Lima *et al.* (2022), falhas nesse mecanismo podem comprometer o desempenho estrutural, resultando em perdas de protensão e no surgimento de manifestações patológicas precoces.

Do ponto de vista da durabilidade, o pré-tensionamento apresenta vantagens relevantes, pois os cabos ficam totalmente envolvidos pelo concreto, o que reduz a exposição direta a agentes agressivos e diminui a probabilidade de corrosão quando comparado a sistemas mal executados de pós-tensionamento. Entretanto, essa mesma característica impõe desafios quanto à inspeção e à manutenção, uma vez que os elementos de protensão não permanecem acessíveis após a concretagem. Assim, eventuais falhas de execução, como cobrimento insuficiente, concreto de baixa qualidade ou cura inadequada, podem gerar patologias de difícil detecção, reforçando a necessidade de controle rigoroso durante todas as etapas construtivas, conforme preconizado pela ABNT NBR 6118:2023 e pela ABNT NBR 14931:2023.

3.2 Aplicação de tensões após a concretagem (Pós-tensionada)

O pós tensionamento, também é referido como protensão de cabos não aderentes, é a forma de protender em que os cabos de aço de alta resistência são posicionados em dutos ou bainhas antes ou durante a concretagem, mas somente tensionados após o concreto ter atingido a resistência mínima especificada. Após essa cura inicial, as cordoalhas ou barras são tensionadas até a carga de protensão determinada em projeto, ancoradas mecanicamente contra o concreto e, normalmente, os espaços vazios são preenchidos com graxa para garantir aderência e proteção contra corrosão. Essa técnica também possibilita a protensão com as cordoalhas posicionadas externamente ao elemento estrutural, conforme ilustrado na Figura 2, o que facilita a manutenção e o monitoramento da vida útil das cordoalhas de protensão (BASTOS, 2025).

Figura 2 – Viaduto com reforço de cordoalha



Fonte: Bastos (2025, p. 28).

Após a aplicação da carga de protensão, os vazios existentes nos dutos são, em sistemas aderentes, preenchidos com nata de cimento ou graute, procedimento essencial para garantir a aderência entre o aço e o concreto, além de proporcionar proteção contra a corrosão. Em sistemas não aderentes, por sua vez, as cordoalhas são envolvidas por bainhas plásticas e graxa, eliminando intencionalmente a aderência ao longo do comprimento do cabo, de modo que a transferência de esforços ocorre exclusivamente nas ancoragens. Segundo Lima *et al.* (2022), essa distinção influencia diretamente o comportamento estrutural e a forma como as patologias se manifestam, sendo que falhas na injeção, deficiências no sistema de vedação ou danos às bainhas podem acelerar processos corrosivos e resultar em perdas significativas de protensão ao longo do tempo.

Do ponto de vista patológico, o pós-tensionamento demanda cuidados ainda mais rigorosos quanto à execução e ao controle tecnológico, uma vez que a ruptura súbita de cabos, especialmente em sistemas aderentes, representa um dos mecanismos de falha mais críticos e perigosos em estruturas protendidas. Conforme salientado por Proverbio (2024), esse tipo de ruptura tende a ocorrer de forma abrupta, sem sinais prévios evidentes, comprometendo gravemente a segurança estrutural. Além disso, a presença de agentes agressivos, associada a falhas de proteção dos cabos ou à perda de cobrimento, pode intensificar a corrosão sob tensão, fenômeno particularmente nocivo aos aços de protensão.

3.3 Critérios de Seleção dos Aços de Protensão

A seleção dos aços de protensão constitui uma etapa determinante para o desempenho estrutural, a durabilidade e a segurança das estruturas de concreto protendido, uma vez que esses elementos trabalham sob elevados níveis de tensão e estão diretamente associados ao equilíbrio das ações atuantes. Diferentemente das armaduras passivas utilizadas no concreto armado convencional, os aços de protensão devem apresentar elevada resistência mecânica, baixo relaxamento e comportamento confiável sob solicitações de longa duração, características indispensáveis para a manutenção da força de protensão ao longo da vida útil da estrutura. Conforme destacam Hanai (2005) e Lima *et al.* (2022), a escolha inadequada do aço pode resultar em perdas excessivas de protensão, aumento da fissuração e surgimento precoce de manifestações patológicas, comprometendo o desempenho global do sistema estrutural.

Aços trefilados a frio, laminados a quente e revenidos apresentam comportamentos distintos, sendo empregados conforme as exigências do projeto e o tipo de sistema de protensão adotado. Além disso, o fenômeno do relaxamento do aço, caracterizado pela redução gradual da tensão sob deformação constante, deve ser rigorosamente considerado, pois está diretamente relacionado às perdas de protensão ao longo do tempo, conforme observado em estudos sobre desempenho e durabilidade de estruturas protendidas (Lima *et al.*, 2022).

Outro aspecto essencial refere-se à suscetibilidade à corrosão, especialmente à corrosão sob tensão, que representa uma das principais causas de ruptura frágil em cabos de protensão. Proverbio (2024) ressalta que esse tipo de degradação é particularmente crítico em aços de alta resistência, podendo ocorrer ruptura, sobretudo quando associados a ambientes agressivos e falhas de proteção dos cabos. Assim, a composição química do aço, a presença de impurezas e o comportamento do material em ensaios de durabilidade tornam-se fatores decisivos na etapa de especificação, exigindo compatibilidade com as condições ambientais e com o nível de agressividade previsto para a estrutura.

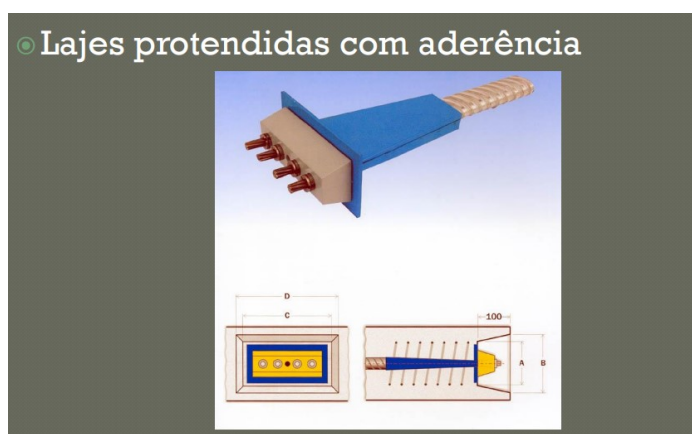
Adicionalmente, a escolha do aço de protensão deve considerar o tipo de sistema adotado, seja ele aderente ou não aderente, uma vez que a necessidade de interação entre o aço e o concreto influencia diretamente as características superficiais do material. Em sistemas aderentes, a capacidade de transferência de esforços por aderência é fundamental, enquanto em sistemas não aderentes, a flexibilidade, a proteção superficial e a integridade das bainhas assumem maior relevância.

