



Gestão & Gerenciamento

REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: DESAFIOS E SOLUÇÕES

*REHABILITATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES:
CHALLENGES AND SOLUTIONS*

Paulo França Cury

Engenheiro Civil; Pós-graduando em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civis;
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

paulocury98@gmail.com

Isabeth Mello

Arquiteta, M.Sc.; Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

isa@poli.ufrj.br

Resumo

O artigo aborda a importância do concreto armado como sistema estrutural composto por concreto e aço, destacando a necessidade de manutenção para preservar sua integridade. A Patologia das Estruturas investiga falhas e degradação, essencial para intervenções necessárias quando a deterioração se torna evidente. A norma europeia EN 1504 (2008) oferece diretrizes para avaliação e reabilitação de estruturas de concreto, focando na prevenção de problemas patológicos e na manutenção da qualidade em todas as fases da construção. A norma destaca a importância de uma cadeia de suprimentos robusta para prevenir a penetração de agentes agressivos no concreto. Métodos de reabilitação, como impregnação hidrofóbica, aplicação de argamassa, reforço estrutural e restauração da passividade, são essenciais para manter a durabilidade das estruturas. A falta de regulamentação no Brasil para reabilitação estrutural dificulta a implementação eficaz dessas práticas. Exemplos de falhas estruturais recentes ressaltam a necessidade de diretrizes claras e capacitação adequada dos profissionais. Este estudo visa adaptar os métodos da EN 1504 ao contexto brasileiro, apresentando produtos e sistemas disponíveis no mercado para reparo, reforço, proteção e recuperação de estruturas de concreto armado.

Palavras-chaves: Reabilitação de Estruturas; Patologias; Concreto Armado.

Abstract

The article addresses the importance of reinforced concrete as a structural system composed of concrete and steel, highlighting the need for maintenance to preserve its integrity. Structural Pathology investigates failures and degradation, essential for necessary interventions when deterioration becomes evident. The European standard EN 1504 (2008) offers guidelines for the evaluation and rehabilitation of concrete structures, focusing on preventing pathological problems and maintaining quality in all phases of construction. The standard highlights the importance of a robust supply chain to prevent the penetration of aggressive agents into concrete. Rehabilitation methods, such as hydrophobic impregnation, application of mortar, structural reinforcement and restoration of passivity, are essential to maintain the durability of structures. The lack of regulation in Brazil for structural rehabilitation makes it difficult to effectively implement these practices. Examples of recent structural failures highlight the need for clear guidelines and adequate training of professionals. This study aims to adapt EN 1504 methods to the Brazilian context, presenting products and systems available on the market for repair, reinforcement, protection and recovery of reinforced concrete structures.

Keywords: Rehabilitation of Structures; Pathologies; Reinforced Concrete

1. Introdução

O concreto armado trata-se de um sistema estrutural composto pela interação de dois componentes, concreto e aço, cuja combinação requer condições apropriadas de produção e desempenho durante sua vida útil. A performance do concreto armado está intrinsecamente relacionada às propriedades dos materiais constituintes e às condições ambientais que está exposto, dada a interação complexa entre esses componentes e o ambiente circundante. Assim, a integridade estrutural depende da gestão adequada dessas interações.

A concepção de estruturas deve contemplar não apenas sua funcionalidade durante a operação, mas também prever ações de manutenção ao longo do tempo. Contudo, é inevitável que ocorra um declínio progressivo no desempenho ao longo da vida útil da

estrutura. Conforme definido pelo British Standards Institution (1993), a manutenção estrutural engloba todas as atividades técnicas e administrativas que visam garantir ou restaurar as condições necessárias para o pleno funcionamento da estrutura.

Portanto, a manutenção adequada é crucial para preservar o desempenho e estender a vida útil das estruturas. A ausência de manutenção adequada pode resultar em processos de degradação, causados por diversos fatores mecânicos, químicos, físicos e eletroquímicos, afetando tanto o concreto quanto as armaduras, tanto durante a produção quanto durante sua utilização. Segundo Ripper e Souza (1998), a disciplina que investiga as origens, manifestações, consequências e mecanismos de falha e degradação das estruturas é denominada Patologia das Estruturas.

Quando os sinais de deterioração se tornam evidentes e o desempenho da estrutura atinge um nível crítico, intervenções são necessárias para restaurar ou reabilitar sua capacidade operacional, visando prolongar sua vida útil conforme projetado. A extensão dessas intervenções depende do nível desejado de desempenho, sendo essa decisão embasada em considerações técnicas e econômicas (QUESADA, 2003).

