



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

Caio Henrique de Almeida Skaf Nacfur
MATRÍCULA: 21213217

**INTERVENÇÃO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE CONCRETO
ARMADO COM CORROSÃO DE ARMADURA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
NO PLANO PILOTO**

Brasília
2017

CAIO HENRIQUE DE ALMEIDA SKAF NACFUR

**INTERVENÇÃO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE CONCRETO
ARMADO COM CORROSÃO DE ARMADURA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
NO PLANO PILOTO**

Trabalho de Curso (TC)
apresentado como um dos requisitos
para a conclusão do curso de
Engenharia Civil do UniCEUB– Centro
Universitário de Brasília

Orientadora: Eng^a Civil Neusa M.
B. Mota, D.Sc.

Brasília
2017

CAIO HENRIQUE DE ALMEIDA SKAF NACFUR

**INTERVENÇÃO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DE CONCRETO
ARMADO COM CORROSÃO DE ARMADURA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL
NO PLANO PILOTO**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB– Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng^a Civil Neusa M. B. Mota, D.Sc.

Brasília, 2017.

Banca Examinadora

Eng^a.Civil: Neusa M. B. Mota, D.Sc.
Orientadora

Eng^o.Civil: Jocinez Nogueira Lima, D.Sc.
Professor Convidado

Eng^o.Civil: Jorge Antônio da Cunha Oliveira, D.Sc.
Professor Convidado

RESUMO

Das principais manifestações patológicas que afetam as estruturas em concreto armado, a corrosão de armadura é considerada uma das mais agressivas, pois pode comprometer a capacidade de resistência da estrutura de forma muito severa. Os principais agentes iniciadores da corrosão das armaduras são a carbonatação e o ingresso de íons agressivos, como os íons cloreto, no interior da estrutura. O objetivo do presente trabalho é apresentar um estudo de caso no qual foi executada uma intervenção em um edifício a fim de se recuperar parte de sua estrutura, já deteriorada pela corrosão. Para o entendimento do assunto, será feita uma revisão bibliográfica sobre a corrosão de armaduras e seus principais mecanismos de atuação, além dos seus agentes instigadores e suas formas de tratamento. Para o estudo de caso, foram levantadas todas as áreas nas quais a reparação seria necessária e acompanhou-se o processo executivo da recuperação estrutural, a fim de se fazer uma comparação com as principais técnicas de recuperação das estruturas comprometidas por tal manifestação. Os resultados foram satisfatórios e todas as regiões foram devidamente recuperadas, possibilitando certamente à estrutura um prolongamento de sua vida útil e aumentando a qualidade da edificação.

Palavras-chave: Corrosão, Armadura, Concreto Armado, Durabilidade, Vida Útil, Intervenção, Recuperação Estrutural.

ABSTRACT

Of the major pathological manifestation that affect structures in reinforced concrete, armor corrosion is considered one of the most aggressive, as it can compromise the structure's resistance capacity in a very severe way. The main agents that initiate the corrosion of the reinforcement are the carbonation and the entrance of aggressive ions, like the chloride ions, inside the structure. The objective of this work is to present a case study in which an intervention was carried out in a building in order to recover part of its structure, already deteriorated by corrosion. For the understanding of the subject, a bibliographic review will be made on the corrosion of reinforcement and its main mechanisms of action, as well as its instigating agents and their forms of treatment. For the case study, all areas in which repair was necessary were surveyed and the executive process of structural recovery was followed, in order to make a comparison with the main recovery techniques of the structures compromised by such pathology. The results were satisfactory and all the regions were duly recovered, making possible the structure an extension of its useful life and increasing the quality of the building.

Keywords: Corrosion, Armature, Armed Concrete, Durability, Useful Life, Intervention, Structural Recovery.

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. Objetivo geral.....	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Durabilidade e Vida Útil	14
3.1.1. Ataque Químico à Armadura.....	18
3.1.2. Ataque por Carbonatação	19
3.1.3. Ataque por Cloretos.....	22
3.2. Corrosão de Armadura.....	25
3.3. Recomendações e Tipos de Intervenção	29
4. ESTUDO DE CASO.....	31
4.1. Justificativas.....	33
4.2. Determinação das Áreas de Reparação	34
4.3. Especificação Técnica do Tipo de Intervenção Executado	41
4.3.1. Demarcação das regiões de reparo.....	41
4.3.2. Demolição superficial	41
4.3.3. Delimitação com disco de corte.....	42
4.3.4. Escarificação do concreto	42
4.3.5. Limpeza das armaduras	43
4.3.6. Substituição das armaduras.....	43
4.3.7. Limpeza final da superfície.....	44

4.3.8. Proteção do aço contra a corrosão.....	44
4.3.9. Recomposição dos pontos	45
5. CONCLUSÃO	47
6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre Durabilidade e Desempenho de uma estrutura (Souza e Ripper, 1998).....	Erro! Indicador não definido.	6
Figura 2 - Variação do Desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo (ISAIA, 2001).....		16
Figura 3 - Representação do mecanismo de Carbonatação induzido pela entrada do CO ₂ através de difusão.....		19
Figura 4 – Fatores intervenientes na carbonatação (Fonte: ISAIA, 2011)		20
Figura 5 - Região Superficial de uma Estrutura de Concreto com indicação das áreas carbonatadas.....	Erro! Indicador não definido.	1
Figura 6 - Esquema da variação do teor crítico de cloretos em função da qualidade do concreto e umidade do ambiente.....		23
Figura 7 - Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado.		26
Figura 8 - Relação da vida útil com o fenômeno da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado (HELENE, 1994).....		28
Figura 9 - Localização do edifício em Planta de Situação ..		31
Figura 10 - Infiltração na garagem do edifício	Erro! Indicador não definido.	3
Figura 11 - Planta baixa da Laje da garagem - Junta A-B com os pontos de reparação destacados em vermelho.	Erro! Indicador não definido.	4
Figura 12 – Planta baixa da Laje da garagem - Junta D-C com os pontos de reparação destacados em vermelho..	Erro! Indicador não definido.	4
Figura 13 - Vista Leste – Junta A com os pontos de reparação destacados em vermelho.....	Erro! Indicador não definido.	5
Figura 14 - Vista Norte – Junta D com os pontos de reparação destacados em vermelho.....	Erro! Indicador não definido.	5
Figura 15 - Vista Norte – Junta A com os pontos de reparação destacados em vermelho.....		35
Figura 16 - Vista Norte – Junta B com os pontos de reparação destacados em vermelho.....		36
Figura 17 - Vista Norte – Junta C com os pontos de reparação destacados em vermelho.....		36

Figura 18 - Vista Oeste – Junta D com os pontos de reparação destacados em vermelho.....	36
Figura 19 - Vista Sul – Junta A com os pontos de reparação destacados em vermelho..	37
Figura 20 - Vista Sul – Junta B com os pontos de reparação destacados em vermelho..	37
Figura 21 - Vista Sul – Junta C com os pontos de reparação destacados em vermelho.....	37
Figura 22 - Vista Sul – Junta D com os pontos de reparação destacados em vermelho..	38
Figura 23 - Demolição superficial do concreto..	41
Figura 24 - Delimitação da área de reparo com disco de corte..	42
Figura 25 – Remoção da corrosão com jateamento abrasivo.....	43
Figura 26 – Produto anticorrosivo aplicado na armadura de uma das lajes da garagem..	45
Figura 27 – Imagem da recomposição dos pontos de uma laje da garagem... ..	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Teor limite de cloreto para diferentes normas (Fonte: ISAIA, 2011).....	24
Tabela 2 - Cálculo da Área Total de Recuperação	38
Tabela 3 - Comprimento de transpasse recomendado pela NBR 6118/2007.....	44

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia e das técnicas utilizadas no ramo da construção civil, aumentou-se também a preocupação dos profissionais da área com a durabilidade e a vida útil das estruturas de concreto armado. Produto este que, apesar de ser relativamente novo, tem seu emprego crescente devido às suas vantagens inerentes, à sua constituição e ao modo de aplicação, apresentando propriedades adequadas e versatilidade de uso que o tornam imprescindível para a grande maioria das construções usuais (ISAIA, 2011).

A preocupação com a durabilidade e vida útil das edificações em concreto armado por parte dos engenheiros e arquitetos se dá, dentre vários outros fatores, principalmente devido ao fato de que ao iniciar sua utilização no mercado nacional, estes acreditavam equivocadamente que o produto manteria seu desempenho por período de tempo ilimitado e os projetavam apenas para resistir às solicitações mecânicas, podendo ser desprezada a ideia de se praticar manutenção nas edificações e ignorando suas funções estéticas, de segurança, sustentabilidade e durabilidade. Com o passar dos anos e o aumento da idade do uso do concreto, as edificações começaram a se degradar, comprometendo a vida útil para qual foram projetadas e derrubando a ilusão de que o produto desempenharia a mesma função (estética e estruturalmente falando) sem manutenção, por tempo indeterminado.

Conforme mencionado por HELENE (2001), tem crescido nos últimos anos a ocorrência de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, devido ao envelhecimento precoce das construções. Isso mostra que, até o final do século passado, as normas de projeto e execução de estruturas de concreto existentes ainda eram muito debilitadas com relação às suas exigências e recomendações. A qualidade das estruturas possui relação direta com a durabilidade da mesma, e para garanti-la deve se tomar medidas apropriadas desde a fase de concepção do projeto. Diante disso, nos últimos anos os especialistas mobilizaram-se em introduzir aos projetos das estruturas de concreto as definições e conceitos referentes à durabilidade e vida útil do material.

Devido a estes fatos, surgiu a necessidade, tanto por parte dos profissionais que projetam e executam as edificações, quanto dos usuários, de se obter intervenções

nas edificações a fim de executar manutenção preventiva e, em alguns casos, reparar eventuais manifestações patológicas já surgidas em função da referida degradação do concreto.

No presente trabalho, será feito um estudo de caso baseado em uma recuperação estrutural executada na garagem (subsolo) de um edifício do plano piloto, em Brasília. A capital brasileira completa 57 anos desde sua inauguração, e alguns edifícios sofrem com a falta de manutenção e a idade avançada, necessitando de reparações em sua estrutura que visam prorrogar sua vida útil.