3.4 Aderência e Sistema de Protensão

A aderência entre o aço de protensão e o meio envolvente constitui um fator decisivo no comportamento estrutural e na durabilidade das estruturas de concreto protendido, influenciando diretamente a forma de transferência das forças de protensão e o desempenho global do sistema. A escolha do sistema de protensão, seja ele aderente ou não aderente, define o mecanismo pelo qual os esforços são transmitidos ao concreto e condiciona tanto o comportamento em serviço quanto a resposta da estrutura em situações de dano ou degradação.

Em sistemas aderentes, a força de protensão é transferida gradualmente ao longo do comprimento do elemento estrutural por meio da aderência entre o aço e o concreto ou a nata de cimento injetada, promovendo atuação solidária entre os materiais, conforme ilustrado na Figura 3, e contribuindo para melhor redistribuição de esforços e maior redundância estrutural (HANAI, 2005).

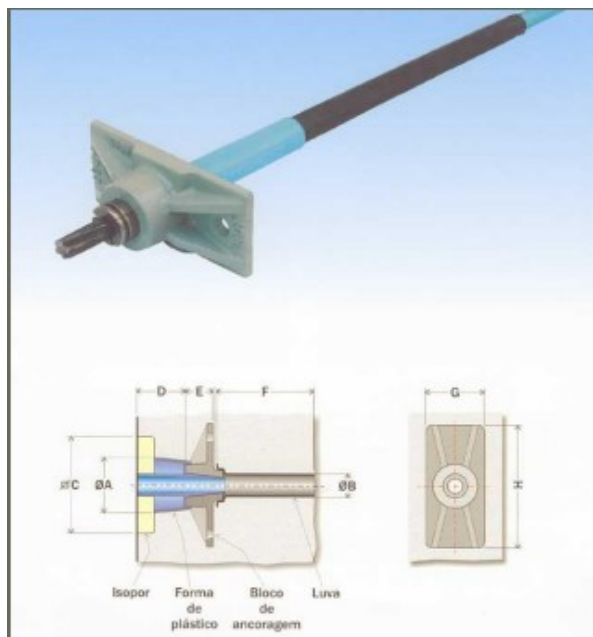
Figura 3 – Laje protendida com aderência



Fonte: Luchi (2013, p. 11).

Em contraste, na protensão não aderente (pós-tracionamento com cordoalhas engraxadas e envelopadas em bainha plástica, por exemplo), a aderência intencional entre aço e concreto é inexistente a força é transmitida apenas nas ancoragens nas extremidades, conforme a Figura 4. Nesses casos, usualmente são empregadas cordoalhas trefilada. A seleção aqui se baseia mais na flexibilidade e proteção do cabo do que na rugosidade superficial.

Figura 4 – Protensão sem aderência



Fonte: Luchi (2013, 12).

Entretanto, a ausência de aderência implica maior sensibilidade à ruptura de cabos, uma vez que a falha de um único tendão pode resultar em redistribuições abruptas de esforços e comprometer a segurança estrutural, especialmente quando associada a ambientes agressivos ou a falhas no sistema de proteção (Proverbio, 2024).

Dessa forma, a definição do sistema de protensão deve considerar não apenas critérios estruturais e econômicos, mas também aspectos relacionados à durabilidade, à inspeção e ao comportamento frente às patologias. A adequada compatibilização entre o tipo de aço.

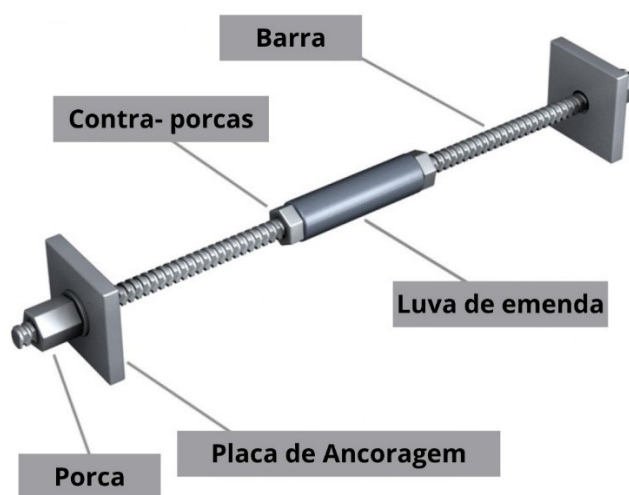
3.5 Tipos de sistemas de ancoragem

Os sistemas de ancoragem em concreto protendido referem-se aos dispositivos ou mecanismos utilizados para fixar os cabos protendidos em suas extremidades, garantindo que o tensionamento inicial seja mantido ao longo do tempo.

A ancoragem por rosca e porca é um método tradicional aplicado a barras de protensão. Consiste em rosquear as extremidades da barra de aço e utilizar uma porca para realizar a ancoragem mecânica contra uma placa de apoio (placa de ancoragem). Ao se tracionar a barra geralmente com o auxílio de um alongador acoplado a um macaco hidráulico, a porca é então apertada contra a placa, travando a barra na posição alongada, conforme ilustrado na Figura 5.

Embora apresente simplicidade construtiva e bom desempenho em aplicações específicas, esse sistema exige elevado controle dimensional e rigor na execução, uma vez que imperfeições na rosca ou no aperto podem resultar em concentrações de tensões e perdas progressivas de protensão, conforme observado em análises de desempenho estrutural relatadas por Lima *et al.* (2022).

Figura 5 – Barra de protensão

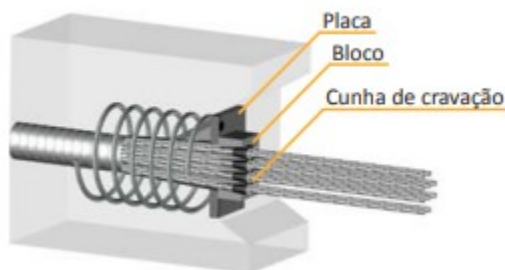


Fonte: Próprio autor.

A ancoragem por cunha é a mais utilizada em sistemas de pós-tração com cordoalhas ou fios de alta resistência. Consiste basicamente em duas peças metálicas principais: a cunha propriamente dita e o porta-cunha, conforme Figura 6, que possui um furo tronco cônico onde a cunha é alojada, vide Figura 7. Durante a protensão, a cordoalha passa através do furo da placa de ancoragem, ao aliviar o macaco, a cunha de aço é automaticamente cravada nesse furo cônico, agarrando a cordoalha por efeito de cunha.