No entanto, a falta de diretrizes claras e critérios de avaliação para o projeto de reabilitação estrutural no contexto brasileiro representa um desafio significativo. A ausência de regulamentação e especificações técnicas adequadas para diferentes sistemas de reabilitação resulta em intervenções frequentemente ineficazes, onerosas e de curto prazo.

Exemplos de falhas estruturais, como o desabamento do edifício residencial em Fortaleza em 2019 e o colapso do viaduto localizado na Marginal Pinheiros em 2018, destacam a necessidade de abordar essas questões de forma abrangente e eficaz. A falta de legislação específica e a falta de capacitação adequada dos profissionais responsáveis pela inspeção e reabilitação de edifícios contribuem para a persistência desses problemas.

Além disso, a ausência de uma legislação federal que estabeleça padrões para vistorias e manutenções de edifícios existentes leva a disparidades entre os estados, como evidenciado pelo caso do Rio de Janeiro. A implementação de leis estaduais, como a Lei Estadual nº 6400 (RIO DE JANEIRO, 2013), após eventos como o colapso do edifício Liberdade, destaca a necessidade de uma abordagem mais abrangente e consistente em todo o país.

O desenvolvimento de projetos de reabilitação requer uma abordagem metodológica específica e um diagnóstico preciso das patologias estruturais. No entanto, a capacitação dos profissionais nessas áreas ainda é inadequada, ressaltando a necessidade de programas educacionais mais abrangentes e especializados nas universidades. Com base nos princípios da lei de Sitter, que descreve o aumento exponencial dos custos de intervenção em relação às fases progressivas da construção, pode-se inferir que as intervenções de reabilitação frequentemente incorrem em custos substanciais, principalmente devido à necessidade de intervenção corretiva, geralmente realizada em estágios avançados do ciclo de vida da estrutura (HELENE, 2003b).

O objetivo deste estudo é estabelecer uma relação entre os sistemas e produtos comercialmente disponíveis no mercado brasileiro e os métodos de reabilitação delineados na norma europeia EN 1504 (CEN, 2008), adaptando-os às demandas específicas do contexto brasileiro de reabilitação estrutural.

A ausência de uma regulamentação específica no Brasil para guiar os especialistas na reabilitação de estruturas de concreto armado foi o catalisador para a elaboração deste documento, com o intuito de compilar informações essenciais para o desenvolvimento de projetos de reabilitação estrutural. Portanto, este artigo tem como propósito apresentar e discutir os princípios, metodologias, produtos e sistemas disponíveis no mercado brasileiro que podem ser empregados em atividades de reparo, reforço, proteção e recuperação de estruturas de concreto armado.

2. Desenvolvimento

2.1. Método de avaliação da estrutura focada na EN 1504:2008

A avaliação estrutural conforme a norma EN 1504 (CEN, 2008) é realizada de maneira qualitativa, interligando cada fase do processo construtivo e destacando sua importância no resultado do produto, na satisfação do usuário e, principalmente, no controle da ocorrência de manifestações patológicas durante a fase de uso da edificação. A norma enfatiza que, para reduzir ou eliminar problemas patológicos, é necessário um controle de qualidade rigoroso em todas as etapas do processo.

Em relação à qualidade, a norma exige que, na fase de concepção, haja garantia de plena satisfação do cliente, facilidade de execução e possibilidade de manutenção adequada; na fase de execução, o cumprimento fiel do projeto; e na fase de utilização, a garantia de satisfação do usuário e a viabilidade de extensão da vida útil da obra.

A EN 1504 especifica os princípios fundamentais a serem aplicados, individualmente ou em combinação, sempre que for necessário proteger ou reparar estruturas de concreto, seja acima ou abaixo do solo ou da água. Uma reparação bem-sucedida começa com a correta determinação das condições e a identificação das causas da degradação, sendo que todas as outras etapas do processo de reparação e proteção dependem desses pontos.

A segurança e a estabilidade, antes, durante e após a reparação, devem ser asseguradas conforme os termos da EN 1504. É essencial verificar as condições físicas e químicas das bases de aplicação de quaisquer produtos de reparação, avaliando a capacidade da estrutura para suportar cargas, movimentos ou vibrações durante a execução dos trabalhos, bem como a compatibilidade dos materiais estruturais com os materiais de reparação.

2.2. Cadeia de suprimentos

2.2.1 Prevenção contra a penetração de agentes agressivos

Por conta de sua estrutura porosa, o concreto endurecido torna-se permeável, o que afeta diretamente sua durabilidade e está intimamente relacionado à proporção de água e cimento e aos espaços interconectados que permitem a passagem de água através de sua superfície. Essas propriedades proporcionam vantagens térmicas, acústicas e ambientais às estruturas (DAVID; BENVENUTTI FILHO, 2020; SOTO, 2013).