No caso do edifício em estudo, além da falta de manutenção e do envelhecimento da estrutura, um fator que colaborou muito com o surgimento das manifestações patológicas foi um erro na concepção do projeto, que não previa a correta impermeabilização da laje de avanço do subsolo. Devido a isso, a água acumulada da chuva não tinha como escoar e acabava penetrando através da laje e daí escorrendo pra garagem. Com o decorrer do tempo isso fez com que aumentasse a umidade presente na estrutura da garagem, ocasionando o surgimento de algumas manifestações patológicas na edificação. O caso serve como exemplo para demonstrar o quão importante é o projeto em relação à vida útil e à durabilidade das construções.

A corrosão de armadura pode ser considerada a principal manifestação patológica em estruturas de concreto, devido aos elevados custos relativos à correção do problema e à perda do material deteriorado; ao consequente comprometimento estrutural da peça com armadura corroída, e à alta reincidência do fenômeno nos últimos anos. Por este motivo, o estudo terá ênfase nas reparações em áreas afetadas por este problema, e terá o intuito de demonstrar as diferentes técnicas utilizadas para combatê-la e evitá-la.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

A presente monografia tem como finalidade apresentar metodologia aplicada à recuperação estrutural de concreto armado com corrosão de armadura em um edifício residencial no plano piloto.

2.2. Objetivos específicos

- Apresentar uma revisão bibliográfica sobre a corrosão de armadura, os mecanismos que ocasionam sua ocorrência e os métodos mais utilizados em recuperações estruturais de concreto armado com incidência deste problema;
- Estabelecer uma relação entre a idade do edifício e o tempo necessário para a recuperação estrutural, partindo dos princípios de vida útil e durabilidade das estruturas de concreto armado;
- Apresentar especificação técnica da recuperação executada no edifício em estudo;
- Apresentar os resultados adquiridos com a intervenção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Durabilidade e Vida Útil

Segundo ISAIA (2011):

“Uma das principais causas de deteriorização prematura das estruturas, pelo menos até 1980, foi a diretriz de projetistas e executores em considerar a resistência mecânica como principal parâmetro de projeto, enquanto questões relacionadas com a durabilidade e técnicas de execução foram minimizadas ou subestimadas. Sabe-se que durabilidade e resistência mecânica são duas das propriedades mais importantes de uma construção em concreto, que devem ser consideradas em conjunto com as condições ambientais, visto que interagem entre si.”

Diante desta afirmação, percebe-se a insistente preocupação com a durabilidade na concepção dos projetos, além da sua relação com o conceito de resistência mecânica e a interação da estrutura com o ambiente ao qual está exposta: Ambos devem caminhar juntos para garantir uma vida útil prolongada à edificação.

O mesmo ISAIA (2011) cita que a ISO 6241:1984 *Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered* define durabilidade como a interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Para a NBR 6118 (ABNT, 2007), durabilidade consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

A Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais - NBR 15575 (ABNT, 2010) – define durabilidade como a característica do edifício, ou de parte de seus sistemas, de desempenhar suas funções ao longo do tempo e até um estado limite de utilização, sob especificadas condições de uso e manutenção. Já sobre o conceito de vida útil, o relaciona ao período de tempo no qual o edifício (ou seus sistemas) mantém o desempenho esperado, quando submetido às atividades de manutenção predefinidas em projeto.

De acordo com Souza e Ripper (1998), o conceito de vida útil de um material é o período de tempo pelo qual as suas propriedades permanecem acima dos limites

mínimos especificados. Para eles, a associação entre os conceitos de durabilidade e vida útil é inevitável. A partir do conhecimento das características de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais, entende-se por durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definindo então sua vida útil. (SOUZA; RIPPER, 1998)

Ainda sobre essa relação, pode-se entender que a vida útil é a quantificação da durabilidade que se supõe ser apenas uma qualidade da estrutura. A vida útil pode também significar o período de tempo pelo qual a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada. (DA SILVA, 2001)

Souza e Ripper (1998) explicam que a concepção de uma estrutura durável implica a adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção. Eles definem o conceito de desempenho como sendo o comportamento em serviço de cada produto, ao decorrer de sua vida útil, tendo sua medida relativa como resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.

As figuras 1 e 2 a seguir explicam a relação entre a durabilidade e o desempenho da estrutura, analisando desde a fase de projeto até a fase de execução e uso da mesma, e a conseqüente influência desta relação na vida útil da estrutura.

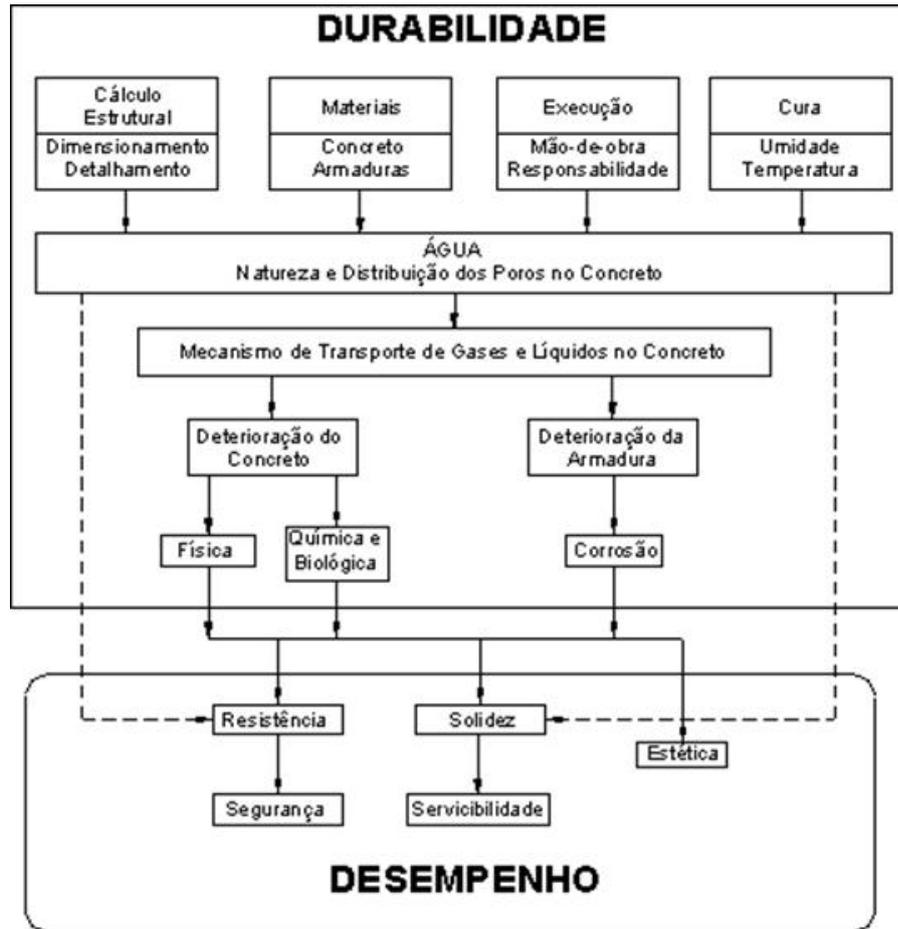


Figura 1 – Relação entre Durabilidade e Desempenho de uma estrutura (Souza e Ripper, 1998).

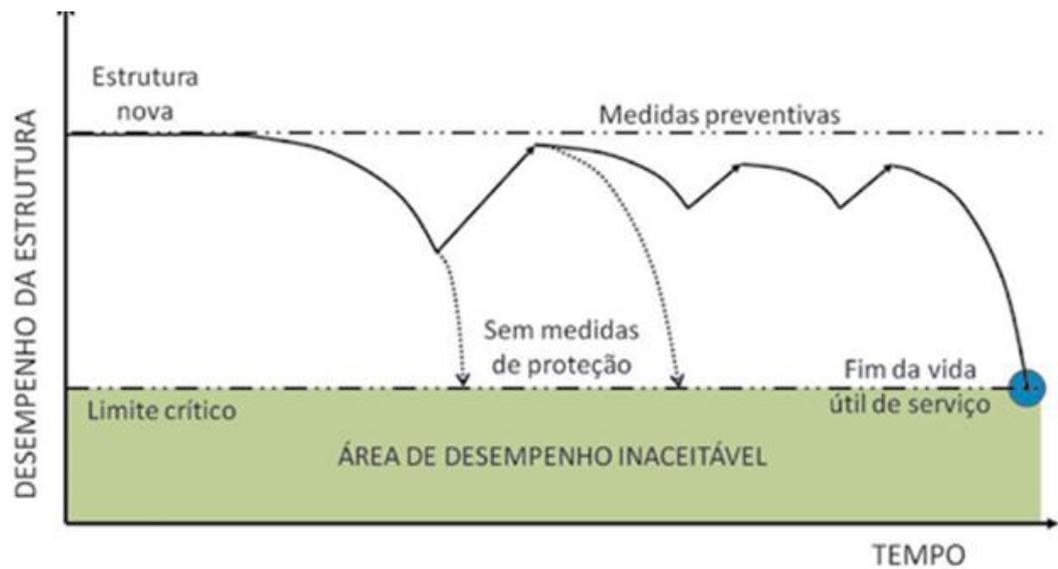


Figura 2 – Variação do Desempenho de uma estrutura de concreto armado ao longo do tempo (ISAIA, 2001).

Deste modo, a modelização do mecanismo de estudo da durabilidade precisa envolver a avaliação e compatibilização entre a agressão ambiental e a qualidade do concreto da estrutura, sendo este cenário definido à luz do tempo e do custo da estrutura. (SOUZA; RIPPER, 1998)

Mehta (2014) explica que uma vida útil longa é considerada sinônimo de durabilidade. Segundo ele, nenhum material é propriamente durável. Logo, a interação com o meio ambiente terá como consequência a alteração da microestrutura e das suas propriedades ao longo do tempo. Sendo assim, a vida útil de um material chega ao fim quando suas propriedades, sob determinadas condições de uso, tiverem se deteriorado de modo que tenha a continuação do seu uso comprometida por falta de segurança ou economia. (MEHTA, 2014).

John (2001) diz que a durabilidade não é uma característica exclusiva de apenas um material, mas combinações de materiais diversos que podem contribuir com a diminuição da degradação do componente.

Diante disso, não há garantia que a durabilidade de dado concreto testado em condições específicas terá a mesma durabilidade na estrutura, "in situ", sujeita às condições ambientais específicas (ISAIA, 2001).

Em suma, é evidente que existe uma grande relação entre a agressividade ambiental, durabilidade e qualidade das estruturas. A garantia da durabilidade contribui de forma considerável para garantir a qualidade das estruturas, uma vez que os parâmetros estão intimamente relacionados. (BRANDÃO, 1999)

Pode-se concluir também que a questão da vida útil das estruturas de concreto deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares. Deve também ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: concepção ou planejamento; projeto; fabricação de materiais e componentes; execução propriamente dita e, principalmente, durante a etapa de uso da estrutura. Etapa essa que terá grande importância em função das vistorias e manutenções que devem ocorrer nela, e que são indispensáveis para o prolongamento da vida útil. (ISAIA, 2011).