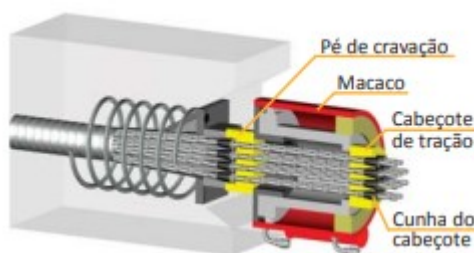
Segundo Proverbio (2024), falhas nesses aspectos podem favorecer o escorregamento dos cabos, a perda de protensão e o surgimento de fissuras longitudinais próximas às ancoragens, frequentemente associadas a processos de degradação acelerada.

Figura 6 – Colocação de blocos e cunhas



Fonte: Rudloff (2011, p. 22).

Figura 7 – Posicionamento do macaco de protensão



Fonte: Rudloff (2011, p. 22).

Do ponto de vista patológico, as regiões de ancoragem merecem atenção especial, pois estão mais suscetíveis à corrosão, à infiltração de agentes agressivos e à fissuração do concreto, em razão das elevadas tensões concentradas. A deficiência no cobrimento, a falha na proteção das cabeças de ancoragem ou a execução inadequada do grauteamento podem intensificar processos corrosivos e reduzir significativamente a vida útil da estrutura.

4 TIPOS E CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

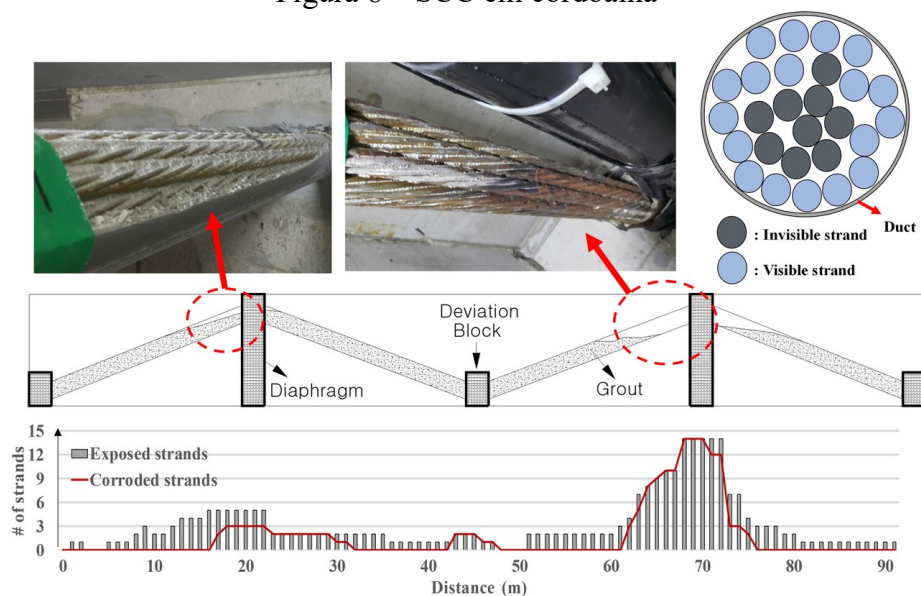
As manifestações patológicas em estruturas de concreto protendido podem ser compreendidas como alterações indesejáveis que afetam o desempenho, a durabilidade e a segurança estrutural, resultantes de falhas de projeto, execução, uso, manutenção ou da ação de agentes agressivos ao longo do tempo. De modo geral, as patologias estruturais representam a resposta do sistema construtivo a condições para as quais não foi adequadamente dimensionado ou executado, manifestando-se por meio de danos físicos, mecânicos ou químicos que comprometem sua funcionalidade.

No caso específico do concreto protendido, essas manifestações assumem caráter ainda mais crítico, uma vez que o comportamento estrutural depende diretamente da integridade dos cabos de protensão e da manutenção das tensões previamente aplicadas, tornando o sistema menos tolerante a falhas localizadas quando comparado ao concreto armado convencional (Lima *et al.*, 2022).

Entre as patologias mais graves associadas a esse tipo de estrutura destaca-se a ruptura súbita de cabos de protensão, considerada uma das formas de degradação mais perigosas devido ao seu caráter frágil e abrupto, conforme a Figura 8, pode ser observado que onde a cordoalha está sem graute o gráfico demonstra maior processo de corrosão. Esse fenômeno ocorre, em geral, sem sinais visíveis prévios, podendo resultar em colapsos parciais ou totais da estrutura. A ruptura pode estar associada à corrosão sob tensão, à presença de defeitos no aço, a falhas no sistema de ancoragem ou à exposição a ambientes altamente agressivos.

Proverbio (2024) ressalta que a combinação entre elevados níveis de tensão no aço e a presença de agentes corrosivos, como cloretos, cria condições propícias para esse tipo de falha, sobretudo em sistemas pós-tensionados aderentes, nos quais a inspeção direta dos cabos é dificultada.

Figura 8 – SCC em cordoalha



Fonte: Adaptado de Jeon; Oeurn; Shim (2022).

Outra manifestação patológica recorrente em estruturas de concreto protendido é a perda de protensão, caracterizada pela redução gradual ou abrupta da força inicialmente aplicada aos cabos. Essa perda pode ocorrer por diversos mecanismos, como relaxamento do aço, fluência e retração do concreto, escorregamento nas ancoragens ou degradação dos cabos por corrosão, conforme pode ser observado na Figura 9. Embora parte dessas perdas seja prevista e considerada em projeto, perdas excessivas ou não previstas comprometem o desempenho estrutural, resultando em aumento das deformações, surgimento de fissuras e redução da capacidade resistente.

Segundo Hanai (2005), a perda de protensão não controlada pode descaracterizar o comportamento estrutural esperado, aproximando-o de um sistema de concreto armado convencional, porém sem as armaduras passivas adequadamente dimensionadas para tal condição.

Figura 9 – Escorregamento nas ancoragens



Fonte: Sousa (2020).