Contudo, conforme apontado por Bastos (2023) e Soto (2013), no concreto armado, essa permeabilidade apresenta não apenas benefícios, mas também vulnerabilidades, uma vez que pode facilitar a entrada de cloretos, água e gases, comprometendo seu desempenho estrutural. A corrosão se inicia com a redução do pH do concreto causada pela penetração

dessas substâncias, sendo essa degradação diretamente associada ao tipo de porosidade presente.

Bastos (2023) ressalta que fissuras podem surgir por diversas causas, incluindo fenômenos naturais, erros de execução, falhas de fabricação, uso inadequado, entre outros, iniciando o processo de deterioração e permitindo a entrada de substâncias externas pelas fissuras.

Métodos de proteção de superfície, como selantes e rejuntas, além de outros produtos, são eficazes na redução da permeabilidade e porosidade do concreto, contribuindo para a prevenção da deterioração (DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

2.2.2 Reforço estrutural

O reforço estrutural é planejado com o objetivo de aumentar a capacidade de carga ou restaurar a integridade do concreto armado. Diversas razões podem demandar o reforço estrutural, incluindo a reparação de falhas de projeto ou construção, a necessidade de aumentar a capacidade de carga da estrutura, mudanças em sua utilização, a restauração de capacidades reduzidas devido a acidentes (como colisões e incêndios) ou o processo natural de envelhecimento e alterações ao longo do tempo (BASTOS, 2023; RIPPER, SOUZA, 1998).

Para que o reforço da estrutura seja eficaz, é essencial considerar diversos aspectos, como o diagnóstico estrutural, os requisitos arquitetônicos e operacionais, os requisitos estruturais, além de custos e prazos envolvidos (RIPPER, SOUZA, 1998).

2.2.3 Ganho de resistência física

O objetivo é adquirir resistência física no concreto contra possíveis agentes agressivos, como sais e efeitos térmicos, entre outros. Esse aumento de resistência visa garantir sua capacidade de suportar as condições de serviço e prolongar sua vida útil. A restauração da resistência é alcançada através do uso de argamassa e concreto, com o propósito de proteger a estrutura e recuperar o cobrimento adequado (BASTOS, 2023; DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

2.2.4 Manutenção ou restauração da passividade

Conforme descrito por David e Benvenuti Filho (2020), o princípio de manter ou restaurar a passividade envolve o tratamento ou a substituição do concreto afetado que cobre a armadura. Isso visa preservar a capacidade do concreto de proteger a armadura contra processos corrosivos, os quais podem ocorrer devido à diminuição do pH do concreto por lixiviação de compostos alcalinos dos poros ou por carbonatação do material.

2.2.5 Restauração do concreto

A fabricação do concreto armado é um processo complexo que exige atenção especial. Ele é obtido pela combinação adequada dos materiais constituintes, sendo fundamental uma execução meticulosa para garantir alta qualidade (BASTOS, 2023; SOTO, 2013).

Falhas no projeto, problemas durante a execução ou a falta de cuidados na manutenção podem resultar em manifestações patológicas de diferentes tipos. A degradação, seja ela física, mecânica ou química, afeta características específicas do desempenho do concreto. Tais manifestações devem ser evitadas por meio de uma

implementação apropriada e práticas de conservação adequadas (BASTOS, 2023; DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

O princípio da restauração envolve a reconstrução de estruturas danificadas. Em alguns casos, quando a reconstrução não é viável, pode ser necessária a substituição de elementos específicos da estrutura, utilizando diversos materiais (REIS, 2001).

2.2.6 Controle da umidade

A água pode penetrar na superfície do concreto, tornando-se um agente agressivo que afeta suas propriedades estruturais. Isso ocorre porque a água, com altas concentrações de cloretos e sulfatos, pode infiltrar-se nos poros capilares do concreto, dissolvendo o hidróxido de cálcio presente na matriz de cimento e formando carbonato de cálcio (CaCO₃). Esse processo pode levar à formação de manifestações indesejáveis na estrutura, como manchas ou deterioração, afetando negativamente a integridade e a aparência da construção. Portanto, é essencial implementar medidas de proteção, como a impermeabilização, para reparar essas manifestações patológicas relacionadas à umidade (BASTOS, 2023; DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020; HELENE, PEREIRA, 2007; PELLIZZER, 2015).