3.1.1. Ataque Químico à Armadura

Segundo Helene (2001), os principais agentes agressivos à armadura - Gás Carbônico (CO₂) e Cloreto (Cl⁻) - não atacam diretamente ao concreto. Em contrapartida, os agentes agressivos ao concreto, como os ácidos, os sulfatos e as reações álcali-agregado, atuam de forma duplamente agressiva, atacando a armadura em segundo plano. Isto ocorre em função das consequências de seus ataques ao concreto. Por exemplo, os ácidos contribuem para a redução do pH do concreto, o que pode resultar na despassivação da camada protetora da armadura, deixando essa sujeita à exposição dos agentes agressivos. Assim como os sulfatos e a reação álcali-agregado, que geram produtos expansivos, destruindo o concreto de cobertura e facilitando o ingresso do oxigênio até a armadura.

O enfoque da pesquisa é na correção de regiões afetadas por corrosão de armadura. Sendo assim, segue uma revisão sobre os mecanismos de origem química que atacam diretamente à película passivadora do aço, sendo estes, conseqüentemente, os principais agentes causadores da ocorrência de corrosão de armadura nas estruturas de concreto armado.

3.1.2. Ataque por Carbonatação

A Carbonatação nada mais é do que a reação do gás carbônico com o cimento hidratado. Segundo ISAIA (2011), o fenômeno consiste em transformar íons alcalinos em sais de carbonato através da ação ácida do dióxido de carbono presente no ar. Esta ação faz com que o alto pH da solução do poro na pasta de cimento venha a ser reduzido com o tempo, reduzindo também a alcalinidade da estrutura interna do concreto (Figura 3).

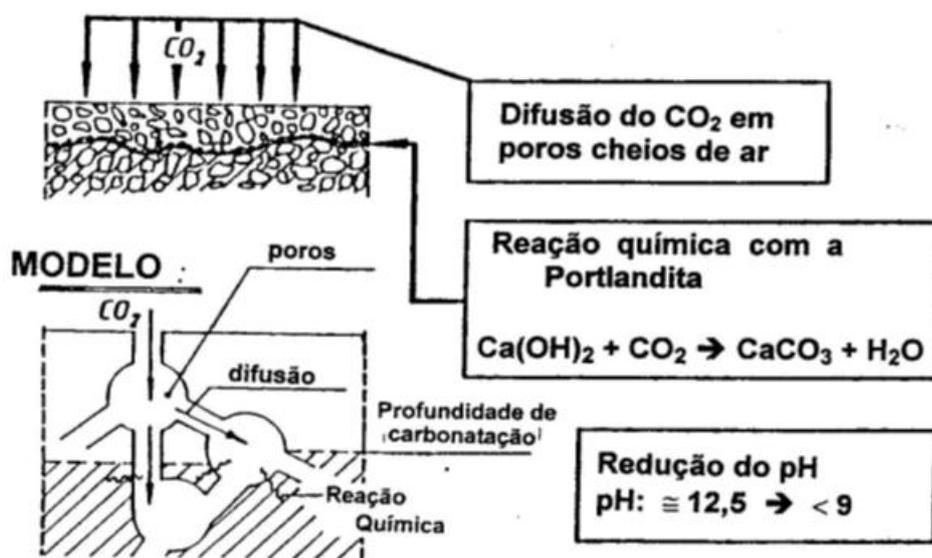


Figura 3 – Representação do mecanismo de Carbonatação induzido pela entrada do CO_2 através de difusão.

ISAIA (2011) diz que a carbonatação representa um dos fatores iniciadores mais relevantes da corrosão das armaduras. No entanto, felizmente, ocorre sob uma velocidade lenta, atenuando-se com o tempo. Isto ocorre devido à crescente hidratação do cimento e ao Carbonato de Cálcio ($CaCO_3$) resultante da reação de carbonatação, pois o mesmo colmata os poros superficiais, dificultando gradativamente a entrada de CO_2 no interior da estrutura.

Do mesmo modo, NEVILLE (2013) explica que, na presença de umidade, o CO_2 forma o ácido carbônico e esse por sua vez reage com o hidróxido de Cálcio ($Ca(OH)_2$), formando o Carbonato de Cálcio.

Segundo o autor, o processo ocorre da superfície para o interior, de forma extremamente lenta. A taxa real de carbonatação depende de fatores como a permeabilidade do concreto, seu teor de umidade e de CO_2 , e da umidade relativa do

ar. Como a permeabilidade do concreto depende da relação água/cimento e da eficácia da cura, concretos com elevada relação água/cimento e com um processo inadequado de cura serão mais suscetíveis à carbonatação, isto é, terão uma maior profundidade de carbonatação. (NEVILLE, 2013)

A carbonatação pode ter como resultado um ligeiro aumento da resistência e redução da permeabilidade, devido ao fato de que a água liberada pela decomposição de hidróxido de cálcio ajuda no processo de hidratação, e também em função do depósito do Carbonato de Cálcio nos vazios internos da pasta de cimento. Entretanto, a neutralização da pasta de cimento hidratada, que possui natureza alcalina, prejudica a proteção do aço contra a corrosão e, como consequência da entrada de oxigênio e umidade devido à perda desta proteção, ocorrerá a corrosão da armadura. (NEVILLE, 2013).

De acordo com ISAIA (2011), a salinização de cátions de sódio e potássio e a decomposição do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e das fases aluminato, também dão origem à carbonatação. No entanto, a carbonatação mais importante é a do hidróxido de cálcio, uma vez que este é o mais solúvel dos produtos de hidratação do cimento, além de ser o que possui maior velocidade de reação com o CO₂.

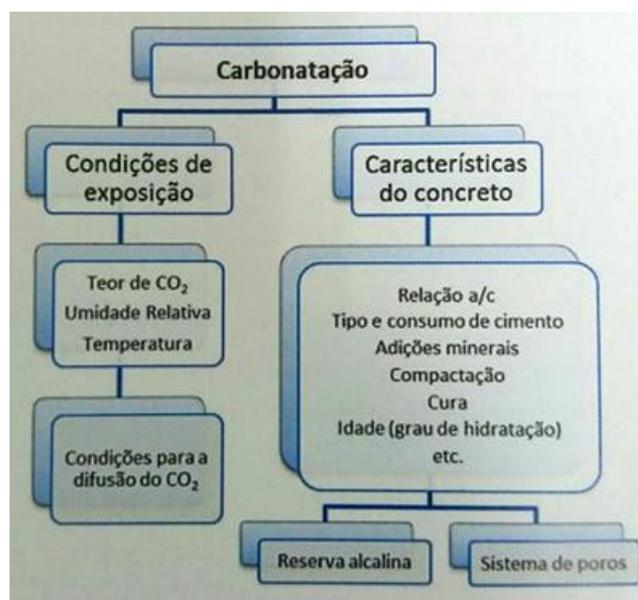


Figura 4 – Fatores intervenientes na carbonatação (Fonte: ISAIA, 2011)

Portanto, a carbonatação em si não causa a deterioração do concreto, mas tem severas consequências, como a retração por exemplo, que é a contração do concreto devido à carbonatação. Todavia, com relação à durabilidade, a verdadeira importância da carbonatação consiste no fato de ela reduzir o pH da pasta de cimento endurecida, removendo o filme de óxido protetor e despassivando a armadura, o que a deixa desprotegida contra a ocorrência de corrosão. (NEVILLE, 2015)

Existem diversos procedimentos para se medir a profundidade de carbonatação do concreto, sendo alguns métodos específicos de laboratório, e outros utilizados *in situ*. O procedimento mais conhecido é a aplicação de um indicador de pH constituído por uma solução à base de fenolftaleína. Ao se aspergir o produto, admite-se que o concreto não está carbonatado quando o mesmo adquirir uma coloração vermelha carmin, que indica que seu pH está em uma faixa entre 8 e 9,8, aproximadamente. Caso o concreto se mantenha incolor na região onde a solução foi aplicada, assume-se que o concreto está carbonatado. (ISAIA, 2011)

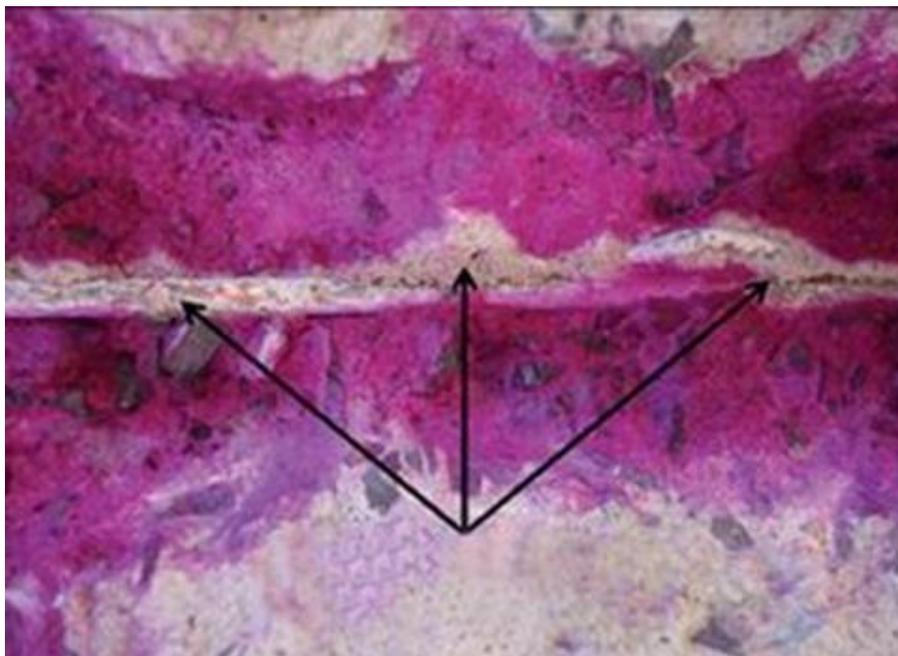


Figura 5 – Região Superficial de uma Estrutura de Concreto com indicação das áreas carbonatadas.

3.1.3. Ataque por Cloretos

A iniciação da corrosão de armaduras através de íons cloretos é considerada uma das formas mais agressivas de deterioração em estruturas de concreto armado e possui grande importância especialmente no Brasil, em decorrência da localização de várias cidades nas regiões litorâneas.