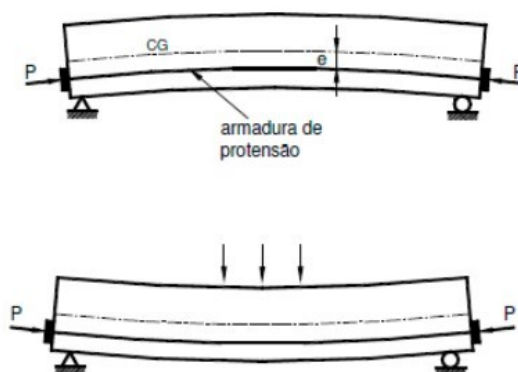
A fissuração também se configura como uma manifestação patológica relevante, embora sua interpretação em estruturas protendidas exija maior cautela. Diferentemente do concreto armado, no qual a fissuração é, até certo ponto, admissível em regime de serviço, o concreto protendido é projetado justamente para minimizar ou evitar a abertura de fissuras. Assim, o surgimento de fissuração pode indicar anomalias no sistema, como perda de protensão, erros de projeto, sobrecargas ou degradação dos materiais.

Fissuras longitudinais próximas às ancoragens, por exemplo, são frequentemente associadas a tensões excessivas localizadas ou a processos corrosivos dos cabos, conforme apontado pela ABNT NBR 6118:2023 e por estudos recentes sobre patologias em estruturas protendidas (Lima *et al.*, 2022).

Os deslocamentos excessivos, por sua vez, constituem manifestações patológicas que afetam diretamente o desempenho funcional e a segurança das estruturas, pois os elementos de concreto protendido são tensionados de maneira que os esforços internos atuam no sentido oposto, conforme a Figura 10. Em sistemas protendidos, deslocamentos anômalos podem ser consequência da perda de rigidez estrutural associada à redução da força de protensão, à fluência excessiva do concreto ou à ruptura parcial de cabos. Esses deslocamentos, quando superiores aos limites normativos, comprometem o conforto dos usuários, podem gerar danos em elementos não estruturais e indicar risco iminente à estabilidade da estrutura.

Neves *et al.* (2023) destacam que, em pontes e viadutos protendidos, o aumento progressivo das flechas ao longo do tempo é frequentemente um dos primeiros indícios de degradação estrutural relevante, exigindo monitoramento contínuo e intervenções corretivas.

Figura 10 – Peça de elemento estrutural protendido



Fonte: Meneghel (2022).

As infiltrações de água representam outra manifestação patológica de grande impacto nas estruturas de concreto protendido, atuando tanto como causa quanto como agravante de outros danos. A presença de água no interior do concreto facilita a penetração de agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, acelerando processos de corrosão das armaduras e dos cabos de protensão, conforme a Figura 11. Em sistemas pós-tensionados, infiltrações associadas a falhas no grauteamento das bainhas ou na vedação das ancoragens constituem um dos principais fatores de risco para a degradação dos tendões.

Figura 11 – Sistema de ancoragem oxidado



Fonte: Larimit (2023).

Segundo Moraes (2021), manchas de umidade, eflorescências e lixiviações observadas na superfície do concreto são frequentemente os primeiros indícios visíveis de infiltrações internas, que, quando negligenciadas, podem evoluir para patologias estruturais graves.

De forma geral, as patologias em estruturas de concreto protendido apresentam forte interdependência, de modo que uma manifestação pode desencadear ou intensificar outras. Infiltrações favorecem a corrosão, que pode resultar em perda de protensão ou ruptura de cabos; a perda de protensão, por sua vez, conduz ao surgimento de fissuras e deslocamentos excessivos, comprometendo o desempenho global da estrutura.

Nesse contexto, conforme enfatizado por Da Silva *et al.* (2025), a correta classificação e compreensão das manifestações patológicas são fundamentais para a definição de estratégias eficazes de diagnóstico, reparo e manutenção. Assim, o enfrentamento dessas patologias exige abordagem integrada, baseada em inspeções sistemáticas, ensaios não destrutivos e rigor técnico, de modo a garantir a segurança, a durabilidade e a funcionalidade das estruturas de concreto protendido ao longo de sua vida útil.

5 IDENTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

A identificação eficaz de patologias em concreto protendido depende de uma abordagem multidisciplinar, aliando conhecimento estrutural, controle tecnológico e inspeção contínua. Esse conjunto de ações permite antecipar falhas, evitar colapsos e prolongar a vida útil das estruturas protendidas, assegurando o desempenho conforme os requisitos de durabilidade previstos nas normas brasileiras.

Inicialmente, a inspeção visual constitui o primeiro e mais simples meio de identificação. São observados sinais externos como fissuras, manchas de ferrugem, eflorescências, deformações excessivas, destacamento de cobrimento e infiltrações. Esses indícios podem revelar processos internos mais graves, como corrosão das cordoalhas, perda de aderência ou ruptura parcial de cabos.

Outro aspecto essencial é a análise das condições ambientais. A presença de agentes agressivos, como íons cloreto e dióxido de carbono, acelera processos corrosivos, principalmente quando há falhas na injeção das bainhas ou perda de cobrimento. Ensaios laboratoriais para determinar o grau de carbonatação e o teor de cloretos no concreto são, portanto, fundamentais para avaliar o risco de corrosão das armaduras.

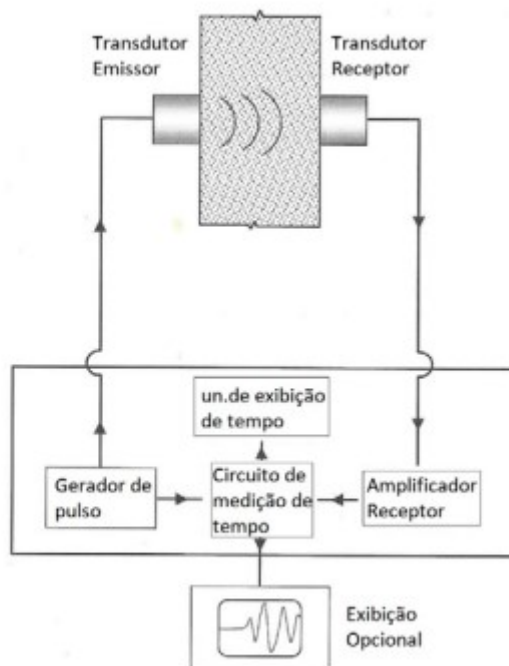
Para complementar a inspeção visual, utilizam-se ensaios não destrutivos (END), que permitem avaliar a integridade estrutural sem danificar o elemento métodos como o ultrassom, esclerometria, ensaio de resistividade elétrica, termografia e RIMT.

5.1 Ultrassom

O ensaio de ultrassom baseia-se na medição da velocidade com que um pulso se propaga entre dois pontos no interior de um determinado material, conforme ilustrado na Figura 12. O método de velocidade de pulso ultrassônico permite avaliar as propriedades elásticas dos materiais, além de identificar possíveis irregularidades e danos presentes em elementos estruturais.