Além disso, é necessário evitar o acúmulo de umidade e implementar medidas para controlar o crescimento de fungos nas estruturas de concreto, uma vez que esses organismos se alimentam de materiais orgânicos presentes no concreto e se proliferam especialmente em áreas com baixa circulação de água (PITAN, 2013).

2.2.7 Aumento da resistividade

O aumento da resistividade implica na implementação de estratégias para controlar a umidade do concreto, conforme discutido por Bastos (2023) e Pellizzer (2015). Em contextos práticos, a resistividade está diretamente relacionada à taxa de corrosão, indicando que resistividades mais baixas estão associadas a taxas de corrosão mais elevadas, conforme abordado por Marcondes *et al* (2018).

2.3 Métodos de Reabilitação

Os métodos de reabilitação abrangem tanto a reabilitação do concreto quanto das armaduras.

2.3.1 Métodos de reabilitação do concreto

a Impregnação hidrofóbica

A impregnação hidrofóbica é realizada com a aplicação de produtos impermeabilizantes que incluem substâncias como silanos e siloxanos, conforme discutido por Moura (2013), Pellizzer (2015), Reis (2001) e Soto (2013).

Segundo Reis (2001) e David e Benvenutti Filho (2020), é essencial realizar a limpeza da superfície e considerar fatores como temperatura e umidade antes da aplicação do produto, a fim de garantir o resultado desejado.

b Impregnação

Este método consiste na aplicação de produtos à base de compostos polímeros orgânicos, tais como epóxi e acrílico, com o intuito de obstruir os poros do concreto e aumentar sua resistência (SOTO, 2013; DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

David Benvenuti Filho (2020) e Reis (2001) também sugerem que antes da aplicação do produto para impregnação hidrofóbica, seja realizada uma limpeza prévia da superfície, levando em conta fatores como temperatura e umidade, para garantir o resultado desejado. Além disso, é crucial verificar a compatibilidade e a adequada aderência entre o produto e o elemento a ser protegido.

c Aplicação manual de argamassa

Essas medidas têm como objetivo preservar o perfil do concreto, assegurando sua integridade estrutural. O material utilizado nesse método consiste em uma combinação de cimento, agregado fino, aditivos, sistemas de compensação de retração e água. Esse conjunto pode incluir aditivos que contribuem para melhorar as características do ligante. O processo de aplicação começa com a preparação do substrato, removendo qualquer material solto, pulverulento ou contaminante. Durante o processo, é fundamental manter a superfície úmida até alcançar o estado de Superfície Saturada Seca (DAVID BENVENUTTI FILHO, 2020; REIS, 2001; MOURA, 2013).

Os reparos podem ser realizados manualmente ou com ferramentas apropriadas. A argamassa é aplicada sobre o suporte, pressionando-a na área a ser reparada e deixando sulcos quando necessário, especialmente se múltiplas camadas forem aplicadas (DAVID, BENVENUTTI, 2020; SOTO, 2013).

d Aplicação de argamassa projetada

A aplicação de argamassa projetada envolve a projeção pneumática de concreto e argamassa, utilizando-se técnicas que aprimoram sua aplicação e desempenho ao longo do tempo (DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020; SOTO, 2013).

e Reforço estrutural por colagem de elementos adicionais

Este método consiste na fixação de elementos adicionais à estrutura, como concreto, chapas metálicas, perfis e materiais como mantas e chapas de fibra de carbono, utilizando resinas epóxi ou poliésteres como agentes de adesão (SOTO, 2013; MOURA, 2013).

Conforme recomendado por David Benvenuti Filho (2020) e Reis (2001), é essencial iniciar com a limpeza e preparação adequadas do substrato antes da instalação dos elementos. A limpeza envolve a remoção de materiais soltos, poeira ou sujeira, enquanto a preparação visa garantir uma superfície rugosa e uniforme, podendo incluir jateamento de água com ou sem material abrasivo. É crucial que o substrato esteja seco ao aplicar a resina.

De acordo com Soto (2013), é importante considerar a proteção contra incêndios devido à utilização de resinas, que podem ser sensíveis a altas temperaturas. Para mitigar esse risco, recomenda-se o uso de tintas e argamassas intumescentes.

f Restauração da seção

Este método refere-se aos reparos de concreto que têm como objetivo restaurar uma estrutura à sua forma e funcionalidade originais. É um termo abrangente que engloba todos os métodos específicos de reparação que preservam ou restabelecem a forma de um elemento. Os produtos utilizados incluem uma ampla gama de adesivos hidráulicos, aditivos poliméricos, revestimentos e outros materiais relacionados à tecnologia de reabilitação, com ou sem aditivos (DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020; REIS, 2001).

