

EFICÁCIA DE TÉCNICAS E PRODUTOS DE REABILITAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO - UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

EFFICIENCY OF REHABILITATION TECHNIQUES AND PRODUCTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES - A BIBLIOGRAPHICAL REVIEW

EFICACIA DE LAS TÉCNICAS Y PRODUCTOS DE REHABILITACIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO - UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Iago Serpa Dionísio¹, José Eduardo Quaresma², Fabiana Florian³

<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i1.4745>

PUBLICADO: 12/2023

RESUMO

O concreto armado é o material de construção mais utilizado no mundo devido às suas vantagens como o custo relativamente baixo, a facilidade de obtenção dos componentes, a durabilidade que apresenta quando dosado corretamente, a adaptabilidade a diversos formatos, entre outros. Porém, com o passar do tempo e da exposição ao meio ambiente, essas estruturas estão sujeitas a diversos tipos de danos que ameaçam sua integridade e segurança. Diversas são as técnicas e produtos desenvolvidos para reabilitação de estruturas de concreto armado. Nesse contexto, este trabalho objetiva identificar as principais técnicas e produtos de reabilitação em estruturas de concreto armado, bem como suas vantagens e possíveis limitações. Foi realizada pesquisa bibliográfica utilizando das palavras-chave: Armado. Concreto. Produtos. Reabilitação. Técnicas, nas bases de dados *Scielo* e *Google Acadêmico*. Os resultados apontam que dentre as técnicas e produtos mais utilizados destacam-se os Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras (CPRF), principalmente o de fibra de carbono (CFRP). Os CFRP apresentam algumas vantagens sobre os elementos tradicionais de reforço tais como facilidade de aplicação, baixa densidade, alta resistência à tração e propriedades anticorrosivas. Ressalta-se a importância conhecer os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado para se obter um correto diagnóstico.

PALAVRAS-CHAVE: Armado. Concreto. Produtos. Reabilitação. Técnicas.

ABSTRACT

Reinforced concrete is the most used construction material in the world due to its advantages such as its relatively low cost, the ease of obtaining the components, its durability when dosed correctly, its adaptability to different formats, among others. However, over time and exposure to the environment, these structures are subject to various types of damage that threaten their integrity and safety. There are several techniques and products developed for the rehabilitation of reinforced concrete structures. In this context, this work aims to identify the main rehabilitation techniques and products in reinforced concrete structures, as well as their advantages and possible limitations. Bibliographic research was carried out using the keywords: Armed. Concrete. Products. Rehabilitation. Techniques, in the Scielo and Google Scholar databases. The results indicate that among the most used techniques and products, Fiber Reinforced Polymeric Composites (CPRF) stand out, mainly carbon fiber composites (CFRP). CFRP has some advantages over traditional reinforcement elements such as ease of application, low density, high tensile strength and anti-corrosion properties. It is important to know the degradation mechanisms of reinforced concrete structures to obtain a correct diagnosis.

KEYWORDS: Armed. Concrete. Products. Rehabilitation. Techniques.

¹ Graduando no Curso Bacharelado de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP. E-mail: iagosdionisio98@gmail.com

² Orientador(a) Docente do curso Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP. E-mail: jequaresma@uniara.edu.br

³ Coorientadora. Doutora em Alimentos e Nutrição. Docente do curso Engenharia Civil da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP. E-mail: fflorian_@uniara.com

RESUMEN

El hormigón armado es el material de construcción más utilizado en el mundo debido a sus ventajas como su costo relativamente bajo, la facilidad de obtención de componentes, su durabilidad cuando se dosifica correctamente, su adaptabilidad a diversos formatos, entre otros. Sin embargo, con el paso del tiempo y la exposición al medio ambiente, estas estructuras están sujetas a diversos tipos de daños que amenazan su integridad y seguridad. Existen varias técnicas y productos desarrollados para la rehabilitación de estructuras de hormigón armado. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo identificar las principales técnicas y productos de rehabilitación en estructuras de hormigón armado, así como sus ventajas y posibles limitaciones. Se realizó una investigación bibliográfica utilizando las siguientes palabras clave: Armado. Hormigón. Bienes. Rehabilitación. Técnicas, en las bases de datos Scielo y Google Scholar. Los resultados indican que entre las técnicas y productos más utilizados, destacan los Compuestos Poliméricos Reforzados con Fibra (CPRF), especialmente la fibra de carbono (CFRP). El CFRP tiene algunas ventajas sobre los elementos de refuerzo tradicionales, como la facilidad de aplicación, la baja densidad, la alta resistencia a la tracción y las propiedades anticorrosivas. Es importante conocer los mecanismos de degradación de las estructuras de hormigón armado para obtener un diagnóstico correcto.

PALABRAS CLAVE: Armado. Hormigón. Bienes. Rehabilitación. Técnicas.

