



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII-PROFESSORA MARIA DA PENHA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FRANCISCO RAMON RODRIGUES DE SOUSA

**ESTUDO DAS CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO**

**ARARUNA
2018**

FRANCISCO RAMON RODRIGUES DE SOUSA

**ESTUDO DAS CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

.

Área de concentração: Patologia das Estruturas

Orientador: Prof. Dra. Ana Paula Araújo Almeida

**ARARUNA
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S725e Sousa, Francisco Ramon Rodrigues de.
Estudo das causas das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado [manuscrito] : estudo de caso / Francisco Ramon Rodrigues de Sousa. - 2018.
72 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2018.
"Orientação : Profa. Dra. Ana Paula Araújo Almeida, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Concreto. 2. Análise de estrutura. 3. Patologia das construções. I. Título

21. ed. CDD 620.137

FRANCISCO RAMON RODRIGUES DE SOUSA

**ESTUDO DAS CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Civil da
Universidade Estadual da Paraíba – Campus
VIII, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Patologia das
Estruturas

Aprovada em: 19/06/2018.

BANCA EXAMINADORA

Ana Paula Araújo Almeida
Prof.^a Dr.^a Ana Paula Araújo Almeida (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Albaniza Maria da Silva Lopes
Prof.^a Ma. Albaniza Maria da Silva Lopes
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Maria das Vitórias do Nascimento
Prof.^a Ma. Maria das Vitórias do Nascimento
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos Meus Pais e toda minha família, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que se mantém presente em toda minha vida, sendo meu porto seguro nas horas mais difíceis, me dando força e coragem para lutar pelos meus sonhos e conseguir os meus propósitos.

À meus Pais, Antônio e Rejane por serem os melhores exemplos de como os pais devem ser, permanecendo presente ao meu lado mesmo com a distância, sempre dando todo o carinho e amor necessários para eu enfrentar todas as dificuldades nessa longa caminhada, sempre acreditando em meu potencial e fazendo de tudo para que a concretização de meus sonhos seja possível.

À minha irmã, Radassa por ser a melhor irmã do mundo que me fez acreditar no meu sucesso e se mantendo presente em minha vida, nunca me deixou baixar a cabeça para qualquer dificuldade.

À um dos melhores presentes que Araruna e a UEPB me deu, Minha namorada e fiel companheira Brenda, que ao longo de até então pouco tempo dividiu momentos tão felizes comigo sempre me auxiliando e dando amparo e carinho necessário a conclusão dessa etapa tão importante em minha vida.

Em geral a toda minha família por terem sido os maiores encorajadores dessa minha caminhada acadêmica, sempre dispostos a me ajudar da melhor forma.

À professora e minha orientadora, Ana Paula por ter aceitado e se disponibilizado a participar de forma dedicada e comprometida com o desenvolvimento desse meu trabalho e também devido a sua presença ativa ao meu desenvolvimento como aluno me auxiliando desde os primeiros passos na faculdade.

Às professoras, Albaniza e Maria das Vitórias por terem aceitado fazer parte dessa banca de forma a contribuir com a minha evolução como estudante e futuro profissional e que ao longo de minha trajetória acadêmica se fizeram presentes com seus ensinamentos.

Em geral a todos os professores que tive a oportunidade de ser aluno durante essa minha trajetória acadêmica que além da contribuição com os ensinamentos para a vida profissional influenciaram também com o meu desenvolvimento como ser humano trazendo ensinamentos valiosos que levarei por toda a vida.

À todos os funcionários da UEPB que sempre demonstraram empenho total contribuindo da melhor forma para a qualidade do Campus e valorizando a classe estudantil.

À toda a minha família (colegas de turma) por vocês terem feito parte dessa concretização do meu sonho e por terem sido responsáveis por fazer tudo isso valer a pena, sempre me lembrarei de cada um de vocês com grande carinho e amor.

Agradecimento em especial aos meus colegas de turma e irmãos para vida Alex, André Vieira, Arquimedes, Felipe, José Roberto, Robério, Maick, João Carlos, Sebastião, Vinycius, Mary e Daniel por terem sido o alicerce fundamental nessa etapa de minha vida com a participação intensa na realização desse sonho.

RESUMO

O concreto atualmente é o material mais empregado na indústria da construção civil, quando devidamente executado e dosado proporciona excelentes condições de durabilidade as estruturas, porém fatores inerentes ao meio ambiente, materiais de composição fora de padrão aceitáveis e técnicas de execução ineficientes são algumas das causas que afetam diretamente o desempenho do concreto tornando as estruturas suscetíveis à degradação devido ao desenvolvimento de manifestações patológicas. Este estudo teve como objetivo desenvolver uma revisão bibliográfica das causas das principais manifestações patológicas nas estruturas de concreto. Com base nas informações levantadas realizou-se estudos de caso na Ponte do Rio Piaba próxima da cidade de Remígio-PB e no santuário de Nossa Senhora de Fátima localizada no Parque da Pedra da Boca identificando as manifestações patológicas existentes nessas obras. A metodologia empregada foi a realização de visita ao local e através da análise dos registros fotográficos das manifestações patológicas existentes em cada obra levantou-se de forma teórica as suas possíveis causas além de sugerir técnicas de reparo para esses danos. Conclui-se que a ausência de manutenção assim como o efeito das intempéries do ambiente nas obras de estudo foram as principais causas responsáveis que pelo desenvolvimento das manifestações encontradas e que possivelmente levarão a diminuição da vida útil das estruturas analisadas.