O ensaio de ultrassom aplicado ao concreto é regulamentado internacionalmente pela norma ASTM C 597 (2023) e, no Brasil, pela ABNT NBR 8802:2019. Esta norma define os métodos para medir a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas em concretos endurecidos

Figura 12 – Esquemática do ensaio de ultrassom



Fonte: Adaptado de Naik, Malhotra e Popovics (2004)

A aplicação do ultrassom permite avaliar indiretamente a qualidade do concreto e identificar regiões potencialmente comprometidas, auxiliando no diagnóstico de patologias como fissuração interna, destacamento de cobrimento e falhas de aderência entre o concreto e os elementos de protensão. Conforme destacado por Moraes (2021), a interpretação adequada dos resultados exige conhecimento técnico especializado, pois a velocidade do pulso ultrassônico é influenciada por diversos fatores, como umidade, tipo de agregado, idade do concreto e nível de tensão existente no elemento estrutural. Ainda assim, quando utilizado de forma comparativa e associado a outras técnicas de inspeção, o ensaio fornece informações valiosas para a avaliação do estado de conservação da estrutura.

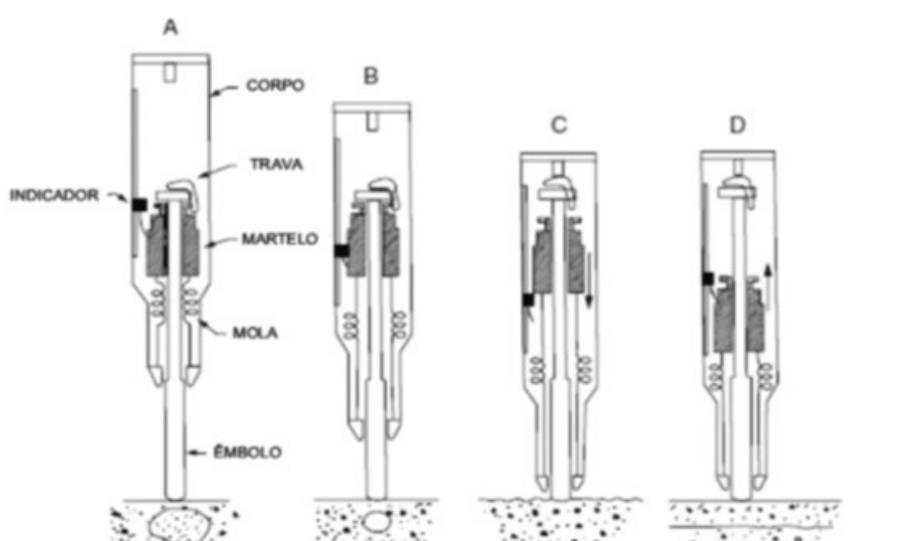
5.2 Esclerometria

A esclerometria é um ensaio não destrutivo amplamente empregado na avaliação da dureza superficial do concreto, sendo uma ferramenta relevante no processo de identificação de manifestações patológicas em estruturas de concreto protendido.

No Brasil, a aplicação do ensaio é regulamentada pela ABNT NBR 7584:2012, que estabelece os procedimentos de execução, a calibração dos equipamentos e as condições para interpretação dos resultados.

O método baseia-se na medição do índice de reflexão obtido a partir do impacto de um martelo esclerométrico sobre a superfície do concreto, como mostrado na Figura 13, permitindo estimar, de forma indireta, a resistência à compressão do material por meio de curvas de correlação previamente estabelecidas.

Figura 13 – Esclerômetro



Fonte: Bonifácio (2017)

No contexto das estruturas protendidas, esse ensaio assume importância especial, pois possibilita verificar se o concreto atingiu a resistência mínima prevista em projeto, condição essencial para a aplicação segura das forças de protensão e para o adequado desempenho estrutural ao longo do tempo (Da Silva *et al.*, 2025).

A utilização da esclerometria contribui significativamente para a identificação de regiões com possível degradação superficial, segregação do concreto ou falhas de execução, que podem comprometer o cobrimento das armaduras e favorecer a penetração de agentes agressivos.

Segundo Silva (2017), variações significativas nos índices esclerométricos ao longo de um mesmo elemento estrutural podem indicar heterogeneidade do concreto, deficiência de cura ou processos de deterioração em andamento, aspectos que, quando associados a estruturas protendidas, merecem atenção redobrada devido às elevadas tensões internas presentes nesses sistemas.

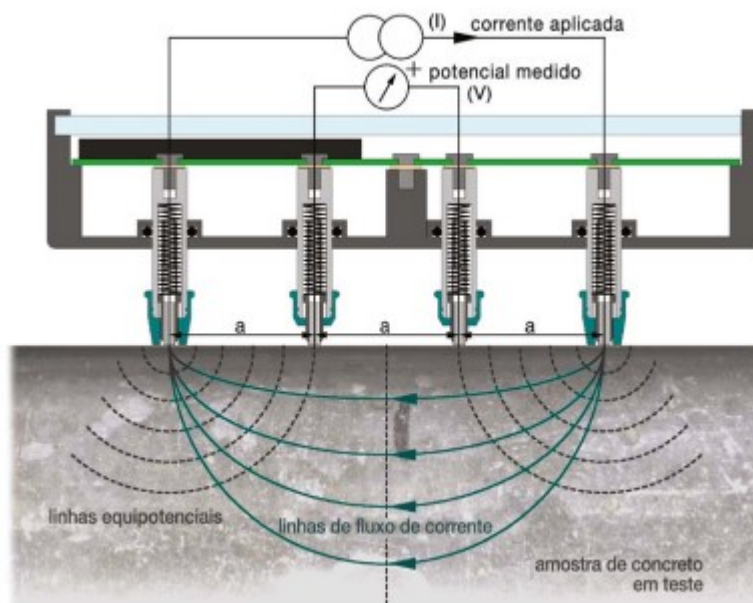
Embora a esclerometria não forneça valores absolutos de resistência, sua aplicação, quando combinada com outros métodos de inspeção e ensaios não destrutivos, permite uma avaliação mais consistente do estado de conservação da estrutura.

5.3 Ensaio de Resistividade Elétrica

O procedimento mais utilizado para a determinação da resistividade elétrica é o método dos quatro pontos, conhecido como sonda de Wenner, no qual quatro eletrodos são posicionados em contato com a superfície do concreto, conforme a Figura 14.