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é amplamente utilizado na construção de estruturas devido à sua alta resistência e durabilidade, podendo ser utilizado em lajes, pilares, vigas, paredes, pontes, viadutos, reservatórios, barragens, pisos industriais etc. É definido como estrutura que utiliza armações produzidas com barras de aço, utilizados para suprir a baixa resistência do concreto aos esforços de tração. Permite construir elementos com as mais variadas formas e volumes, aliando as qualidades do concreto como o baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água, com as qualidades do aço como a ductilidade e excelente resistência à tração e à compressão. Outro aspecto positivo é que o aço, convenientemente envolvido e com um revestimento adequado de concreto, fica protegido de corrosão, bem como quando submetido a elevadas temperaturas provocadas por incêndio. Uma questão importante a ser observada para a existência do Concreto Armado é a necessidade de aderência entre o concreto e o aço, de modo que ambos trabalhem solidariamente, conjuntamente.

No entanto, com o tempo e a exposição a fatores ambientais, essas estruturas estão sujeitas a diversos tipos de deterioração e podem sofrer danos que comprometem sua integridade e segurança.

Dentre as causas mais comuns de deterioração, podem-se citar a corrosão das armaduras, a ação do fogo, o ataque químico e a ação de cargas excessivas. Para reparar esses danos, foram desenvolvidas diversas técnicas e produtos de reabilitação de estruturas de concreto armado. A eficácia dessas técnicas e produtos é crucial para recuperar a capacidade estrutural das edificações, prolongar sua vida útil e garantir a segurança.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo identificar as principais técnicas e produtos de reabilitação em estruturas de concreto armado utilizadas, bem como suas vantagens e possíveis limitações.

Para tanto, inicialmente foram apresentados conceitos relacionados ao tema proposto envolvendo os princípios de reabilitação e técnicas e produtos de reabilitação de concreto disponíveis na literatura.

Foi utilizada pesquisa bibliográfica, utilizando as palavras-chave: Armado; Concreto; Produtos; Reabilitação; e Técnicas, nas bases de dados *Scielo* e *Google Acadêmico*, a fim de buscar estudos científicos acerca das principais técnicas e produtos de reabilitação em estruturas de concreto armado utilizados atualmente, apresentando suas vantagens e limitações. Foram adotados como critérios de inclusão: texto completo disponível e dentro do balizamento temporal de 2013 a 2023.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DESENVOLVIMENTO

Nesta seção foram apresentados os princípios de reabilitação que são os principais elementos necessários para restauração de concreto e os métodos de reabilitação que são as várias técnicas de reabilitação e reforço estrutural.

2.1 Cadeia de suprimentos

2.1.1 Prevenção contra a entrada de agentes

Devido sua estrutura porosa, o concreto endurecido se torna permeável e de alta durabilidade, o que está estritamente ligado à sua relação água e cimento e os espaços interconectados que possibilitam a passagem da água através de sua superfície. É vantajoso devido às suas propriedades térmicas de isolamento, suas propriedades acústicas e devido ao seu desempenho ambiental às estruturas (David; Benevenuti Filho, 2020; Soto, 2013).

Porém, segundo Bastos (2019) e Soto (2013), no caso do concreto armado, essa propriedade apresenta não apenas potencial, mas também vulnerabilidades mediante a possível penetração de substâncias como cloretos, água e gases, prejudicando o seu desempenho estrutural. O processo corrosivo se inicia devido a diminuição do pH do concreto devido a penetração destas substâncias e está estritamente ligado ao tipo de porosidade.

Bastos (2019) destaca que as fissuras podem surgir por diferentes circunstâncias, seja por vias naturais, erros de execução no processo, de fabricação, mau uso, entre outras, dando início ao processo de deterioração, permitindo assim que substâncias externas penetrem nas fissuras.

Sistemas de proteção de superfície, selantes, rejuntas, entre outros métodos e produtos reduzem a permeabilidade e a porosidade do concreto (David, Benevenuti Filho, 2020).

2.1.2 Reforço estrutural

Se idealiza o reforço estrutural com o objetivo de aumentar a carga ou reestabelecer o concreto armado. Existem várias razões que exigem o reforço estrutural, como a correção de erros de projeto ou construção, aumento da capacidade de carga da estrutura, alterações em sua utilização, restauração da capacidade reduzida devido a acidentes (colisões, incêndios etc.) ou desgaste e deterioração ao longo do tempo (Bastos, 2019; Souza; Ripper, 1998).

Para o fortalecimento bem-sucedido da estrutura é necessário que se considere aspectos como diagnóstico estrutural, requisitos arquitetônicos e operacionais, requisitos estruturais, custos e prazos (Souza, Ripper, 1998).

2.1.3 Ganho de resistência física

Pretende-se adquirir resistência física do concreto contra possíveis agentes agressivos, como exemplo, sais, efeitos térmicos, entre outros agentes. Busca-se com o ganho de resistência a garantia de boas propriedades mecânicas, resistência a cargas específicas e maior durabilidade. Com a restauração da resistência, através da argamassa e concreto, busca-se revestir a estrutura e recuperar o cobrimento (Bastos, 2019; David Benevenuto Filho, 2020).

2.1.4 Manutenção ou restauração da passividade

De acordo com David e Benevenuto Filho (2020), o princípio da manutenção ou restauração da passivação é tratar ou substituir o concreto despassivação que cobre a armadura para reduzir o risco de corrosão. A perda da passividade ocorre quando o pH do concreto diminui devido a lixiviação dos compostos alcalinos dos poros do concreto ou ao processo de carbonatação.