A camada passivadora do aço, que é constituída basicamente de Maguemita ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) e é formada logo após o início da hidratação do cimento, possui a função de manter a armadura intacta. Ao penetrarem na estrutura, os íons cloreto destroem este filme de óxido, deixando a armadura sujeita a sofrer corrosão, desde que haja presença de água e oxigênio. (NEVILLE, 2015)

Segundo ISAIA (2011), existem diferentes maneiras dos íons cloreto ingressarem ao interior da estrutura de concreto. Dentre elas, estão o uso de aditivos como os aceleradores de pega, as impurezas provenientes dos agregados e da água de amassamento, a atmosfera marinha (maresia), a água do mar, o uso de sais de degelo, e os processos industriais como o branqueamento da celulose e papel.

Ele explica ainda que os íons cloreto podem se instalar na estrutura de concreto de três diferentes formas:

- Quimicamente, combinados com as fases alumino-ferríticas para formar os cloroaluminatos;
- Fisicamente, adsorvidos na superfície dos poros capilares; e
- Livres na solução dos poros do concreto.

Uma determinada quantia de íons cloreto pode ser tolerada sem risco de corrosão, porém existe um limite de concentração para que a camada passivante de óxidos não seja rompida, evitando a corrosão da armadura. Não há um valor fixo para este limite, mas algumas normas de outros países determinam valores orientativos. (ISAIA, 2011)

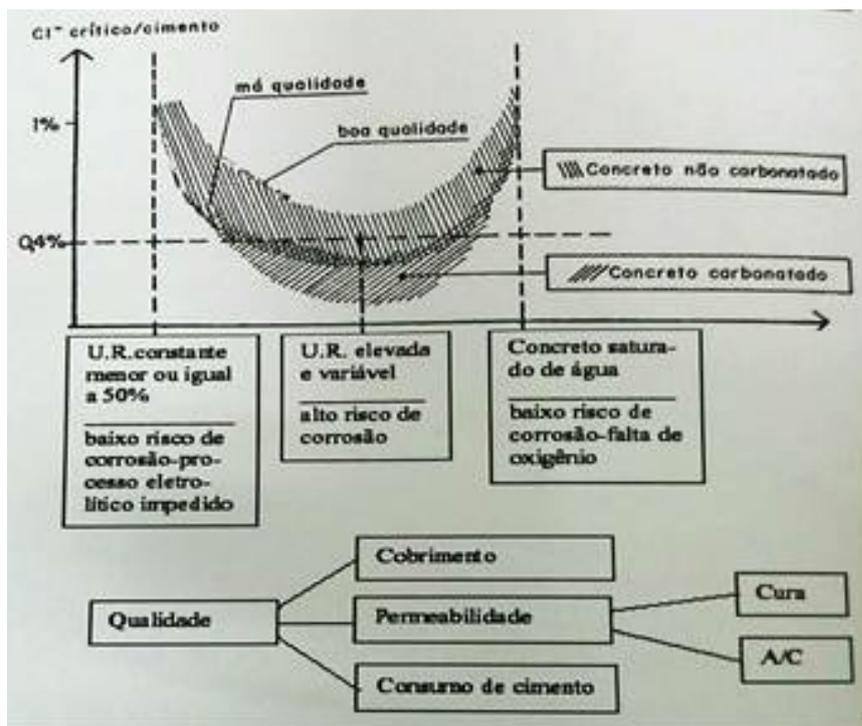


Figura 6 – Esquema da variação do teor crítico de cloretos em função da qualidade do concreto e umidade do ambiente.

De acordo com ISAIA (2011), o *Building Research Establishment* (1982) considera um valor máximo de 0,4% de cloretos por massa de cimento para um nível baixo de risco de corrosão, um valor entre 0,4% e 1% de cloretos para um nível intermediário e considera um alto nível de risco as quantidades superiores a 1%. Já o ACI 222R (1985) estabelece 0,15% de cloretos em relação à massa de cimento como valor máximo permitido e a BCI-BS 8110 (1985) limita a 0,4% a quantidade de cloretos para estruturas de concreto armado. Diferentes pesquisadores determinam diferentes limites de cloreto a partir do qual a corrosão pode ser iniciada, e as normas também divergem sobre o assunto. A tabela 1 abaixo mostra alguns dos limites críticos de cloreto determinados por algumas normas.

NORMA	PAÍS	ANO	TEOR DE CLORETOS RECOMENDADO
NBR 6118 (ABNT)	Brasil	2007	Não se reporta ao teor de cloretos
ACI 318S-05	USA	2005	$\leq 0,15\%$ em relação à massa de cimento, em ambiente com cloretos.
			$\leq 0,3\%$ em relação à massa de cimento, em ambiente normal.
			$\leq 1\%$ em relação à massa de cimento, em ambiente seco.
			$\leq 0,06\%$ em relação à massa de cimento (concreto protendido).
CEB	Europa	1991	0,40% em relação à massa de cimento.
NP EN 206-1	Portugal	2007	
BS 8110:1	Inglaterra	1985	
JCSE-SP2	Japão	1986	$\leq 0,6 \text{ Kg/m}^3$ de concreto.
A NBR 6118 (ABNT, 2007) não se reporta ao teor de cloretos, mas enfatiza que não é permitido utilizar aditivos contendo cloretos em sua composição, tanto em estruturas de concreto armado, quanto em protendidas.			

Tabela 1 – Teor limite de cloreto para diferentes normas (Fonte: ISAIA, 2011)

ISAIA (2011) explica que o processo de penetração dos íons cloreto até que cheguem à armadura como cloretos livres depende de uma série de fatores, que influenciam na velocidade e profundidade destes íons. Dentre esses fatores estão a composição, o tipo e a quantidade de cimento; a relação a/c, o adensamento e a cura; o grau de saturação dos poros em relação à concentração de íons cloreto; o efeito específico do cátion que acompanha o íon cloreto; fissuras, profundidade de carbonatação (se houver), entre outros.

Por fim, assim como existem diversos métodos de medição da profundidade de carbonatação, também existem alguns modelos de ensaio que expressam a profundidade de alcance atingida pelos cloretos partindo da superfície do concreto. A análise quantitativa do teor de cloretos pode ser feita quimicamente, por análise de fluorescência via raios X, entre outros, e é medida em amostras de concreto retiradas de diferentes profundidades da estrutura. (ISAIA, 2011)

3.2. Corrosão de Armadura

Conforme mencionado ao longo deste trabalho, a corrosão de armadura é considerada pela maioria dos profissionais envolvidos com a construção civil uma das manifestações patológicas mais frequentes e críticas das estruturas de concreto armado.

Segundo CASCUDO (1997) entende-se por corrosão de um material a interação do mesmo com os elementos do ambiente no qual se encontra, podendo provocar a perda de algumas de suas propriedades características e essenciais, como sua resistência mecânica.

De acordo com GENTIL (2003), existem diversas formas de corrosão nas estruturas de concreto armado. A corrosão do concreto, por exemplo, é uma deterioração por ação química e pode ocorrer tanto na pasta de cimento endurecido como no agregado. Este processo acontece, em geral, devido à exposição da estrutura de concreto aos ácidos e bases fortes e se caracteriza pelo enfraquecimento da matriz em função de transformações cristalinas e o desenvolvimento de microfissuras.

Já no caso da corrosão de armadura o processo é chamado de ação eletroquímica, que é responsável por aproximadamente 40% da diminuição da vida útil nas estruturas de concreto armado e representa a principal causa de sua degradação antecipada. (GENTIL, 2003)

MEHTA (2014) explica que os potenciais eletroquímicos que geram as células de corrosão podem acontecer de duas formas:

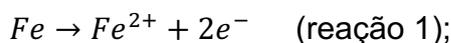
1. Quando há uma variação significativa na característica superficial do aço ou quando há a introdução de dois metais diferentes no concreto, como barras de aço e tubulações de alumínio.

2. Devido às diferenças na concentração de íons dissolvidos, como álcalis e cloretos, formando células nas proximidades da armadura.

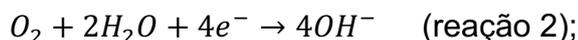
Estes processos resultam na transformação de um dos metais (ou em parte de um metal, quando tem apenas um tipo de material metálico) em anódico e outro em catódico, formando os produtos de corrosão.

ISAIA (2011) associa este processo a uma pilha eletroquímica de corrosão na qual há a presença dos seguintes fatores:

- Um ânodo, que é caracterizado pela passagem do material do estado metálico para o estado iônico, conforme representado pela reação de **oxidação** a seguir:



- Um cátodo, onde os elétrons gerados na reação anódica são consumidos, conforme representado na reação de **redução** a seguir:



- Uma **diferença de potencial** entre os dois, estando no ânodo o potencial mais eletronegativo;

- Uma **ligação metálica** entre os dois, que pode ser formada pelo mesmo metal;

- E uma **ligação externa** responsável pela condução dos íons através do eletrólito.

A Figura abaixo ilustra o processo eletroquímico mencionado acima.

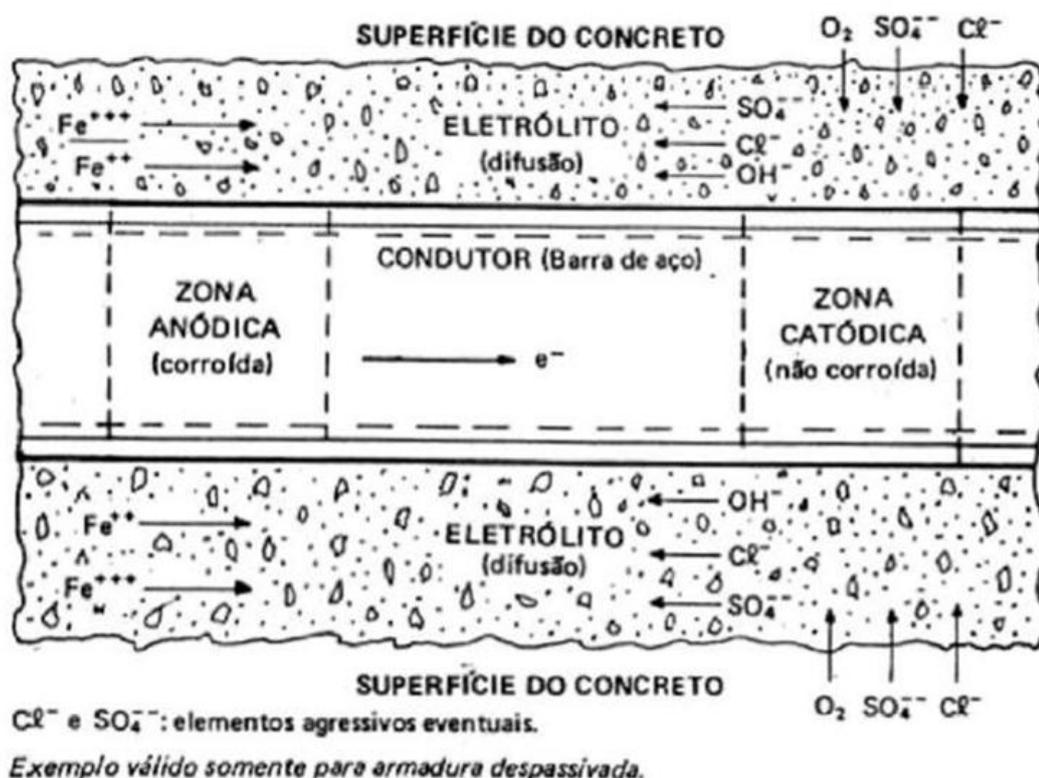


Figura 7 – Pilha eletroquímica de corrosão no concreto armado.