Palavras-Chave: Concreto, Manifestação patológica, Degradação.

ABSTRACT

Concrete is currently the most used material in the construction industry, when properly executed and dosed it provides excellent durability for structures, but inherent environmental factors, non-standard composite materials and inefficient execution techniques are some of the causes which directly affect the performance of the concrete making the structures susceptible to degradation due to the development of pathological manifestations. This study aimed to develop a literature review of the causes of the main pathological manifestations in concrete structures. Based on the information gathered, case studies were carried out on the Piaba River Bridge near the city of Remígio-PB and in the sanctuary of Nossa Senhora de Fátima located in Pedra da Boca Park identifying the pathological manifestations in these constructions. The methodology used was the visitation to the site and through the analysis of the photographic records of the existing pathological manifestations in each construction, the possible causes were raised theoretically, besides suggesting repair techniques for these damages. It was concluded that the lack of maintenance as well as the effect of environmental inclement weather in the constructions studied were the main causes responsible for the development of the manifestations encountered and that possibly lead to a decrease in the useful life of the analyzed structures.

Keywords: Concrete, Pathological Manifestation, Degradation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Comparação entre viga de concreto simples e concreto armado.....	15
Figura 2 - Poste quebrado pelo choque de veículos.	18
Figura 3- Flecha excessiva em laje devido a incêndio em sua superfície.	18
Figura 4- Desgaste por abrasão em piso de concreto.	20
Figura 5- Processo de deterioração por desgaste superficial pelo processo de erosão.....	21
Figura 6- Aspecto da laje de Piso da galeria de córrego da serra devido ao processo de abrasão.	21
Figura 7- Mudança de declividade que pode levar a cavitação.....	23
Figura 8- Vista dos danos no canal extravasor da Barragem Oroville	23
Figura 9- Fragmentação do concreto devido a cristalização nos poros.....	24
Figura 10- Configurações das fissuras geradas pelo assentamento Plástico.	25
Figura 11- Fissuras causadas pela retração plástica no concreto.	26
Figura 12- Fatores que influenciam na velocidade de Evaporação.	26
Figura 13- Fissuras devido à retração plástica em laje de concreto	27
Figura 14- Fissuras Típicas de retração térmica no concreto.	28
Figura 15- Fissuras causadas pela variação de temperatura.	30
Figura 16- Exposição da armadura em laje maciça devido um incêndio.....	31
Figura 17- Influência do teor de C_3A na resistência do concreto ao ataque de sulfatos.....	33
Figura 18- Pilar degradado pela ação de ataque de sulfatos.....	34
Figura 19- Ataque de ácido sulfúrico em pilar de concreto armado.	36
Figura 20- Ataque de cloretos em viga de concreto Armado.....	38
Figura 21- Esquema de fissuração desenvolvida no concreto devido a reação dos álcalis do cimento com a sílica presente em agregado.	39
Figura 22- Aspecto visual de pilar deteriorado pela reação álcali agregado.....	40
Figura 23- Eflorescência em Laje de Ponte.....	41
Figura 24- Processo Esquemático de como ocorre o processo da carbonatação.....	42
Figura 25- Avanço da carbonatação em direção a armadura.	43
Figura 26- Tipos de corrosão na armadura do concreto.	45
Figura 27- Esquema da corrosão em estrutura de concreto.....	46
Figura 28- Pilar com Armadura deteriorada pela corrosão.	47
Figura 29- Percentual das etapas que mais ocorrem erros na obra.....	48
Figura 30- Nicho de concretagem em pilar.	50

Figura 31- Ponte sobre o Rio Piaba.....	53
Figura 32- Ponte sobre o Rio Piaba em dias atuais.	53
Figura 33- Santuário da Pedra da Boca no Município de Araruna.....	54
Figura 34- Guarda-Corpo danificado devido a choque mecânicos.	55
Figura 35- Fissuras causadas pelo Recalque da Estrutura.....	56
Figura 36- Pavimento Flexível apresentando fissuras.	56
Figura 37- Pavimento degradado por Abrasão.....	57
Figura 38- Fissuras causadas por dilatação térmica.	57
Figura 39- Fissuras em Pilar por dilatação térmica.....	58
Figura 40- Eflorescência sob vista lateral da ponte.	58
Figura 41- Eflorescencia em Marquise do Santuário.....	59
Figura 42- Fissuras com distribuição em aspecto de mosaico característico do ataque por reação álcali-agregado.	60
Figura 43- Destacamento do concreto da superfície gerado por reação álcali-agregado.....	60
Figura 44- Corrosão ao longo de Viga baldrame do santuário.....	61
Figura 45- Corrosão em guarda-corpo da ponte.....	61
Figura 46- Corrosão ao longo do guarda corpo da ponte.....	63
Figura 47- Corrosão em passarela do santuário.....	64
Figura 48- Rachadura no encontro da ponte do Rio Piaba.....	65