2.1.5 Restauração do concreto

O concreto armado é o resultado final de um complexo processo de fabricação e requer atenção especial. É obtido através da mistura adequada de cimento, agregado fino, agregado graúdo e água, sendo necessário a execução exata para uma melhor qualidade (Bastos, 2019; Soto, 2013).

As falhas no projeto no processo de execução ou à falta de cuidados na manutenção, resultaram em manifestações patológicas de diferentes tipos. As causas de degradação, sejam elas físicas, mecânicas ou químicas, afetarão características específicas de desempenho do concreto. Essas manifestações devem ser evitadas por meio de um processo executivo adequado e cuidados de manutenção adequados (Bastos, 2019; David Benevenuto Filho, 2020).

Seu princípio de restauração parte da reconstrução de estruturas danificadas e em alguns casos a reconstrução não é possível sendo necessária a substituição de alguns elementos da estrutura, utilizando-se de materiais diversos (Reis, 2001).

2.1.6 Controle da umidade

Sabe-se que a água é capaz de penetrar na superfície do concreto, podendo se tornar um agente agressivo, afetando as suas propriedades estruturais. As propriedades estruturais do concreto são afetadas, pois a água apresenta altas concentrações de clorogênios e sulfatos que pode penetrar nos poros capilares do concreto e dissolver o hidróxido de cálcio presente na massa de cimento, formando carbonato de cálcio (CaCO_3). O carbonato de cálcio, ao ser lixiviado pela água, pode se depositar na superfície da estrutura, formado em manchas brancas ou estalactites que prejudicam a estética da construção, sendo necessário tomar medidas de proteção do concreto. Neste contexto, a impermeabilização é necessária para reparar estas manifestações patológicas relacionadas a umidade (Bastos, 2019; David, Benevenuto Filho, 2020; Helene; Pereira, 2007; Pellizzer, 2015).

Ainda se faz necessário evitar o acúmulo de umidade e adotar medidas para prevenir o crescimento de fungos nas estruturas de concreto, pois os fungos se alimentam de materiais orgânicos presentes no concreto e proliferam especialmente em áreas onde não ocorre o fluxo de água (Pitan, 2013).

2.1.7 Aumento da resistividade

O princípio do aumento da resistividade baseia-se em estratégias de controle de umidade do concreto para aumentar sua resistividade elétrica (Bastos, 2019; Pellizzer, 2015).

Em outras palavras, a resistividade e a taxa de corrosão apresentam uma relação inversa, ou seja, quanto menor a resistividade, maior a taxa de corrosão (Marcondes, 2018).

2.2 Métodos de Reabilitação

Os métodos de reabilitação contemplam os métodos de reabilitação do concreto e das armaduras.

2.2.1 Métodos de reabilitação do concreto

2.2.1.1 Impregnação hidrofóbica

Essa técnica envolve a aplicação de produtos impermeabilizantes que contém substâncias como silanos e siloxanos, a fim de formar uma camada impermeável nos poros da superfície do concreto (Moura, 2013; Pellizzer, 2015; Reis, 2001; Soto, 2013).

David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001) indicam a limpeza da superfície e a consideração de fatores como temperatura, umidade, antes da aplicação do produto para se obter o resultado desejado.

2.2.1.2 Impregnação

Esse método envolve a aplicação de produtos a base de compostos polímeros orgânicos, como epóxi e acrílico. Tem como objetivo bloquear os poros do concreto aumentando sua resistência (David, Benevenuti Filho, 2020; Soto, 2013).

Assim como na hidrofóbica, David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001) também indicam a limpeza da superfície e a consideração de fatores como temperatura, umidade, antes da aplicação do produto para se obter o resultado desejado. Também é fundamental garantir a compatibilidade e aderência entre o produto e o elemento a ser protegido.

2.2.1.3 Aplicação manual de argamassa

Estas medidas visam preservar o perfil do concreto, garantir boas propriedades mecânicas e resistência a cargas específicas. O material utilizado neste método é uma combinação de cimento, agregado fino, aditivos, sistemas de compensação de retração e água. A mistura pode conter aditivos, tais como fibras poliméricas curtas, que melhoram as propriedades do ligante. A aplicação inicia-se com a limpeza do substrato, retirando qualquer material solto, pulverulento ou contaminante. No momento da aplicação a superfície deve ser umedecida até atingir o S.S.S. (Superfície Saturada Seca) (David Benevenuti Filho, 2020; Moura, 2013; Reis, 2001).

A aplicação pode ser feita manualmente ou com espátula. Uma camada de argamassa é aplicada sobre o suporte, pressionada na área a ser reparada e são deixados sulcos quando

necessário, principalmente se forem aplicadas múltiplas camadas. (David, Benevenuti Filho, 2020; Soto, 2013).

2.2.1.4 Aplicação de argamassa projetada

Se dá por meio da aplicação de concreto e argamassa projetados. Através da projeção pneumática é aplicada argamassa com aditivos ou adições que melhoram sua trabalhabilidade e desempenho tanto em estado fresco quanto endurecido (David, Benevenuti Filho, 2020; Soto, 2013).