Segundo GENTIL (2003), os produtos da corrosão, denominados “ferrugem”, são formados através da neutralização dos íons de Ferro (Fe^{2+}) pelos íons Hidroxila (OH^-) obtidos na reação de redução, e podem ser óxidos ou hidróxidos de Ferro (FeO, Fe₃O₄, Fe₂O₃, etc). A migração dos íons Hidroxila até a região anódica ocorre por influência do campo elétrico. A ferrugem se instala junto à interface do aço/concreto, gerando tensões que resultam na fissuração e lascamento do concreto de cobertura.

BUASZCZYK (2009) explica que, geralmente, as estruturas de concreto expostas ao ambiente possuem em sua camada de cobertura certa quantidade de oxigênio difundido, suficiente para suprir as reações catódicas.

De acordo com BRANDÃO (1998), não ocorre corrosão significativa em concretos com umidade relativa do ar abaixo de 60%, pois a insuficiência de água impede a realização do processo eletrolítico. Por outro lado, em concretos saturados, onde a taxa de oxigênio é baixa em função de sua lenta difusão em meio aquoso, o processo corrosivo será retardado.

Os principais elementos presentes na água do poro são os íons cálcio (Ca^+), os íons Hidroxila, os íons metálicos alcalinos (Na^+ e K^+) e os íons Sulfato (SO_4^{2-}) que dão ao concreto uma elevada alcalinidade, com pH entre 12 e 14. Devido a esta condição de alta alcalinidade conferida pelo concreto, forma-se ao redor do aço uma película fina, aderente e contínua, constituída de óxidos. Diz-se então que o metal está em condição de passivação, protegido contra a corrosão. (BUASZCZYK, 2009)

Ainda segundo o mesmo autor, para que ocorra a passivação do aço é indispensável que a pasta hidratada de cimento possua elevada alcalinidade. A solubilidade do filme óxido é alterada conforme se diminui o pH da solução dos poros.

Com relação ao comprometimento da durabilidade e vida útil das estruturas de concreto armado, BRANDÃO (1998) explica que um dos principais efeitos da corrosão é a redução da secção transversal da barra corroída, que gera uma perda de sua capacidade de carga. Além desse fator, a autora cita também a ação de caráter expansivo das reações envolvidas no processo como um efeito bastante nocivo à estrutura, pois o produto da corrosão pode aumentar o volume do aço em até seis vezes o tamanho original, fazendo com que haja fissuração e deslocamento do concreto de cobertura.

Conforme visto, em função do concreto de cobertura e seu elevado pH, o aço possui um revestimento de óxidos que o mantém em estado de passivação e sua

manutenção exige a presença de oxigênio, uma alta alcalinidade e o bloqueio dos agentes agressivos. A ruptura desta camada passivante por agentes agressivos, como o gás carbônico e os íons cloretos, ocasionará a corrosão da armadura. (BUASZCZYK, 2009)

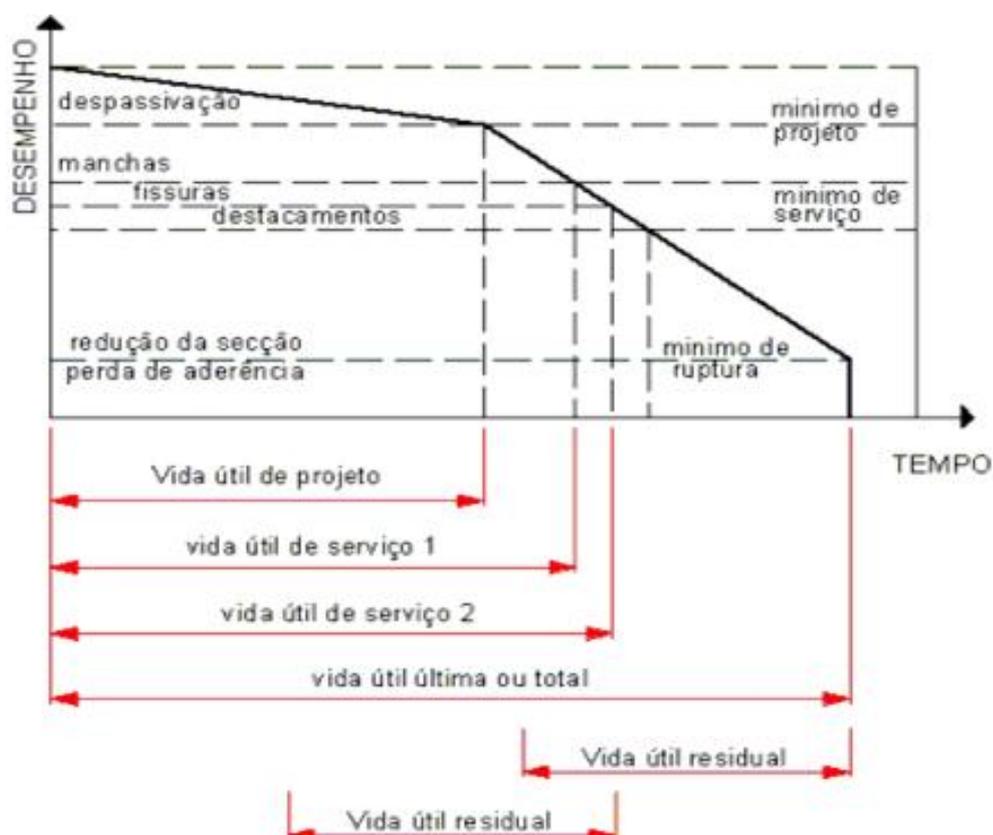


Figura 8 – Relação da vida útil com o fenômeno da corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado (HELENE, 1994)

3.3. Recomendações e Tipos de Intervenção

De acordo com BRANDÃO (1998), com intuito de prevenir os problemas relacionados com a corrosão de armadura, devem-se seguir as seguintes recomendações:

- Adotar cobrimentos com adequada espessura e qualidade do concreto;
- Reduzir a permeabilidade do concreto, com sua relação água/cimento igual ou inferior a 0,5;
- Evitar o uso de componentes contendo cloreto em sua composição na confecção do concreto, bem como alguns agregados oriundos de ambientes marinhos ou de solos ricos em cloreto;
- Utilizar cimentos com teor mínimo de 5% de Aluminato Tricálcico (C_3A), visto que este elemento fixa parte dos íons cloreto presentes nos poros do concreto.

Através das pesquisas realizadas acerca dos tipos de tratamento da corrosão de armadura nas estruturas de concreto armado, constatou-se que se utiliza um padrão no tratamento deste problema, inclusive seguido pela empresa que executou o serviço na intervenção em estudo, conforme será mostrado no item 4.3. Cabe ressaltar que não existe prescrição em norma específica no Brasil.

Deste modo, segundo LAPA (2008) o tratamento da armadura corroída deve seguir as seguintes etapas:

- a) Definir a área a ser tratada, já indicada no projeto;
- b) Remover o concreto contaminado ao redor da armadura com corrosão, utilizando jato d'água ou ferramentas manuais, a fim de não agravar ainda mais a armadura ou sua aderência ao concreto. A remoção deve deixar um espaço de, no mínimo, 2 cm entre a armadura e o concreto, e ser prolongada até atingir a ancoragem de barra íntegra;
- c) Fazer a limpeza das barras com corrosão, utilizando escova de aço para pequenas áreas e hidrojateamento ou jato de ar para as grandes áreas;
- d) Após limpar as barras, examiná-las cuidadosamente para avaliar se houve perda de sua capacidade resistente; Havendo perda superior a 10%, suplementar as barras;

e) Aplicar produtos neutralizadores de ferrugem nas barras e pintá-las com tinta especial anti-ferrugem, a fim de protegê-las contra uma nova possibilidade de corrosão.

f) Por fim, recompôr a seção com concreto convencional, moldado in-locu e aditivado, quando não houver necessidade de fôrmas. Já se houver a necessidade de fôrmas, recomenda-se a utilização de concreto projetado, aditivado e desempenado. Em ambos os casos, deve-se efetuar cura de no mínimo 7 (sete) dias; A resistência do novo concreto deve ser no máximo 20% superior à do concreto antigo.

4. ESTUDO DE CASO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhida uma edificação residencial, localizada no Plano Piloto, em Brasília, que encontrava-se na fase de realização de manutenção corretiva, referente a obra de impermeabilização e de recuperação estrutural. Neste caso, foi possível acompanhar o processo executivo e extrair o máximo de informações a respeito da metodologia de recuperação utilizada na intervenção. A figura 10 a seguir mostra a localização, em planta de situação, do edifício em estudo.



Figura 9 – Localização do edifício em Planta de Situação

O edifício escolhido para o estudo de caso possui aproximadamente 48 anos de idade, e está localizado na quadra 108 Norte de Brasília. É composto por 6 (seis) pavimentos com 4 (quatro) apartamentos em cada um, totalizando 24 apartamentos. Sua estrutura é de concreto armado e fechamento de alvenaria convencional.

Uma vez escolhida à obra de recuperação, iniciou-se o acompanhamento feito pelo discente, através de visitas semanais ao local da intervenção e reuniões com o engenheiro e o mestre de obras responsáveis pela execução dos serviços, a fim de

se obter explicações e anotações sobre o processo executivo, materiais e produtos utilizados na recuperação.