David Benvenuti Filho (2020) e Reis (2001) recomendam também a limpeza rigorosa da superfície e a consideração de fatores como temperatura e umidade antes da aplicação do produto, visando alcançar o resultado desejado. Além disso, é crucial garantir a compatibilidade e a aderência adequadas entre o produto e o elemento a ser protegido.

g Revestimento

A técnica de revestimento consiste na aplicação de ligantes, como polímeros orgânicos ou compostos de polímero com carga de cimento, na superfície da estrutura. Esses materiais formam uma camada contínua de proteção que impede a infiltração de agentes indesejados (SOTO, 2013; MOURA, 2013).

Reis (2001) e David Benvenuti Filho (2020) enfatizam a importância da limpeza meticulosa da superfície e da consideração de fatores como temperatura e umidade antes da aplicação do produto, visando alcançar o resultado desejado. Além disso, é essencial assegurar a compatibilidade e a aderência adequadas entre o produto e o elemento a ser protegido. Eles também destacam a necessidade de selecionar o produto adequado, levando em conta as causas potenciais de deterioração, defeitos e outras exposições à estrutura.

2.3.2 Métodos de reabilitação das armaduras

a Aplicação de argamassa ou concreto para aumento do cobrimento

Este método utiliza argamassa e concreto, com ou sem aditivos, para aumentar o cobrimento da armadura. O objetivo é estabelecer barreiras físicas na estrutura contra agentes danosos, aprimorando as características da armadura tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020; MOURA, 2013; SOTO, 2013).

Reis (2001) e David Benvenuti Filho (2020) recomendam também a limpeza cuidadosa da superfície e a consideração de fatores como temperatura e umidade antes da aplicação do produto, para alcançar o resultado desejado. É crucial assegurar a compatibilidade e a aderência adequadas entre o produto e o elemento a ser protegido.

b Extração eletroquímica de cloretos

Este método refere-se a técnicas eletroquímicas como a realcalinização e a dessalinização, utilizadas no tratamento de estruturas afetadas pela corrosão devido à carbonatação e à presença de íons cloreto. A eficácia dessas técnicas depende das características da matriz do concreto, da distribuição dos cloretos e do pH, bem como da intensidade da corrente aplicada (GONÇALVES, ANDRADE, CASTELLOTE, 2003).

O procedimento envolve a instalação de uma malha externa revestida por um eletrólito sobre a área a ser tratada. Uma corrente contínua é aplicada ao sistema, elevando o pH nas proximidades da armadura e restaurando o filme passivo que protege contra a corrosão. Durante o processo, essa malha é corroída e não recebe cobertura com selante. O eletrólito pode ser água potável ou uma solução alcalina, aplicada diretamente na superfície ou armazenada em tanques fechados (CORREA, BENEVENUTTI FILHO, 2022).

O término do tratamento é determinado pela análise regular dos testemunhos retirados da área reabilitada. Os teores de cloretos permitidos devem estar de acordo com as diretrizes da NBR 12655, variando de acordo com a classe de agressividade ambiental (SOTO, 2013; DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

c Substituição de concreto contaminado ou carbonatado

Este método envolve a substituição do concreto contaminado ou carbonatado por meio da utilização de um aglutinante hidráulico, com ou sem aditivos, para restaurar a proteção contra agentes agressivos (DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

Inicialmente, realiza-se uma análise do grau de contaminação do concreto utilizando um teste de pH com solução de fenolftaleína. Após determinar a extensão da área contaminada, inicia-se a remoção do material afetado, utilizando técnicas como jateamento abrasivo (ANDRADE, 1992; MOURA, 2013; DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

Reis (2001) e David Benvenuti (2020) recomendam também a limpeza da superfície e consideração de fatores como temperatura e umidade antes da aplicação do ligante, para garantir o resultado desejado. Além disso, é crucial assegurar a homogeneidade do material aplicado e o adequado processo de cura para sua solidificação.

d Aplicação de potencial elétrico

A aplicação de potencial elétrico é um método que envolve a implementação de proteção catódica nas armaduras, mantendo-as continuamente protegidas (SOTO, 2013; REIS, 2001).

Há duas abordagens principais. Uma delas consiste em utilizar uma malha de titânio ativado para revestir a estrutura, protegida por um selante. É crucial realizar uma limpeza meticulosa do substrato antes da aplicação, assegurando a aderência entre camadas. Este método emprega corrente de até 100 miliampères por metro quadrado (DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

Outro método para aplicar potencial elétrico envolve o uso de ânodos de sacrifício, um sistema que depende da uniformidade do concreto. Os ânodos frequentemente empregados são fabricados com zinco e alumínio, aplicados por pulverização a quente, e instalados em furos distribuídos pela estrutura, conforme especificações do projeto (REIS, 2001).