2.2.1.5 Colagem de elementos de reforço

Este método refere-se a intervenções através da colagem de elementos como concreto, chapas ou perfis metálicos, ou por meio de mantas e chapas de fibra de carbono que são coladas à estrutura por meio de resinas epóxi ou poliésteres. (Soto, 2013; Moura, 2013).

De acordo com David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001), antes da instalação dos elementos é necessário que se inicie a limpeza e preparação do substrato. Para limpeza é necessário que se retire materiais soltos, poeira ou sujeira. A preparação deve garantir uma superfície rugosa e uniforme, podendo o jateamento de água ser feito com ou sem material abrasivo. Ao aplicar a resina o substrato deve estar seco.

De acordo com Soto (2013) deve-se considerar a proteção contra o fogo devido à utilização da resina que pode ser sensível a altas temperaturas. Para isso, recomenda-se a utilização de tintas e argamassas intumescentes.

2.2.1.6 Restauração da seção

Este método refere-se a reparos de concreto que visam devolver uma estrutura à sua forma e funcionalidade originais. É um termo abrangente que abrange todos os métodos específicos de reparação que preservam ou restauram a forma de um elemento. Os produtos utilizados abrangem também uma ampla gama de adesivos hidráulicos, aditivos poliméricos, revestimentos e tantos outros materiais relacionados à tecnologia de reabilitação com ou sem aditivos (David, Benevenuti Filho, 2020; Reis, 2001).

David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001) também indicam a limpeza da superfície e a consideração de fatores como temperatura, umidade, antes da aplicação do produto para se obter o resultado desejado. Também é fundamental garantir a compatibilidade e aderência entre o produto e o elemento a ser protegido.

2.2.1.7 Revestimento

O método refere-se à aplicação de ligantes como polímeros orgânicos, polímeros orgânicos com carga de cimento ou cimento hidráulico com dispersão de polímero, entre outros, na superfície da estrutura, formando uma camada protetora contínua que impede a passagem de agentes indesejados (Soto, 2013; Moura, 2013).

David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001) também indicam a limpeza da superfície e a consideração de fatores como temperatura, umidade, antes da aplicação do produto para se obter o resultado desejado. Também é fundamental garantir a compatibilidade e aderência entre o produto e o elemento a ser protegido. Ressaltam ainda sobre a escolha do produto adequado no que se refere as causas de deterioração, defeitos, entre outros quais a estrutura está exposta.

2.2.2 Métodos de reabilitação das armaduras

2.2.2.1 Aumento do revestimento com argamassa ou concreto

Utilizando-se de argamassa e concreto, com ou sem aditivos ou aditivos, este método objetiva criar barreiras físicas na estrutura contra agentes agressivos, melhorando as propriedades da armadura, tanto em seu estado fresco como em seu estado endurecido (David, Benevenuti Filho, 2020; Moura, 2013; Soto, 2013).

David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001) também indicam a limpeza da superfície e a consideração de fatores como temperatura, umidade, antes da aplicação do produto para se obter o resultado desejado. Também é fundamental garantir a compatibilidade e aderência entre o produto e o elemento a ser protegido.

2.2.2.2 Extração eletroquímica de cloretos

Trata-se de um método empregado nos tratamentos eletroquímicos de realcalinização (RAE) e dessalinização, tratamentos utilizados no reparo de estruturas com problemas de corrosão por carbonatação e pela ação de íons cloreto. Sua eficácia depende das propriedades da matriz do concreto, da distribuição dos perfis de cloretos no pH e da intensidade da corrente transmitida (Gonçalves, Andrade, Castellote, 2003)

O tratamento é composto pela fixação de uma malha externa envolta por um eletrólito na superfície da região a ser tratada e aplicação de corrente contínua ao sistema, elevando o pH nas regiões adjacentes a armadura e restaurando o filme passivo responsável por sua proteção. A realização do tratamento envolve a aplicação de titânio ativado ou malha de aço carbono na superfície da estrutura. Esta malha será consumida pela corrosão durante o tratamento e não será coberta com material selante. O eletrólito utilizado é água potável normal ou solução alcalina impregnada em polpa de celulose. Essa solução é projetada na superfície da estrutura ou armazenada em tanques lacrados (Correa, Benevenuti Filho, 2022).

O final do tratamento deverá ser determinado pela análise regular dos depósitos retirados da área reabilitada. Os limites de concentração de cloretos permitidos devem estar de acordo com a NBR 12655, que varia conforme a classe de agressividade ambiental (David, Benevenuti Filho, 2020; Soto, 2013).

2.2.2.3 Substituição de concreto carbonatado ou contaminado

Através da aplicação de um ligante hidráulico com ou sem aditivos o concreto carbonatado ou contaminado é retirado, restaurando meios protetivos contra agentes agressivos (David, Benevenuti Filho, 2020).

Para seu início é feito preliminarmente uma análise da profundidade da contaminação do concreto usando um teste inovador de pH com uma solução de fenolftaleína e assim que determinada a extensão da área contaminada é iniciada a remoção do material contaminado ou com jateamento ou por escarificação (Andrade, 1992; Moura, 2013; David, Benevenuto Filho, 2020).