A recuperação teve foco na garagem da edificação, localizada no subsolo, pois a mesma se encontra em baixo de uma laje de avanço mal impermeabilizada, e a penetração da água oriunda dessa laje provocou a aceleração do processo corrosivo nos elementos estruturais da garagem, o que estava comprometendo a durabilidade da estrutura e colocando em risco a edificação como um todo.

Após colher as devidas informações, iniciou-se o processo de pesquisa sobre o assunto em geral para adquirir embasamento teórico e técnico no qual se fundamenta o trabalho, tendo assim conteúdo para desenvolver a revisão bibliográfica sobre o tema.

E, posteriormente, dissertação da presente monografia, expondo toda a fundamentação teórica pesquisada através de livros, artigos e aulas, o conhecimento e as técnicas adquiridas no acompanhamento da recuperação, os resultados obtidos e a conclusão do trabalho.

4.1. Justificativas

As principais justificativas para a realização da obra de impermeabilização e de recuperação estrutural são:

- O sistema de impermeabilização dos reservatórios superiores, lajes dos reservatórios superiores, poços de ventilação, lajes de avanço e cortinas já estavam vencidos e apresentando vazamentos;
- Havia relatos de infiltrações em diversos pontos da garagem;
- A estrutura de concreto armado das lajes, vigas, pilares e cortinas da garagem apresentavam destacamento de concreto e corrosão de armadura em estado avançado, provocados pela passagem de água e agentes poluentes;

Ante ao exposto, foi necessária a contratação de empresa de engenharia especializada para executar a obra de impermeabilização e recuperação estrutural do edifício, segundo a NBR 5674 (ABNT,1999). Para tanto, definiram-se as especificações básicas e necessárias, com o auxílio de parâmetros orçamentários e de tempo, com o intuito de manter a estabilidade e a garantia de bom uso das edificações, conforme as normas brasileiras.



Figura 10 – Infiltração na garagem do edifício

4.2. Determinação das Áreas de Reparação

O levantamento das áreas a serem recuperadas foi feito através do diagnóstico estrutural dado pelo Engenheiro Paulo Aristóteles, contratado para elaborar o laudo de patologias no final do ano de 2016. Os pontos com manifestações patológicas foram destacados em vermelho nas plantas, vistas, fachadas, cortes e demais desenhos da garagem, conforme mostrado nas figuras a seguir.

O critério para destaque das áreas foi: a verificação de pontos com “retoque” em argamassa, armaduras expostas, concreto deslocado, manchas de infiltração em pintura, regiões tipicamente afetadas e/ou com qualquer suspeita.



Figura 11 – Planta baixa da Laje da garagem - Junta A-B com os pontos de reparação destacados em vermelho.

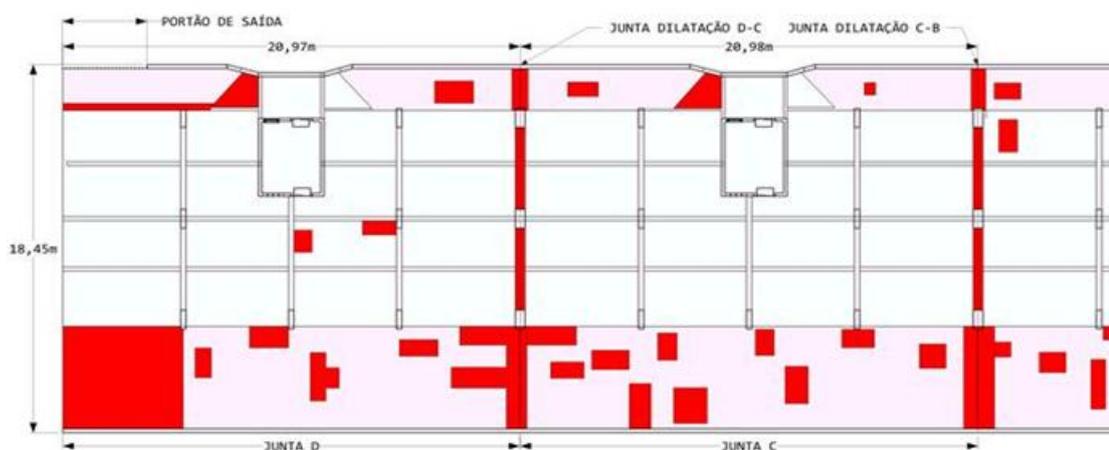


Figura 12 – Planta baixa da Laje da garagem - Junta D-C com os pontos de reparação destacados em vermelho.

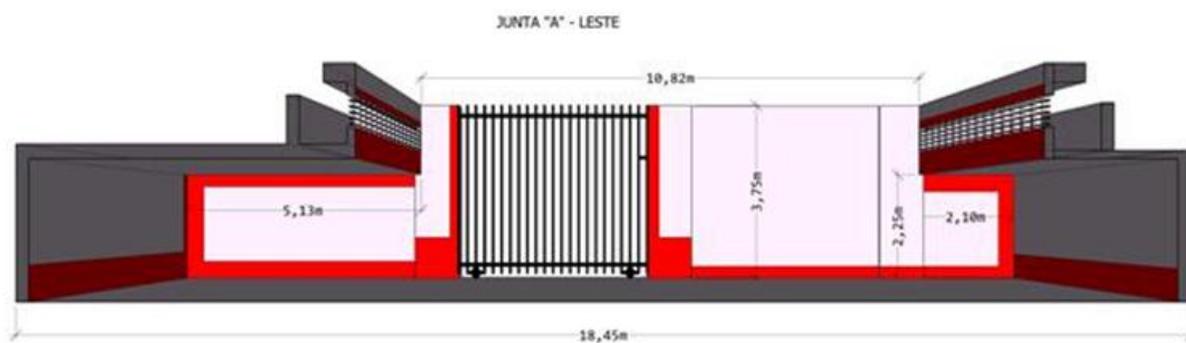


Figura 13 – Vista Leste – Junta A com os pontos de reparação destacados em vermelho.

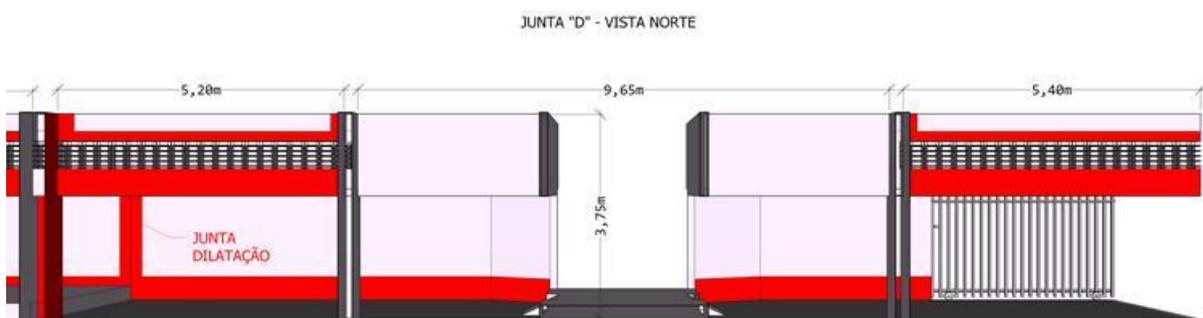


Figura 14 – Vista Norte – Junta D com os pontos de reparação destacados em vermelho.



Figura 15 – Vista Norte – Junta A com os pontos de reparação destacados em vermelho.

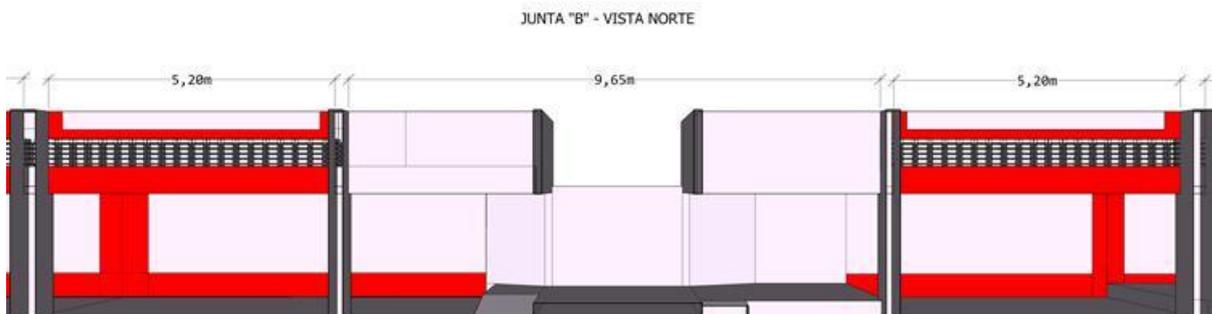


Figura 16 – Vista Norte – Junta B com os pontos de reparação destacados em vermelho.



Figura 17 – Vista Norte – Junta C com os pontos de reparação destacados em vermelho

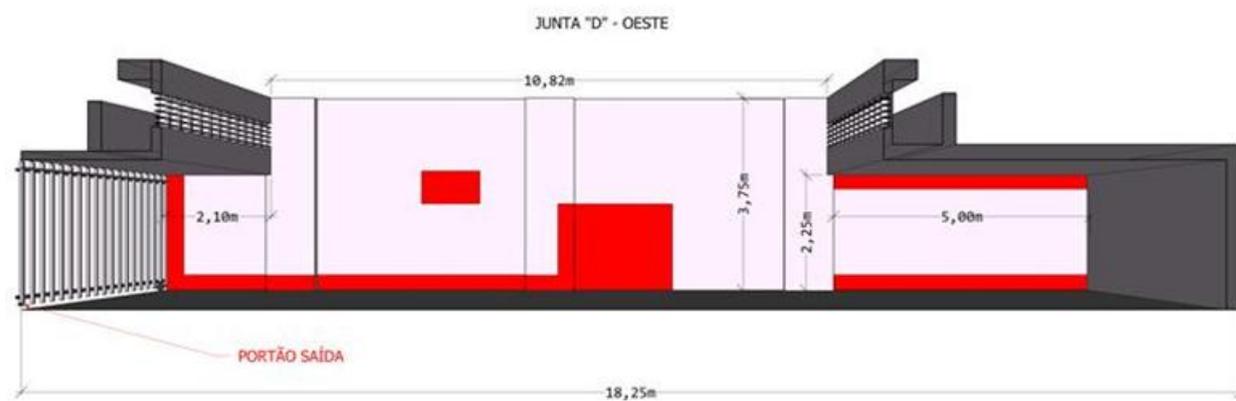


Figura 18 – Vista Oeste – Junta D com os pontos de reparação destacados em vermelho