Este sistema necessita de manutenção e supervisão contínuas para garantir sua eficácia. É essencial cuidar adequadamente da estrutura, pois o potencial elétrico aplicado protege contra os processos de corrosão típicos de sistemas eletroquímicos (DAVID, BENVENUTTI FILHO, 2020).

e Revestimento com barreira

Este método consiste no revestimento do vergalhão utilizando materiais como epóxi, primers, entre outros, para criar uma barreira que impeça a penetração de água contendo cloretos (SOTO, 2013; REIS, 2001).

Segundo Reis (2001) e David Benvenuti Filho, (2020), o processo inicia-se com uma limpeza rigorosa da superfície onde o revestimento será aplicado, seja na armadura ou no concreto. É essencial remover completamente qualquer material solto, poeira ou contaminante. A aplicação requer uma espessura adequada ou quantidade suficiente do material para assegurar a eficácia da barreira. Além disso, é crucial considerar variáveis como temperatura durante a aplicação, umidade do substrato e ambiente, além da compatibilidade entre o produto empregado e a estrutura.

f Revestimento com inibidor

Este método envolve a aplicação de produtos que inibem a formação de regiões anódicas na armadura. Esses produtos podem ser aplicados diretamente na ferragem ou sobre a superfície do concreto, difundindo-se para áreas adjacentes à armadura (REIS, 2001; DAVID, BENVENUTTI, 2020).

Conforme destacado por David Benvenuti (2020) e Reis (2001), o processo inicia-se com uma limpeza meticulosa da superfície onde o revestimento será aplicado, seja na armadura ou no concreto. É crucial remover completamente qualquer material solto, poeira ou contaminante. A aplicação requer uma espessura adequada ou quantidade suficiente do material para assegurar a eficácia do inibidor. Além disso, é essencial considerar variáveis como temperatura durante a aplicação, umidade do substrato e ambiente, além da compatibilidade entre o produto utilizado e a estrutura em questão.

g Realcalinização do concreto carbonatado através de difusão

Este método consiste na elevação do pH do concreto carbonatado através da difusão de uma solução alcalina, utilizando-se de capilaridade e pressão hidráulica, sem depender de campos elétricos ou correntes. A eficácia dessa técnica baseia-se na adequada penetração da solução nos poros capilares do concreto e na interação com os componentes da água do concreto (DAVID, BENVENUTTI, 2020).

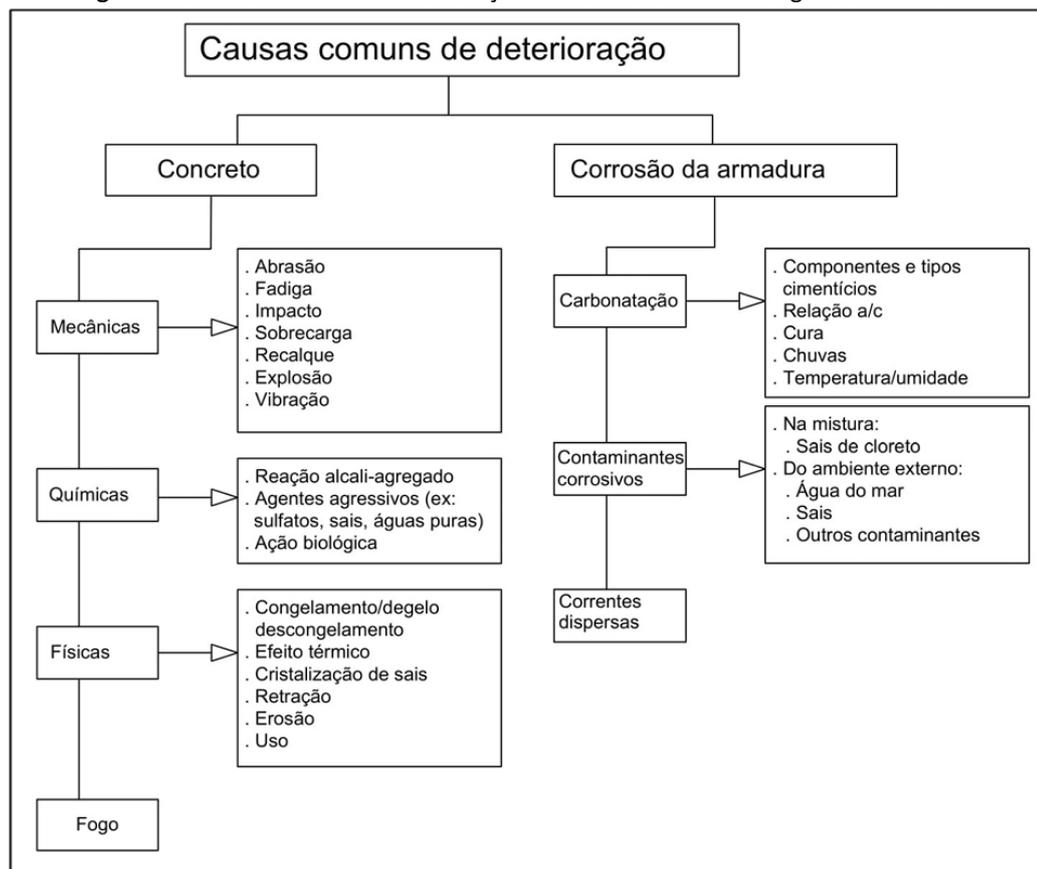
Conforme salientado por David Benvenuti Filho (2020) e Reis (2001), o processo inicia-se com uma limpeza meticulosa da superfície onde será aplicada a realcalinização, seja na armadura ou no concreto. É crucial remover completamente qualquer material solto, poeira ou contaminante. É necessário assegurar a aplicação de uma quantidade adequada de solução para garantir a eficácia do processo. Antes da aplicação, é recomendado realizar um teste de avanço de pH utilizando fenolftaleína para avaliar o grau de contaminação da estrutura. Com base nessa análise, pode-se determinar o tipo de produto necessário, a quantidade a ser aplicada e o tempo adequado de exposição (REIS, 2001).