David Benevenuto Filho (2020) e Reis (2001) também indicam a limpeza da superfície e a consideração de fatores como temperatura, umidade, antes da aplicação do produto para se obter o resultado desejado. Além disso, é necessário prestar a devida atenção à homogeneidade e a cura do material e garantir a sua adequada solidificação.

2.2.2.4 Aplicação de potencial elétrico

O método consiste em aplicar proteção catódica às armaduras, fornecendo uma corrente que as leva permanentemente ao potencial de imunidade (Soto, 2013; Reis, 2001).

Existem duas formas. Uma forma de obter proteção catódica é revestir a estrutura com uma malha de titânio ativado coberta com um selante. É importante assegurar uma limpeza suficiente do substrato antes da aplicação e garantir a adesão entre camadas. Este método utiliza uma densidade de corrente de até 100 mA/m² (David, Benevenuto Filho, 2020).

Outra forma de aplicar um potencial a uma estrutura é através da utilização de ânodos de sacrifício, sistema que depende principalmente da homogeneidade do concreto. Os ânodos mais comuns são tampas ou peças de zinco e alumínio pulverizadas a quente, instaladas em furos em toda a estrutura e cobertas com selante conforme projeto (Reis, 2001).

Este sistema requer manutenção e monitoramento constantes e é continuamente aceito. Além disso, é importante manter os cuidados necessários com a estrutura, pois o potencial elétrico oferecido protege a estrutura dos processos de corrosão que ocorrem em sistemas de baterias eletroquímicas (David, Benevenuto Filho, 2020).

2.2.2.5 Revestimento com barreira

Esta metodologia envolve o revestimento do vergalhão com materiais como argamassa, *epoxi*, *primers*, entre outros, a fim de se criar uma barreira de isolamento que impeça a penetração da água com cloreto (Soto, 2013; Reis, 2001).

De acordo com David Benevenuto Filho (2020) e Reis (2001) o sistema começa com uma limpeza profunda da superfície onde será aplicado, seja ela armadura ou concreto. É importante remover qualquer material solto, em pó ou contaminante. É necessário garantir uma espessura suficiente ou uma quantidade suficiente de material para que a barreira seja eficaz. Também é necessário considerar fatores como a temperatura durante a aplicação, a umidade do substrato e do ambiente, bem como a compatibilidade entre o produto utilizado e a estrutura em questão.

2.2.2.6 Revestimento com inibidor

Metodologia realizada através da aplicação de produtos à base de nitritos, benzoatos e aminoálcoois que inibem a formação de áreas anódicas na armadura. Podendo ser aplicado

diretamente no vergalhão ou na superfície do concreto e migrar para áreas próximas ao vergalhão (David, Benevenuti Filho, 2020; Reis, 2001).

De acordo com David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001), o sistema começa com uma limpeza profunda da superfície onde será aplicado, seja ela armadura ou concreto. É importante remover qualquer material solto, em pó ou contaminante. É necessário garantir uma espessura suficiente ou uma quantidade suficiente de material para que a barreira seja eficaz. Também é necessário considerar fatores como a temperatura durante a aplicação, a umidade do substrato e do ambiente, bem como a compatibilidade entre o produto utilizado e a estrutura em questão.

2.2.2.7 Realcalinização do concreto carbonatado por difusão

O método envolve a elevação do pH do concreto carbonizado por meio da difusão de uma solução alcalina por ação capilar e pressão hidráulica, sem a necessidade de campos ou correntes elétricas. A eficácia deste método depende da absorção adequada da solução pelos poros capilares do concreto e da reação entre a solução alcalina e os elementos presentes na água do concreto (David, Benevenuti Filho, 2020).

De acordo com David Benevenuti Filho (2020) e Reis (2001) o sistema começa com uma limpeza profunda da superfície onde será aplicado, seja ela armadura ou concreto.

É importante remover qualquer material solto, em pó ou contaminante. É necessário garantir uma espessura suficiente ou uma quantidade suficiente de material para que a barreira seja eficaz. Antes de usar o produto, é necessário um teste de avanço de pH usando uma solução de fenolftaleína para analisar a estrutura quanto a contaminação. Uma vez determinado o nível de contaminação, pode-se definir o tipo de produto, a quantidade necessária e o tempo de aplicação adequado (Reis, 2001).

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Funcionalidades dos *Softwares*

Para a realização deste artigo, seguindo as etapas de indicadores para uma pesquisa científica optou-se por adquirir informações através do uso de pesquisas disponíveis em *sites*, livros, teses, artigos e outros documentos relevantes ao tema proposto. Para o levantamento de dados foram utilizadas bases de conteúdo como a Scielo e Google a fim de confirmar a veracidade das informações coletadas. Esta pesquisa justifica-se devido à relevância tanto para a sociedade como para profissionais do ramo da construção civil, a fim de trazer conhecimento e conceitos para com os profissionais e a sociedade.

A revisão bibliográfica e pesquisa foram realizadas entre o período de abril de 2023 a novembro de 2023, em sites como o *Scielo* e *Google* entre outros canais eletrônicos nacionais e internacionais, com período entre abril e novembro de 2023.