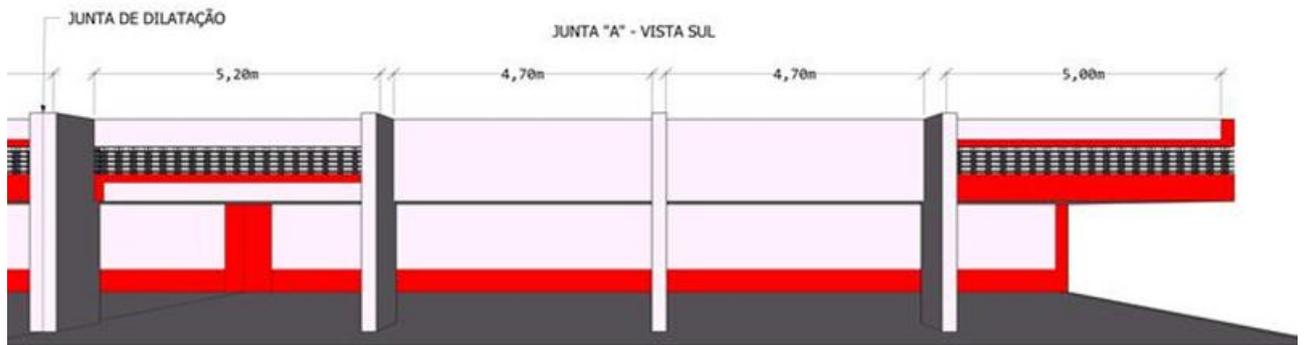


Figura 19 – Vista Sul – Junta A com os pontos de reparação destacados em vermelho

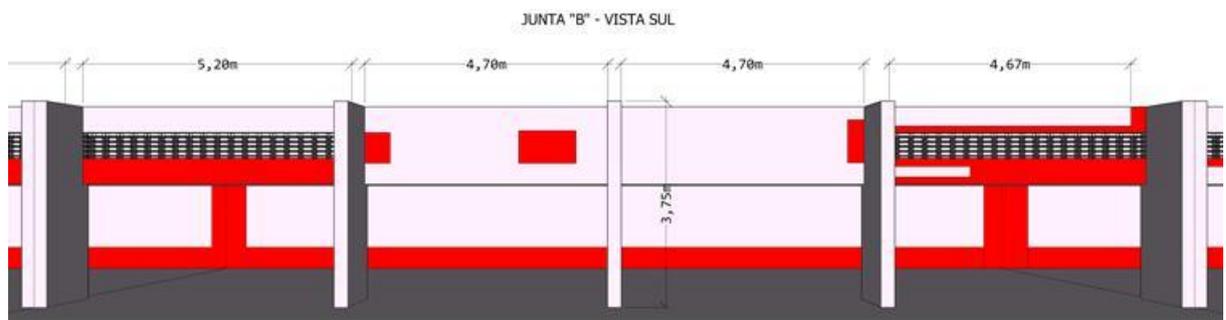


Figura 20 – Vista Sul – Junta B com os pontos de reparação destacados em vermelho

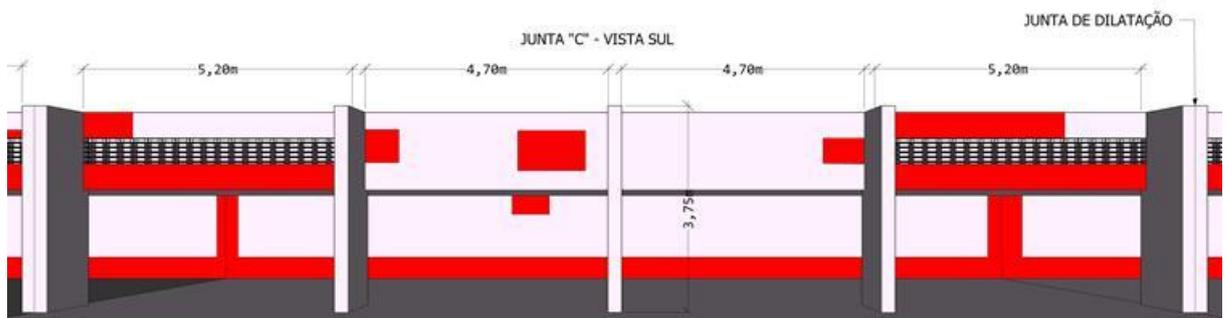


Figura 21 – Vista Sul – Junta C com os pontos de reparação destacados em vermelho

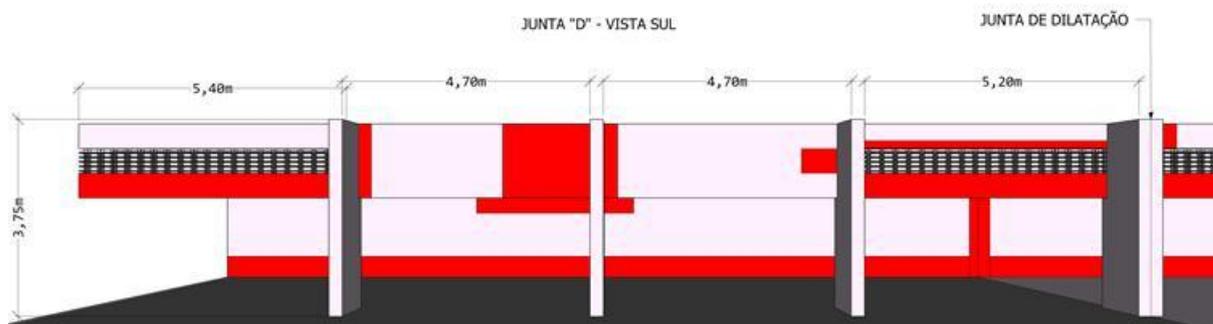


Figura 22 – Vista Sul – Junta D com os pontos de reparação destacados em vermelho

Para determinar a área com necessidade de tratamento, foi realizado o cálculo da área total de cada elemento estrutural da garagem e retirada uma porcentagem de cada elemento que teria necessidade de reparação, conforme indicado na Tabela 1 abaixo.

LOCAL	ÁREA TOTAL (M2)	ÁREA P/ TRATAMENTO	
		%	M2
PILARES	421,88	1%	4,22
LAJES + FUNDO VIGAS	1482,00	10%	148,20
LATERAL VIGAS	366,30	10%	36,63
CORTINAS	633,75	25%	158,44
POÇO VENTILAÇÃO	306,60	30%	91,98
CONTORNO JUNTA DILATAÇÃO (L = 40 cm)	48,54	70%	33,98
TOTAL	3259,07	15%	473,44

Tabela 2 – Cálculo da Área Total de Recuperação

O memorial de cálculo foi realizado da seguinte maneira:

1. Pilares

Dimensões Médias:

L= 0,25

C= 1,0

H= 3,75

A= 9,375 M²

Quantidade: 46

Área total de pilares = 45 * 9,375 = **421,875M²**

2. Área de cortinas + (parede poço de ventilação – grade)

H Médio = 3,25

Comprimento:

Norte= 84M

Sul= 80M

Oeste= 18M

Leste= 13M

Área total cortinas = (18+13+80+84) * 2,25 = **633,75M²**

3. Lajes + fundo vigas

L= 18,2

C= 84,0

Área = 1.528,8M²

Desconto caixa elevador

L= 3,0

C= 3,9

Quantidade = 4

Área = 11,7 * 4 = 46,8

Área total de laje = 1.528,8 – 46,8 = **1.482M²**

4. Poço de ventilação

Fundo: 0,75M

Base e topo do gradil: 0,4M

Parede externa: 0,95M

PAREDE INTERNA: 1,15M

Fundo laje avanço sobre o poço: 0,4M

Comprimento: 84/2 = 42M

Quantidade: 2

Área total do poço de ventilação = (0,75+0,4+0,95+1,15+0,4)*42*2= **306,6M²**

5. Lateral das vigas

V1

L= 0,2

H= 0,4

C= 84

Quantidade 3

 $\text{Área v1} = (0,4 \cdot 2) \cdot 84 \cdot 3 = 201,6\text{M}^2$

V2

L= 0,2

H= 0,5

C= 9,15

Quantidade= 18

 $\text{Área v2} = (0,5 \cdot 2) \cdot 9,15 \cdot 18 = 164,7\text{M}^2$ $\text{Área total vigas} = V1 + V2 = 201,6 + 164,7 = \mathbf{366,3\text{M}^2}$ **6. Junta de dilatação**

Comprimento horizontal (piso e laje): 18,45

Vertical (pilares): 3,25

Vertical (cortinas): 2,25

Quantidade: 3

 $\text{Comprimento total junta dilatação: } (18,45 + 3,25 \cdot 4 + 2,25 \cdot 4) \cdot 3 =$
 $(18,45 + 13 + 9) \cdot 3 = \mathbf{121,35\text{M}}$

4.3. Especificação Técnica do Tipo de Intervenção Executado

4.3.1. Demarcação das regiões de reparo

Faz-se importante realizar teste à percussão, com martelo geólogo (ponta viva) nas adjacências das áreas indicadas nos desenhos de mapeamento de anomalias, para identificar “áreas nas quais o concreto pode conter falhas ou vazios não identificáveis visualmente” e delimitar as reais regiões a serem tratadas. Toda superfície que apresentar som cavo quando da auscultação percussiva deve ser demarcada.

Assim sendo, com lápis estaca circunscrever as regiões que receberão os tratamentos específicos de maneira a formar figuras geométricas regulares, evitando o excesso de arestas.

4.3.2. Demolição superficial

Utilizando marteletes pneumáticos leves (6 a 10 kg) retirar o concreto de cobertura das áreas demarcadas, até que seja possível visualizar as barras de aço e passar a mão por trás da armadura.

As regiões a serem tratadas devem compreender, além do trecho que apresenta corrosão, mais 5,0 a 10,0 cm de barra sã em cada extremidade das armaduras. Para isto a demolição deve compreender esta área, mesmo que exceda a região demarcada na etapa anterior. Neste caso, após a demolição, deve ser refeita a demarcação com lápis estaca, formando nova figura geométrica regular.