3. Análise

Para além de conceitos gerais, a norma fundamenta-se em princípios de reabilitação estrutural, cada um voltado para mitigar agentes ou comportamentos agressivos que afetam propriedades específicas do concreto armado. Cada uma dessas propriedades possui vulnerabilidades distintas, e em cenários onde as estruturas carecem de manutenção ou monitoramento adequado das condições de serviço, essas vulnerabilidades podem resultar em manifestações patológicas.

É fundamental destacar que as causas de degradação não operam de forma isolada nas estruturas. Frequentemente, uma única causa pode ser o catalisador de um mecanismo de degradação, conforme descrito por Enio Pazini e Paulo Helene (2003). Esse mecanismo é caracterizado pela interação sistemática de processos que comprometem o desempenho estrutural. Esses processos complexos combinam várias causas de degradação, cada uma contribuindo em diferentes etapas de deterioração da estrutura. Isso evidencia as características sistêmicas do concreto armado e sublinha a importância da análise abrangente das estruturas.

Figura 1- Causas comuns de deterioração do Concreto Armado segundo a EN 1504.



Fonte: CEN, 2008.

Portanto, a norma EN 1504 (CEN, 2008) classifica os princípios de reabilitação de acordo com a natureza das causas de degradação. Os dois componentes do concreto armado possuem condições de desempenho interdependentes, porém distintas. Dessa forma, a manutenção do concreto armado exige cuidados específicos com as condições do próprio concreto, da armadura e da interação entre esses elementos.

4. Considerações Finais

Atualmente, uma quantidade significativa de edifícios no Brasil enfrenta desafios relacionados ao desempenho inadequado, tanto em termos gerais quanto em seus subsistemas específicos. Muitos desses problemas poderiam ser solucionados com métodos simples, desde que devidamente caracterizados e utilizando-se de mecanismos de reparo adequados.

A abordagem para lidar e resolver essas questões por parte dos profissionais envolvidos tem frequentemente carecido de uma metodologia universalmente aceita. Na prática profissional de análise desses problemas, é comum observar que intuições pessoais embasadas na experiência prevalecem sobre métodos científicos estruturados.

O sucesso do campo de diagnóstico de patologias na construção civil depende não apenas da habilidade do engenheiro em identificar os sintomas das patologias e descrever o

plano de ação, mas também da identificação e caracterização completa dos mecanismos que levaram à patologia, baseando-se nos dados obtidos em campo e na compatibilidade com a literatura e normas vigentes. A efetiva normatização para capacitar e orientar o profissional em suas funções de patologista requer a integração de metodologias universais e parâmetros científicos estabelecidos, combinados com a abordagem investigativa inerente à área.