O *Sienge* é um *software* que foi desenvolvido considerando todas as particularidades que o segmento da construção civil exige. Através de sua utilização, é possível ter o controle geral das obras em andamento. A partir da disponibilidade de informações em tempo real, as decisões podem ser tomadas rapidamente, reduzindo os custos e aumentando a produtividade. O *Sienge* tem a capacidade

de integrar todas as áreas de pequenas, médias ou grandes construtoras/incorporadoras. O programa tem como objetivo padronizar processos, estabelecer rotinas, evitar retrabalhos e reduzir os custos na administração das construções e das empresas de construção civil. Com o sistema a empresa pode gerenciar os processos de forma totalmente integrada, otimizando o trabalho e agregando diferencial competitivo ao seu negócio (Sienge, 2023).

4 RESULTADOS

De acordo com breve revisão bibliográfica, verificou-se a existência de uma grande variedade de patologias e de técnicas disponíveis para recuperar e reforçar as estruturas de concreto armado (Santos, 2017; Silva *et al.*, 2022; Marcondes *et al.*, 2018; Plácido, 2014).

É de extrema importância conhecer os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado para se obter um correto diagnóstico. Esse conhecimento também é importante na concepção de novos edifícios (Santos, 2017).

Faz-se imprescindível o conhecimento do profissional em examinar os problemas que afetam o desempenho das estruturas e avaliar as consequências que tais problemas irão causar para então desenvolver um projeto adequado de intervenções (Santos, 2017; Silva *et al.*, 2022; Marcondes *et al.*, 2018).

Quanto as técnicas utilizadas, foram identificadas o uso de materiais como polímeros, compósitos, argamassas especiais, além de métodos como o reforço de elementos estruturais e a aplicação de revestimentos protetores.

De acordo com Silva *et al.* (2022) na última década, os Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras (CPRF) vem ganhando destaque por apresentarem uma boa performance estrutural. A utilização de CPRF externamente colados com a utilização de adesivo e poxídico tem sido reportada em vários países.

De acordo com Santos (2017), o uso da argamassa convencional com adição de polímeros é indicado para reparos superficiais em grandes áreas e reparos semiprofundos, e para recobrir as armaduras que já foram recuperadas, enquanto a argamassa seca polimérica é utilizada para reparos profundos. A execução é iniciada com o preparo da argamassa, feita com um traço cimento/ areia de 1:3 ou 1:2,5. O adesivo acrílico ou PVA deve ser adicionado à água de amassamento. No caso da argamassa seca, a quantidade da água adicionada deve ser apenas a suficiente para que seja possível fazer uma bola de argamassa com as mãos. Além de adição do polímero à água de amassamento, também é necessário fazer uma solução de polímero adesivo e água na proporção 1:1 que será utilizada na pintura da superfície a ser reparada. Quando esta solução se tornar uma película pegajosa, a argamassa é aplicada em camadas de até 1,0 cm de espessura e compactada de maneira vigorosa.



Figura 1 - Reparo de pilar com argamassa polimérica
Fonte: (SANTOS,2017) p. 54

A argamassa epoxídica é aquela que tem a resina epoxídica como aglomerante. Como este material possui alta resistência mecânica, ele é recomendado para recuperar elementos estruturais que sofrem exposição a agentes agressivos e reparos onde é necessário liberar a estrutura poucas horas após o serviço. É formada por três componentes: endurecedor, resina base e agregado. Pela sua cura rápida, ela é indicada para reparos superficiais e em pequenas áreas. A aplicação é feita em duas etapas. Inicialmente é feita a pintura da mistura do endurecedor e da resina à superfície e posteriormente, a argamassa é aplicada e pressionada para formar a união argamassa/superfície. A argamassa convencional com adesivo epóxi tem sua utilização recomendada para reparos superficiais em grandes áreas ou reparos semiprofundos. Nesta técnica, a resina é aplicada sobre a superfície base, que deve estar seca e devidamente preparada, ainda numa consistência no momento da aplicação da argamassa. A argamassa seca é indicada para realizar reparos profundos e sua execução é semelhante à da argamassa convencional, com seu traço variando em 1:2,5 ou 1:3 com a adição do adesivo epóxi (Santos, 2017).

De acordo com estudo de Marcondes *et al.* (2018), a utilização de fibra de carbono para reabilitação ou reforço de estruturas em concreto armado tem sido empregada continuamente na indústria de construção civil despertando interesses tanto no meio científico quanto no meio profissional. No estudo dos autores foi possível evidenciar o aumento da resistência da argamassa com o uso da fibra de carbono na reparação de aproximadamente 296%, comparando a argamassa submetida à temperatura de 350 graus quando em relação à argamassa reparada com a fibra de carbono.

De acordo com Plácido (2014), a fibra de carbono tem sido muito utilizada no Japão, Europa e América do Norte, pois, apresenta fácil e rápida aplicação, elevada resistência à tração, compressão,

e cisalhamento, e também por ter como característica baixo peso específico. De acordo com o autor, com a necessidade de reparos em patrimônios históricos na Europa, com a preocupação da durabilidade de pontes na América do Norte, e até mesmo de sismos ocasionados no Japão, surgiram métodos não convencionais de reparos e reforços em estruturas.