Nesse ensaio, uma corrente elétrica é aplicada pelos eletrodos externos, enquanto a diferença de potencial é medida pelos eletrodos internos, permitindo o cálculo da resistividade do material. Para garantir a confiabilidade dos resultados, é essencial que a região analisada esteja adequadamente saturada, uma vez que a umidade exerce influência significativa nos valores obtidos.

Figura 14 - Esquemática da sonda de Wenner



Fonte: Godinho (2018)

O ensaio de resistividade elétrica do concreto constitui uma ferramenta não destrutiva utilizada na avaliação do risco de corrosão das armaduras, especialmente em estruturas de concreto protendido, nas quais a integridade dos cabos de protensão é fundamental para a segurança estrutural.

Valores reduzidos de resistividade indicam maior facilidade de circulação de corrente elétrica no interior do concreto, o que está associado a um ambiente mais propício ao desenvolvimento de processos corrosivos (Morais, 2021).

Conforme apontado por Nascimento *et al.* (2021), a correta execução do ensaio e a interpretação criteriosa dos dados são indispensáveis para evitar diagnósticos imprecisos quanto ao risco de corrosão.

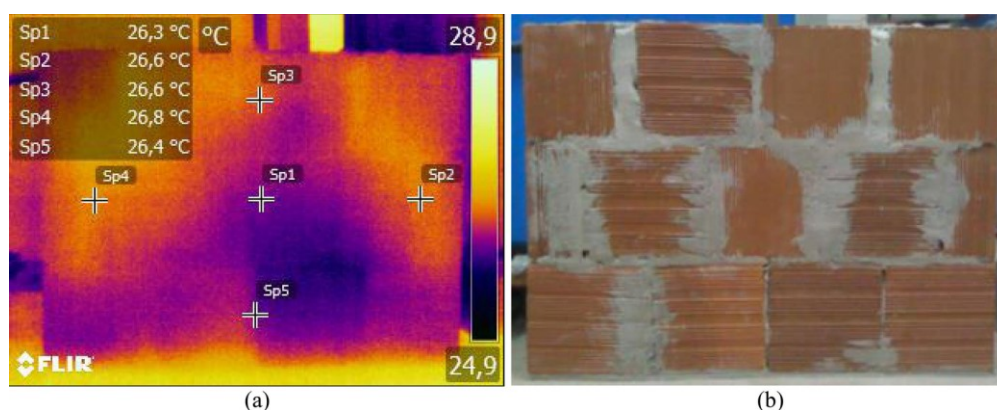
Em estruturas de concreto protendido, o ensaio de resistividade elétrica assume papel estratégico na identificação precoce de condições favoráveis à corrosão sob tensão, fenômeno particularmente crítico para os aços de protensão e frequentemente associado a rupturas frágeis e inesperadas.

Segundo Lima *et al.* (2022), a associação desse ensaio com inspeções visuais e outros métodos não destrutivos amplia significativamente a confiabilidade do diagnóstico, permitindo intervenções preventivas antes que ocorram danos irreversíveis.

5.4 Termografia

O princípio do método baseia-se na captação da radiação térmica emitida pela superfície do concreto, a qual varia conforme as propriedades físicas e o estado de conservação do material, conforme a Figura 15.

Figura 15 – Ensaio termográfico



Fonte: Santos; Rocha; Póvoas (2019, p. 112).

Alterações na condutividade térmica, provocadas por fissuras, vazios, deslocamentos ou presença de umidade, geram contrastes térmicos que podem ser visualizados em termogramas, permitindo a identificação de regiões potencialmente deterioradas sem a necessidade de intervenções invasivas (Morais, 2021).

Segundo Da Silva *et al.* (2025), essa técnica permite mapear extensas áreas de forma rápida, auxiliando na localização de zonas críticas que demandam investigações mais aprofundadas.

Embora apresente elevada eficiência como método de triagem, a termografia requer interpretação cuidadosa dos resultados, uma vez que fatores externos, como incidência solar, vento, sombreamento e condições climáticas, podem influenciar significativamente os contrastes térmicos observados. Dessa forma, sua aplicação deve ser planejada e, preferencialmente, associada a outros ensaios não destrutivos, de modo a aumentar a confiabilidade do diagnóstico.

5.5 RIMT

O ensaio RIMT (*Remanent Induction Magnetic Test*), também denominado método de indução magnética remanente, é um ensaio não destrutivo de elevada relevância para a avaliação da integridade dos cabos de protensão embutidos no concreto, especialmente em estruturas de concreto protendido, nas quais a ruptura dos tendões representa um dos mecanismos de falha mais críticos, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Ensaio RIMT



Fonte: Cordec do Brasil (2018).

O princípio do método baseia-se na magnetização do aço de protensão por meio da aplicação de um campo magnético intenso, capaz de atravessar o cobrimento de concreto e induzir magnetização ao longo do trajeto dos cabos.

Após a remoção do campo externo, o aço mantém uma magnetização residual, cuja distribuição é sensível à presença de descontinuidades, como fissuras, corrosão localizada ou rupturas parciais dos fios (Lima *et al.*, 2022).

Conforme ressaltado por Proverbio (2024), a capacidade de localizar falhas internas sem a necessidade de exposição dos cabos confere ao RIMT uma vantagem significativa em relação a métodos destrutivos, sobretudo em estruturas em serviço, nas quais intervenções invasivas podem comprometer a segurança ou a funcionalidade.

6 PROPOSIÇÃO DE REPARO E MANUTENÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO

6.1 Proposição de reparo

A proposição de reparo e manutenção das estruturas de concreto protendido deve ser fundamentada em uma compreensão aprofundada dos mecanismos de degradação que afetam esse tipo de sistema estrutural, bem como na adoção de estratégias preventivas e corretivas compatíveis com a gravidade das manifestações patológicas identificadas. Diferentemente do concreto armado convencional, as estruturas protendidas apresentam maior sensibilidade a falhas localizadas, especialmente aquelas relacionadas aos cabos de protensão, uma vez que a ruptura ou a perda significativa de tensão em um único tendão pode comprometer de forma abrupta o equilíbrio estrutural. Nesse sentido, a manutenção sistemática e o reparo tecnicamente adequado assumem papel central na garantia da segurança, do desempenho e da vida útil dessas estruturas (Lima *et al.*, 2022).