A norma EN 1504 (CEN, 2008) busca estabelecer critérios gerais para avaliação de patologias e conectar princípios científicos consolidados a métodos e produtos específicos a serem aplicados. No contexto brasileiro, essa padronização representaria um avanço significativo ao alinhar o princípio do reparo com métodos concretos, mesmo que ainda dependa da coleta subjetiva de dados pelo profissional especializado em patologia.

No que se refere às semelhanças entre a prática brasileira de reabilitação e os métodos descritos na EN 1504, pode-se afirmar que, embora sejam muito similares, a principal diferença reside na própria normatização. A ausência de manuais ou normas específicas associadas aos métodos de reabilitação no Brasil diminui consideravelmente a eficácia e a disseminação desses procedimentos. O reconhecimento dos princípios e métodos estabelecidos na norma mencionada já forneceria um sólido embasamento aos profissionais da área para desenvolver reabilitações eficazes. Contudo, ainda há uma necessidade premente de normas técnicas brasileiras para reabilitação de edifícios que possam se alinhar às novas normas de desempenho, visando uniformizar não apenas a entrega de edificações seguras e de alta qualidade para os consumidores, mas também proporcionar aos engenheiros responsáveis pela edificação a manutenção contínua do desempenho estrutural.

Com base nas análises realizadas neste estudo e em diversos outros trabalhos brasileiros nas áreas de reabilitação e deterioração, é evidente que a norma EN 1504 pode servir como ponto de partida para iniciar uma discussão em nível nacional sobre a implementação de uma norma técnica brasileira para reabilitação de edifícios.

Referências

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Pini, 1992. 104 p.

BASTOS, P. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru, SP: UNESP - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2023. 98p.

BSI. British Standards Institution. **Glossary of Maintenance Management Terms in Terotechnology**. Londres, 1993. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/409384215/Maintenance-Definition-BS-British-Standard>. Acesso em: 09 mar. 2024.

CEN. Comitê Europeu de Normalização. **EN 1504-6. Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity - Part 6: Anchoring of reinforcing steel bar**. European Standards, Brussels, 2008.

- CORREA, G. A.; BENEVENUTTI FILHO, Y dos S. T. **Realcalinização eletroquímica de estruturas de concreto armado carbonatadas: revisão bibliográfica.** Em: DUARTE, Armando Dias (Org). Collection: Applied civil engineering. São Paulo: Atena Editora, 2022. p. 119-139. Cap 10.
- DAVID, D. M.; BENVENUTTI FILHO, R. D. **Princípios e métodos de reabilitação de estruturas de concreto armado.** (Monografia) Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia, 2020, 73p.
- GONÇALVES, A.; ANDRADE, C.; CASTELLOTE, M. **Procedimientos de reparación y protección de armaduras.** Em: **Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón.** São Paulo: Paulo Helene e Fernanda Pereira, 2003.
- HELENE, P.; FIGUEIREDO, E.P. **Manual de reabilitação de estruturas de concreto: reparação, reforço e proteção.** CYTED – XV-F (2003): 21-36.
- HELENE, P. **Manual para reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** Red Rehabilitar editores. São Paulo, 2003.
- HELENE, P.; PEREIRA, F. **Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto.** São Paulo: [s. n.], 2007.
- MARCONDES, C. G. N.; GENTIL, F. D. S.; SOSTER, B.; PANÇOLIM, S.M. **Estudo da utilização da fibra de carbono para reparos em concretos e argamassas submetidos a altas temperaturas.** Revista Técnico-Científica do CREA-PR, 13. Ed., set. 2018. ISSN 2358-5420.
- MOURA, M. **Reforço estrutural em estruturas de concreto armado.** 2013. 82f. Monografia (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Alegrete, RS, 2013.
- PELLIZZER, G. P. **Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2015.
- PINTAN, M. N. **Manifestações patológicas e estudos da corrosão presente em pontes do Recife.** 2013. Dissertação (mestrado). Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2013.
- QUESADA, G., **Procedimento de Reparo.** Em: **Manual para reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto.** Red Rehabilitar editores. São Paulo, 2003.
- REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 114f. 2001.
- RIO DE JANEIRO. **Lei Estadual nº 6.400, 05 de março de 2013. Lei da autovistoria.** Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 06 mar. 2013.
- RIPPER, T; SOUZA, V.C.M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo, 1998. Disponível em: <https://lucasmonteiro.site.files.wordpress.com/2017/08/vicente-custc3b3dio-e-thomaz-ripper-patologia-recuperacao-e-reforco-de-estruturas-de-concreto.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2024.
- SOTO, R. C. **Reforço e recuperação de vigas de concreto armado.** 75f. (Monografia) Curso Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2013.