Figura 23 – Demolição superficial do concreto

4.3.3. Delimitação com disco de corte

Retirado o concreto, e definidas as áreas a receberem os tratamentos específicos, proceder a delimitação com máquina munida de serra circular com disco diamantado, próprio para concreto. A profundidade do corte deve ser superior a 5mm. Quando em uso, a máquina de corte deve ser mantida ortogonal à superfície e deve-se atentar para não danificar as armaduras



Figura 24 – Delimitação da área de reparo com disco de corte

4.3.4. Escarificação do concreto

A escarificação da região de reparo deve ser realizada com rebarbadores elétricos e ponteiros com a extremidade em forma de picador ou xis superposto em cruz, ou ainda ferramentas manuais, como ponteiros, talhadeiras e marretas leves (1kg) ou, nos casos de espessuras de remoção da ordem de 2 a 3 mm, com percussão de martelo de geólogo (ponta viva). Esta atividade tem por finalidade retirar todos os materiais soltos, segregados, além do concreto existente no entorno das armaduras, até que seja possível passar a mão por detrás das barras e também criar uma superfície ideal para a aderência do material de recomposição. Cabe ressaltar que não se deve danificar o corte do concreto executado anteriormente, para tanto se recomenda que nas bordas das áreas esta atividade seja efetuada com ferramentas manuais.

4.3.5. Limpeza das armaduras

Todas as barras devem ser tratadas de maneira a retirar os produtos de corrosão, com auxílio de jateamento abrasivo com escória de cobre ou granalha de ferro, realizado com sistema pneumático e filtros, acompanhado de rodízios magnéticos que permitem a coleta do pó.

Ao final do jateamento, deve ser feita criteriosa inspeção visual para avaliar possíveis pontos que não se apresentam totalmente livres de carepas ou ainda com perda de seção transversal superior a 20% de seu diâmetro original. No primeiro caso, deve ser refeito o jateamento abrasivo. Já no último caso deverá ser providenciada a substituição da(s) barra(s).



Figura 25 – Remoção da corrosão com jateamento abrasivo

4.3.6. Substituição das armaduras

Uma vez constatada perda de seção por corrosão superior a 20% de seu diâmetro original ou seccionamento de barras, proceder a substituição das armaduras utilizando-se transpasse, solda ou luvas rosqueáveis. No caso de solda, observar prescrições da NBR 6118/2007 – “Projeto e execução de obras em concreto armado”, item 6.3.5.4 “Emendas com solda”. Para comprimento de transpasse, vide tabela 2 abaixo.

Comprimento de transpasse (L) recomendado quando não há informações de projeto			
φarmadura	Armadura comprimida	Armadura tracionada	
		50% de emendas na mesma seção	100% de emendas na mesma seção
> 12,5 mm	$L \geq 40\phi$	$L \geq 40\phi$	$L \geq 60\phi$
$\leq 12,5$ mm	$L \geq 30\phi$	$L \geq 30\phi$	$L \geq 45\phi$

Tabela 3: Comprimento de transpasse recomendado pela NBR 6118/2007.

Cada nova barra deve ter as mesmas características da existente quando são. A escolha da solução mais adequada deve ser feita no momento da recuperação, avaliando a situação, posição, entre outros fatores.

4.3.7. Limpeza final da superfície

As superfícies devem receber limpeza final através de jato de ar comprimido, visando eliminar poeiras, carepas, partículas soltas ou qualquer material que venha prejudicar a aderência do material de reparo. O compressor, precisa ser dotado de filtro de ar e óleo, para garantir que o ar não contenha impurezas e o bico de jato deve ser fino e bem direcionado.

4.3.8. Proteção do aço contra a corrosão

Após a preparação do aço estrutural, deve ser aplicado imediatamente o revestimento de proteção contra a corrosão de base mineral e monocomponente. Deve ser aplicado em duas demãos, com um tempo de secagem entre as camadas de aproximadamente 3 horas a 20°C. O sistema de proteção contra a corrosão deve possuir certificado de teste que ateste a eficácia do sistema como proteção contra a corrosão após ser sucessivamente submetido ao teste com água destilada de acordo com a DIN 50017 (10 ciclos), com água destilada com SO₂ de acordo com a DIN 50018 (10 ciclos) e teste de névoa salina de acordo com a DIN 50021 (5 dias).

- Produto: Primer Anticorrosivo ZN
- Proporção: 100 partes de ZN - Aprox. 19 partes de água (em peso)

- Consumo: 200 mL/m² por demão



Figura 26 – Produto anticorrosivo aplicado no aço de uma das lajes da garagem

4.3.9. Recomposição dos pontos

Nas áreas onde a profundidade da recuperação é inferior a 50 mm o material a ser utilizado é argamassa à base mineral, polimérica, própria para reparos estruturais. Deve ter propriedades tixotrópicas e apresentar resistência característica à compressão aos 28 dias de no mínimo 30 MPa.

Já para as áreas onde a profundidade do reparo for superior a 50 mm ou em arestas (cantos vivos), utilizar microconcreto à base de cimento Portland, com agregados naturais e aditivos, isento de cloretos e componentes metálicos. Deve ser autonivelante e apresentar resistência característica à compressão aos 28 dias de no mínimo 30 Mpa.

É necessária a execução de fôrmas de madeira para dar formato às estruturas de concreto garantindo o seu perfeito alinhamento e mantendo a geometria dos vários elementos de estrutura da obra, sejam estes os pilares, lajes, vigas etc.



Figura 27 - Imagem da recomposição dos pontos de uma laje da garagem.

5. CONCLUSÃO

Como visto, a corrosão de armadura é uma manifestação patológica extremamente agressiva às estruturas de concreto e deve-se ter muito cuidado com a proteção das mesmas, a fim da ocorrência deste problema não afetar diretamente sua vida útil e durabilidade.

Esta prevenção deve ser feita desde a fase de projeto, definindo os manuais de manutenção, uso e operação da estrutura e visando todas as recomendações previstas em normas; até a fase de execução, observando de forma cuidadosa principalmente a relação água/cimento, o teor de cimento da mistura, utilização de aditivos com uso de cloreto, qualidade no lançamento, adensamento e cura, fatores que influenciam na permeabilidade do concreto e que caso não sejam bem executados facilitam a entrada de agentes agressivos na estrutura e, conseqüentemente, ocasionam a corrosão das armaduras.

A forma de tratamento desta manifestação patológica é feita seguindo um padrão, no qual geralmente se delimita as áreas que precisam de recuperação; retira-se o concreto de cobertura; lavagem e secagem do ponto para retirar micropartículas de concreto; aplicação da proteção contra a corrosão ou substituição das armaduras; nova aplicação da camada de cobertura, sempre com uma resistência maior do que a antiga.

Na maioria das vezes, a recuperação da estrutura é feita de forma eficaz e soluciona os problemas estruturais da edificação, no entanto, podem gerar gastos abusivos e desnecessários se a estrutura for projetada e utilizada de forma correta, visando sempre a durabilidade e uma vida útil prolongada.

No estudo de caso em questão, onde foi estabelecida uma relação entre a idade do edifício e o tempo necessário para a recuperação de sua estrutura, foi possível perceber que a idade avançada da edificação 48 (quarenta e oito) anos intensificou a necessidade de recuperação estrutural, pois a mesma encontrava-se bastante degradada (corrosão de armadura) e com desempenho reduzido, sobretudo no subsolo. No entanto, como foi explicado, questões como a falta de manutenção e principalmente a falta da previsão de impermeabilização da garagem, contribuíram para a ocorrência da intervenção.

Sendo assim, pode-se concluir que a idade da edificação de forma isolada não serve como fator determinante para decidir se uma estrutura necessita ou não de recuperação, entretanto, quando aliada a outros fatores como a qualidade na execução da construção, o uso da edificação e manutenção preventiva, torna possível uma previsão, ainda que aproximada, da vida útil da edificação.

6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Para trabalhos futuros recomenda-se realizar o mesmo estudo de caso, porém buscando encontrar edificações com tamanho, idade e uso diferentes, a fim de estabelecer uma relação entre estes fatores e a ocorrência de corrosão de armadura na estrutura da edificação, e a partir disso determinar a necessidade de recuperação da estrutura.

Recomenda-se também realizar um estudo avançado sobre a carbonatação e o ataque por cloretos, que são as causas mais frequentes da corrosão na armadura.

Por fim, análise do concreto estrutural de edifícios com mais de 40 (quarenta) anos, no que se refere ao fck e ao cobrimento, em relação à vida útil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISAIA, Geraldo C. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1ª Edição. IBRACON. SÃO PAULO, 2011.

HELENE, P. *Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado*. 1993. Tese apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Professor Livre Docente junto ao Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CASTRO, Eliane K. *Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado*. 1994. Dissertação de Mestrado em Estruturas – Publicação E.DM-004A/94 – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1994.

HELENE, P. *Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto*. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2001.

SOUZA, Vicente C; RIPPER, Thomaz. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto*. 1ª Edição. Pini. SÃO PAULO, 1998.

ROQUE, J. A; MORENO JUNIOR, A. L. *Considerações sobre vida útil do concreto*. 1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO. SÃO CARLOS, 2011.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2ª Edição. IBRACON. SÃO PAULO, 2014.

JOHN, V. M. ET ALL; *Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira*. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos. 2001.

ISAIA, G. C. *Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto? Reflexões sobre o tema*. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos. Novembro, 2001.

HELENE, P. *Contribuição à normalização: A resistência sob carga mantida e a idade de estimativa da resistência característica; Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto armado*. São Paulo, 1994.

BRANDÃO, A. M. S; PINHEIRO, L. M. *Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto*. Dissertação de Mestrado em Estruturas. n.8. EESC. USP. São Carlos. 1998.

DA SILVA, T. J. *Como estimar a vida útil de estruturas projetadas com critérios que visam a durabilidade*. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2. Novembro. São José dos Campos, 2001.

NEVILLE, A. M. (2015). *Propriedades do Concreto - 5ª Edição*. Bookman Editora. 2015.

BUASZCZYK, Gisele. *Tratamentos superficiais contra a corrosão de armaduras em concreto armado*. Porto Alegre, 2009.

NEVILLE, A. M; BROOKS, J. J. (2013). *Tecnologia do concreto*. Bookman Editora. 2013.

HELENE, P; GERSCHEINSTEIN, M. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. Pini, 1992.

CASCUDO, Oswaldo. *O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas*. Pini, 1997.

GENTIL, Vicente. *Corrosão*. 2ª Edição. LTC. Rio de Janeiro, 2003.

LAPA, José Silva. *Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto*. Especialização em construção. UFMG. Belo Horizonte, 2008.

ABNT: NBR 15575: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABNT: NBR 6118: *Projeto de Estruturas de Concreto*. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT: NBR 5674: *Manutenção de Edificações – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.