O primeiro passo para a definição de qualquer estratégia de reparo consiste no diagnóstico da patologia, etapa indispensável para evitar intervenções inadequadas ou insuficientes. Conforme ressaltado por Moraes (2021), a simples correção de sintomas visíveis, como fissuras ou infiltrações, sem o tratamento das causas subjacentes, tende a resultar em recorrência dos danos e em agravamento progressivo do quadro patológico. Em estruturas de concreto protendido, esse risco é ainda maior, pois processos como corrosão sob tensão, falhas de ancoragem ou perda de protensão podem evoluir internamente sem manifestações externas evidentes. Assim, a associação entre inspeção visual criteriosa, análise das condições ambientais e aplicação de ensaios não destrutivos, como ultrassom, resistividade elétrica, termografia e RIMT, é essencial para subsidiar decisões técnicas seguras (Da Silva *et al.*, 2025).

Uma vez identificado o tipo e a extensão da patologia, as intervenções de reparo devem priorizar a restauração da capacidade resistente e a interrupção dos mecanismos de degradação. Em casos de fissuração excessiva, por exemplo, o tratamento pode envolver a injeção de resinas epoxídicas ou de materiais cimentícios, desde que previamente avaliada a origem das fissuras e sua relação com a perda de protensão ou com deformações excessivas. Segundo Nascimento *et al.* (2021), a simples selagem superficial, sem a recuperação da integridade estrutural, é insuficiente em estruturas submetidas a elevados níveis de tensão, como ocorre no concreto protendido.

Quando a patologia está associada à corrosão das armaduras ou dos cabos de protensão, as estratégias de reparo tornam-se mais complexas e exigem rigor técnico ainda maior. A corrosão em estruturas protendidas, além de reduzir a seção resistente do aço, pode desencadear fenômenos críticos, como a corrosão sob tensão, responsável por rupturas frágeis e repentinas. Proverbio (2024) destaca que, nesses casos, o reparo deve contemplar não apenas a remoção do concreto deteriorado e a recomposição do cobrimento, mas também a avaliação da necessidade de substituição, complementação ou reancoragem dos cabos comprometidos. Em situações mais severas, pode ser necessário o alívio controlado da protensão, seguido de intervenções estruturais específicas, procedimento que deve ser conduzido exclusivamente por profissionais especializados.

A proteção das regiões de ancoragem merece atenção especial nas proposições de reparo, uma vez que esses pontos concentram elevadas tensões e são particularmente suscetíveis à infiltração de agentes agressivos. Falhas no selamento das cabeças de ancoragem, deficiência de cobrimento ou execução inadequada do grauteamento favorecem a entrada de umidade e cloretos, acelerando processos corrosivos. Conforme indicado por Lima *et al.* (2022), intervenções nessas regiões devem incluir a reconstituição adequada do cobrimento, a aplicação de materiais de proteção anticorrosiva e, quando necessário, a instalação de sistemas adicionais de vedação, de modo a reduzir a exposição dos cabos a ambientes agressivos.

6.2 Proposição de manutenção

No âmbito da manutenção, a adoção de um plano sistemático e preventivo é fundamental para minimizar a ocorrência de patologias e reduzir custos associados a reparos emergenciais. A manutenção preventiva envolve inspeções periódicas, monitoramento de fissuras, controle de infiltrações e avaliação das condições ambientais às quais a estrutura está exposta. Em estruturas de concreto protendido, a identificação precoce de alterações no comportamento estrutural, como deformações excessivas ou surgimento de fissuras longitudinais próximas às ancoragens, pode indicar perda de protensão ou degradação dos cabos, exigindo ações imediatas (Hanai, 2005).

A manutenção corretiva, por sua vez, deve ser planejada com base em critérios técnicos e normativos, considerando a gravidade da patologia e o risco estrutural associado. Intervenções pontuais podem ser suficientes em casos de degradação superficial ou falhas localizadas, enquanto situações mais críticas demandam soluções de reforço estrutural, como a introdução de novos cabos de protensão externos ou o uso de sistemas complementares de reforço.

Segundo Neves *et al.* (2023), a protensão externa tem sido amplamente utilizada como alternativa eficaz em obras de reabilitação, por permitir o restabelecimento da capacidade resistente com menor interferência na estrutura existente e maior facilidade de inspeção futura.

Além das intervenções físicas, a proposição de manutenção deve contemplar aspectos relacionados à gestão da estrutura ao longo de sua vida útil.

O registro sistemático das inspeções, dos ensaios realizados e das intervenções executadas constitui uma ferramenta essencial para o acompanhamento do desempenho estrutural e para a tomada de decisões futuras. Conforme destacam Mancini e Matos Pedreiro (2023), a ausência de histórico técnico dificulta o diagnóstico preciso das patologias e aumenta o risco de intervenções inadequadas, especialmente em estruturas complexas como as protendidas.

7 CONCLUSÃO

A análise realizada evidencia que, apesar das vantagens estruturais proporcionadas pelo concreto protendido, sua aplicação ainda está associada a fragilidades significativas no contexto da prática construtiva. Verifica-se que grande parte das manifestações patológicas não decorre de limitações intrínsecas do sistema, mas sim de deficiências recorrentes nas etapas de projeto, execução e, sobretudo, na ausência de uma cultura consolidada de manutenção preventiva no setor da construção civil.

Observa-se que a elevada sensibilidade das estruturas protendidas a falhas, especialmente no que se refere à integridade dos cabos de protensão, impõe a necessidade de maior rigor técnico e controle sistemático, os quais, na prática, nem sempre são devidamente atendidos. A ocorrência de patologias críticas, como a ruptura súbita de tendões, evidencia um cenário preocupante, no qual a segurança estrutural pode ser comprometida de forma abrupta e sem sinais prévios evidentes, revelando limitações nos processos tradicionais de inspeção e monitoramento.

Além disso, constata-se que, embora existam métodos avançados de diagnóstico, como os ensaios não destrutivos, sua aplicação ainda é limitada ou subutilizada, especialmente em empreendimentos de menor porte ou em fases posteriores à execução. Tal cenário reforça a necessidade de integração mais efetiva entre projeto, execução e manutenção, bem como a adoção de abordagens baseadas em desempenho e monitoramento contínuo ao longo da vida útil das estruturas.

Dessa forma, conclui-se que a garantia da durabilidade e da segurança em estruturas de concreto protendido não pode ser tratada como uma consequência automática de um bom projeto, mas sim como resultado de um processo contínuo e integrado de gestão da qualidade. Nesse contexto, torna-se imprescindível não apenas o cumprimento das normas técnicas, mas também uma mudança de paradigma no setor, com maior valorização da manutenção preventiva, da capacitação técnica e da incorporação de tecnologias de inspeção e monitoramento estrutural.