Em estudo de Gaspar (2021), o reforço estrutural utilizando polímeros reforçados com fibras (FRP) se torna uma excelente opção frente ao reforço convencional, sendo a fibra de carbono (CFRP) a mais indicada para o caso de alto nível de agressividade do meio, e a dificuldade de acesso. Isto se deve devido as suas propriedades mecânicas, que irão propiciar um acréscimo significativo principalmente de resistência à tração e ao cisalhamento, garantindo o aumento da vida de serviço e durabilidade da estrutura e da capacidade de carga de elementos estruturais, entre outros benefícios. Além, o CFRP em matrizes de resina epoxídica apresenta, para uma mesma espessura, um quarto do peso e resistência à tração oito a dez vezes maior, para o mesmo módulo de elasticidade, quando comparados com o aço.

Gaspar (2021) realizou um estudo de caso de uma edificação situada em região portuária, localizada no município de Natal/RN. No estudo foram encontradas manifestações patológicas em vigas de sustentação e em lajes da edificação (Figura 2; Figura 3; Figura 4; Figura 5).



Figura 2 - Viga de sustentação- Trinca Vertical
Fonte: Gaspar (2021) p. 42



Figura 3 - Viga de sustentação- Fissura Horizontal
Fonte: Gaspar (2021) p. 42

Em ambas as situações, tem-se o excesso de carga, que pode ter sido ocasionado devido ao carregamento intenso de veículos circulando sobre o cais diariamente, e agravada pelo enfraquecimento do concreto devido à exposição aos agentes agressivos do meio. Contudo, sabe-se que o ambiente em que a edificação está inserida propicia a aceleração das reações de oxidação da armadura, o que também pode ter ocasionado os surgimentos das fissuras. Com a armadura corroída, há a expansão e redução da seção do aço em determinados pontos, causando a fissuração (Gaspar, 2021).



Figura 4 - Lajes- Corrosão de Armadura
Fonte: Gaspar (2021) p. 47



Figura 5 - Lajes- Fissura e Corrosão de Armadura
Fonte: Gaspar (2021) p. 47

De acordo com a autora, o fato de a estrutura estar localizada em ambiente marítimo é bastante prejudicial à saúde dos elementos estruturais, podendo ocasionar uma série de problemas, dentre eles a corrosão da armadura.

A autora sugere que posterior a verificação da natureza das fissuras, é recomendável que se realize os seguintes procedimentos: Na circunstância de fissuras ativas, deve ser efetuada a vedação, cobrindo os bordos externos dela e, eventualmente, preenchendo-a com material elástico e não resistente (resina acrílica ou poliuretânica), a fim de impedir a degradação do concreto, isto é, a entrada de agentes agressores. Já nos casos de fissuras passivas, é necessário garantir que a peça retorne a funcionar monoliticamente, ou seja, deve-se fechar completamente a fissura, o que é feito através da injeção de um material aderente e resistente.

De acordo com Santos (2017), as fissuras passivas, também chamadas de mortas, são estáveis e não apresentam variações de abertura. Por sua vez, as fissuras ativas (ou vivas) apresentam movimento e têm seu agente causador atuante.

No que se refere aos materiais utilizados no preenchimento de fissuras passivas, as resinas epoxídicas e os grautes são soluções bastante eficazes devido às suas propriedades mecânicas. Eles não sofrem com a ação da retração, tem baixa viscosidade, alta capacidade resistente e aderente, e apresentam um excelente desempenho com a presença de agentes agressivos, que é caso do estudo em questão. Além disso, eles endurecem muito rápido, garantindo uma boa resistência em pouco tempo de aplicação, o que é extremamente benéfico para a situação do cais em análise, pois os reparos realizados precisam secar e endurecer rapidamente, devido a variação do mar.

Além do preenchimento das aberturas, é necessário reforçar os elementos para que as peças continuem trabalhando de forma plena, sem risco de colapso da estrutura, e de forma a evitar o reaparecimento e o surgimento de novas trincas.

No que concerne à recomposição do concreto, sabe-se que um dos fatores que facilitam a entrada de agentes deterioradores é a porosidade do concreto, logo, é de extrema importância que a relação água/cimento do novo concreto que irá cobrir a armadura novamente esteja dentro de certos limites de aceitabilidade, agregando menor permeabilidade à estrutura. Outra exigência importante é o cobrimento, que deverá ser realizado com a espessura indicada pela NBR 6118 (2014), para o caso do estudo em questão (classe de agressividade ambiental IV), é de 50 milímetros para pilares, vigas e estacas, e 45 milímetros para laje, como visto anteriormente. É fundamental que essa espessura seja atingida para garantir que a armadura seja protegida, e não tenham reincidência nos casos de corrosão. Uma das formas de aplicação do concreto é por projeção, que tem como principal característica a compacidade aderente e a compactação automática, realizada simultaneamente à aplicação, se tornando uma boa opção para locais de difícil acesso. Outra maneira é por meio do concreto auto adensável, nesse caso, é necessário a incorporação de aditivos plastificantes, já que a relação água/cimento é baixa (por questões de porosidade), e precisa garantir uma boa trabalhabilidade. Por fim, a proteção da superfície de concreto, que tem como finalidade proteger todo o elemento estrutural criando uma camada isolante para que as substâncias que promovem a corrosão das barras de aço (água, íons cloreto, oxigênio e dióxido de carbono) não penetrem. Os materiais que devem ser usados para esta finalidade incluem revestimentos orgânicos (epóxi, acrílico, poliuretano, vinil, revestimentos betuminosos e betume), concreto de alta densidade, argamassa de polímero de cimento Portland e até materiais cerâmicos. A durabilidade do material que será escolhido para revestir o concreto deve ser um fator considerado na escolha da técnica a ser utilizada. Os produtos menos custosos, como a tinta, apresentam um ciclo de vida reduzido, que implicará na reaplicação frequente. Outro fator importante é a presença obrigatória de selador, pois a sua presença assegura a impermeabilidade da tinta. Outro aspecto importante é a suscetibilidade do revestimento se deteriorar em meio ao ambiente marítimo.