Por fim, todas as ações de reparo e manutenção devem estar em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelas normas técnicas brasileiras, em especial a ABNT NBR 6118:2023 e a ABNT NBR 14931:2023, que enfatizam a importância da durabilidade, do controle tecnológico e da segurança estrutural. A aplicação criteriosa dessas normas, aliada ao uso de materiais adequados e à atuação de profissionais qualificados, é indispensável para assegurar

que as estruturas de concreto protendido mantenham desempenho satisfatório ao longo do tempo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Amin Ali Bucar; DA SILVA, Paloma Noronha; MOREIRA, Karla Cristina Bentes. Estudo comparativo de manifestações patológicas em estruturas de aço e concreto armado. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 11, n. 1, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7584**: Concreto endurecido: Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: Concreto endurecido: Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

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

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C597-23**: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. West Conshohocken, 2023.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos do concreto protendido**. Bauru: Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2025. Apostila.

BONIFÁCIO, Aldemon Lage. **Visão esquemática do uso de um esclerômetro**: instrumento pronto para o teste. [s. l.], 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Visao-Esquematica-do-uso-de-um-esclerometro-AInstrumento-pronto-para-o-teste_fig1_324594423. Acesso em: 26 mar. 2026.

CORDEC DO BRASIL. **RIMT**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cordecdobrasil.com.br/rimt/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

DA SILVA, Rodrigo Rogerio Cerqueira et al. Análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto por meio de ensaios não destrutivos em um edifício localizado na cidade de São Paulo. **Revista Uniaraguaia**, v. 20, n. 2, p. 287-308, 2025.

DE OLIVEIRA NASCIMENTO, Letícia Maria et al. **Análise de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: corrosão das armaduras**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/38713>. Acesso em: 24 de dez. 2025.

GODINHO, Jayson Pereira. **Aparelhagem para a medição da resistividade elétrica do concreto**: a Resipod. [s. l.], 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Aparelhagem-para-a-medicao-da-resistividade-eletrica-do-concreto-a-Resipod_fig1_340929757. Acesso em: 26 mar. 2026.

HANAI, João Bento de. **Concreto protendido: fundamentos e aplicações**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2005.

JEON, Chi-Ho; OEURN, Sovechet; SHIM, Chang-Su. Banco de Dados de Testes para Cordas de Aço Pré-Tensionadas Corroídas Recuperadas de Pontes Envelhecidas. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [s. l.], v. 35, n. 2, 25 nov. 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004557](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004557). Acesso em: 25 mar. 2026

LARIMIT. **Strand anchors**: category: transfer of loads to more competent strata. [s. l.], 2023. Disponível em: https://www.larimit.com/mitigation_measures/993/. Acesso em: 25 mar. 2026.

LIMA, Alisson dos Santos et al. **Estudo sobre manifestações patológicas em estruturas de concreto protendido**: diagnóstico e prevenção. 2022. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/11084>. Acesso em: 24 de dez. 2025.

LUCHI, Lorenzo Augusto Ruschi e. **Concreto protendido**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, 2013. Notas de aula. Disponível em: <https://ecivilufes.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/11/4-equipamentos-para-protensao.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2026.

MANCINI, Gustavo Oliveira; DE MATOS PEDREIRO, Marcelo Rodrigues. Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 9, n. 10, p. 1758-1771, 2023.

MORAIS, Maria Ivana. **Análise do processo de identificação de manifestações patológicas em estruturas em concreto armado**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/handle/123456789/1204>. Acesso em: 24 de dez. 2025.

NAIK, T. R.; MALHOTRA, V. M.; POPOVICS, J. S. The ultrasonic pulse velocity method. In: MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. (ed.). **Handbook on nondestructive testing of concrete**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.

NASCIMENTO, ER dos S.; FONTES, MD de S. Patologias nas estruturas de concreto armado. **Revista FATEC de tecnologia e ciências**, v. 6, n. 1, 2021.

NEVES, Pablo do Nascimento *et al.* Principais manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto no brasil: descrições e soluções técnicas. **Revista Mirante** (ISSN 1981-4089), v. 16, n. 4, p. 63-79, 2023.

NUNES, Guilherme Tavares; DARIVA, Luana. **Manifestações patológicas em pontes de concreto: análise prática de um sinistro em uma ponte de concreto armado**. 2021. Disponível em: <http://192.100.247.84/handle/prefix/2265>. Acesso em: 24 dez. 2025.

PATRIARCA, João Roberto de Moura et al. **Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado**. 2023. Disponível em: <http://65.108.49.104/handle/123456789/719>. Acesso em: 24 dez. 2025.

PEMCPEM LAJES e et al. **Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias**. Disponível em: <https://gremlsydpcd.objectstorage.sa-saopaulo-1.oci.customer-oci.com/p/OQwcvnO-c63O08Gc2Kv4OTbJttj5ik60dguiDIyyQ0wuo5SWn-jHOLW9wNbylNqI/n/gremlsydpcd/b/dtysppobjmmtbtkp01/o/media/doity/submissoes/artigo->

d9dde1d254b13d726ed81844bee0e4ee0b7a03d0aaa8dd46691c4b9b-arquivo.pdf. Acesso em: 24 de dez. 2025.

PROVERBIO, Edoardo. Stress corrosion cracking of steel in prestressed concrete structures: from the first evidence to the current monitoring issues. **Structural**, n. 245, p. 1–19, mar./abr. 2023.

RUDLOFF, Sistemas de protensão LTDA. **Concreto protendido**: preparação, protensão e injeção. São Paulo, 2011. rev. 04. p. 22. Disponível em: https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/rudloff/catalogo_concreto_protendido.pdf. Acesso em: 25 mar. 2026.

SANTOS, C. F. dos; ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 105-127, jan./mar. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000100296>. Acesso em: 27 mar. 2026.

SH, Formas, Andaimes e escoramentos LTDA. O que é concreto protendido? SH Blog. Rio de Janeiro, [s.d]. Disponível em: <https://sh.com.br/pt/blog/o-que-e-concreto-protendido>. Acesso em: 18 jan. 2026.

SOUSA, Fabrini Augusto de Carvalho. Execução de corte de cordoalhas protendidas sem perda de carga. In: **FS PROTENSÃO: blog**. Belo Horizonte, 17 abr. 2020. Disponível em: <https://www.fsprotensao.com.br/post/artigo-execucao-de-corte-de-cordoalhas-protendidas-sem-perda-de-carga>. Acesso em: 26 mar. 2026.

VIEIRA, Jeniffer Rodrigues; DO AMARAL, Paulo Henrique Correia. Sistema pré-moldado e suas manifestações patológicas. **Revista científica ACERTTE**, ISSN 2763-8928, v. 5, n. 11, p. e511282-e511282, 2025.