5 CONCLUSÃO

A partir do objetivo proposto identificou-se que houve maior recorrência do uso do concreto armado, mediante a sua excelente resistência à água, sua facilidade de moldagem sua disponibilidade e baixo custo no mercado. Porém, diversos fatores fazem com que seu tempo de vida útil apresente falhas que por consequência comprometem sua função como, as exigências de curtos prazos, mão de obra desqualificada, utilização de materiais de má qualidade, falhas na concepção do projeto, erros de execução, má utilização dos fins de ocupação, falta de manutenção ou até mesmo o próprio processo natural de deterioração do concreto. Os Compostos Poliméricos Reforçados com Fibras (CPRF) vem ganhando destaque por apresentar uma boa performance estrutural, principalmente o de fibra de carbono (CFRP). Os materiais compósitos de CFRP apresentam algumas vantagens sobre os elementos tradicionais de reforço como facilidade de aplicação, baixa densidade, alta resistência à tração e propriedades anticorrosivas. Por fim, destaca-se a importância conhecer os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado para se obter um correto diagnóstico.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10**. Report on Pervious Concrete. ACI Committee 522, [S. l.]: ACI, 2010.
- 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.
- CORREA, G. A.; BENEVENUTTI FILHO, Y dos S. T. Realcalinização eletroquímica de estruturas de concreto armado carbonatadas: revisão bibliográfica. *In*: DUARTE, Armando Dias (Org). **Collection: Applied civil engineering**. São Paulo: Atena Editora, 2022. p. 119-139. Cap 10.
- DAVID, D. M.; BENEVENUTTI FILHO, R. D. **Princípios e métodos de reabilitação de estruturas de concreto armado**. 2020. (Monografia) Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás-UFG. Goiânia, 2020, 73p.
- FIGUEIREDO, E. J. P; MEIRA, G. R. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. [S. l.]: Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, ALCONPAT Internacional, 2013. (Boletín Técnico, 06).
- GASPAR, M. M. **Estudo de caso: Análise de patologias, recuperação e reparo em estrutura de concreto armado em ambiente marítimo**. 2021. 62f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de tecnologia, Engenharia Civil, Natal, 2021.
- GONÇALVES, A.; ANDRADE, C.; CASTELLOTE, M. Procedimientos de reparación y protección de armaduras. *In*: **Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón**. São Paulo: Paulo Helene e Fernanda Pereira, 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., p. 1-10, set. 2018. ISSN 2358-5420
- MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: Fundamentos, Diagnósticos e Prevenção**. João Pessoa: Editora IFPB, 2017.
- MONTEIRO, E.; SOUZA, R.; LOPES, P.; BATISTA, P.; MACEDO, J. V. Manifestações patológicas causadas pela umidade devido à falha ou ausência de impermeabilização: Estudo de caso. *In*: **Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas**, CONPAR. Recife, 2017.
- MOURA, M. **Reforço estrutural em estruturas de concreto armado**. 2013. 82f. Monografia (Curso de 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**. 2015. Dissertação (Programa de 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) – Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife, 2013.
- PLÁCIDO, C. E. **Análise do ganho de resistência em vigas de concreto armado submetidas à flexão reforçadas com manta de fibra de carbono**. 2014. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

POURBAIX, M. **Lições de Corrosão Eletroquímica**. 3. ed. Bruxelas: Cebelcor, 1987.

QUESADA, G. Procedimentos de reparo. *In*: **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. [S. l.: s. n.], 2003.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado** 2001. 114f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

SANTOS, F. P. S. L. dos. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2017. 79f. Projeto (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 2017.

SILVA, E. M. de A.; SANTOS, G. S.; OLIVEIRA, I. R. B. de; MAROTTA, L. I. M.; MELO, R. A. de; PEDROSO, V. A. . Métodos para restauração e reforço de estruturas de concreto armado. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], v. 8, n. 11, p. 2255–2286, 2022.

SOTO, R. C. **Reforço e recuperação de vigas de concreto armado**. 2013. 75f. Monografia (Curso Engenharia Civil) - Goiânia, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiania, 2013.

SOUSA, J. A. M. **Inspeção e Reabilitação de estruturas Segundo a NP EN1504**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2011.

SOUZA, V. C. M de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998. 262 p.

TECHNICAL COMMITTEE CEN/TC 104 EN1504-9. **Products and systems for the protection and repair of concrete structures**: Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity. Part 9: General Principles for the use of products and systems. Bruxelas: CEN/TC, 2008.