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1- Manifestações patológicas de origem mecânica e suas possíveis soluções.	56
Quadro 2- Manifestações patológicas de origem física e suas possíveis soluções.	58
Quadro 3- Manifestações patológicas de origem química e suas possíveis soluções.	62
Quadro 4- Manifestações patológicas de origem eletroquímica e suas possíveis soluções. ...	64
Quadro 5- Manifestações patológicas de origem em falhas humanas e suas possíveis soluções	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 CONCEITUAÇÃO: CONCRETO ARMADO	14
3.2 VIDA ÚTIL X DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	15
3.3 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	16
3.4 CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	17
3.4.1 Causas Mecânicas	18
3.4.2 Causas Físicas	19
3.4.3 Causas Químicas	32
3.4.4 Causa Eletroquímica	44
3.4.5 Falhas Humanas	47
4 METODOLOGIA	52
4.1 LOCAL DE ESTUDO.....	52
4.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS.....	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1 CAUSAS MECÂNICAS	55
5.2 CAUSAS FÍSICAS	57
5.3 CAUSAS QUÍMICAS.....	59
5.4 CAUSA ELETROQUÍMICA.....	63
5.5 FALHAS HUMANAS	64
6 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

O homem desde a antiguidade busca de forma incessante a inovação e o aumento da qualidade nas atividades e produtos desenvolvidos e utilizados por eles. No ramo da construção civil não foi diferente, a busca por construções de estruturas que oferecessem maior segurança e que fosse adaptada as suas necessidades mostrou-se como ponto de partida para a inserção de materiais que aperfeiçoasse as técnicas construtivas e aliasse assim esses critérios de conforto e desenvolvimento.

Nessa perspectiva de desenvolvimentos de obras cada vez mais sofisticadas e de inovação das técnicas construtivas, surgiu então o concreto armado, que permitiu a introdução de melhorias e vantagens para muitos das deficiências encontradas em razão da utilização dos materiais usados anteriormente como, por exemplo, a madeira e a pedra. (BASTOS, 2014)

O concreto ainda que seja o principal material mais utilizado na construção civil ele ainda se depara com alguns problemas que afetam seu desempenho e qualidade. As inevitáveis falhas involuntárias dos trabalhadores, os casos de negligência na execução das estruturas, ou ainda o desgaste natural dos constituintes desse material e a má utilização da obra são alguns dos fatores que contribuem diretamente para o desenvolvimento de manifestações patológicas nas estruturas que irão comprometer a vida útil e desempenho da mesma causando desde incômodos aos seus usuários, como pequenas infiltrações e fissuras ou até mesmo o seu colapso total, expondo assim aos usuários a situações de risco. (SOUZA e RIPPER, 1998).

A partir da análise dos riscos oferecidos pela deterioração das estruturas de concreto armado em decorrência das manifestações patológicas, tornou-se necessário desenvolver-se cada vez mais um estudo mais aprofundado das origens, consequências e tipos de manifestação patológicas, essa nova área de estudo ficou conhecida genericamente como Patologia das estruturas. (SOUZA e RIPPER, 1998).

O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão bibliográfica das causas das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, com base no conhecimento levantado realizou-se um estudo de caso na Ponte do Rio Piaba, localizada próxima a cidade de Remígio-PB, e no Santuário de Nossa Senhora de Fátima, localizada no Parque Estadual Ecológico da Pedra da Boca no município de Araruna-PB, para assim fazer um análise das possíveis causas que levaram as manifestações encontradas nessas obras.

2 OBJETIVO

A presente pesquisa teve como objetivo fazer um levantamento bibliográfico sobre as causas das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado, e em posse das informações levantadas desenvolveu-se um estudo de caso na Ponte sobre o Rio Piaba, localizada na BR 104 próximo a cidade de Remígio-PB, e no santuário de Nossa Senhora de Fátima, localizada no Parque Estadual Ecológico da Pedra da Boca no Município de Araruna, identificando as manifestações patológicas presentes em cada obra e apontando as possíveis causas sugerindo ainda técnicas de reparo para esses danos encontrados.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisão bibliográfica das causas das manifestações patológicas;
- Realização de inspeção local nas obras de estudo;
- Identificação por meio dos registros fotográficos e com base na bibliografia existente as possíveis causas das manifestações patológicas nas estruturas;
- Sugerir técnicas recomendadas para a reabilitação das estruturas afetadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONCEITUAÇÃO: CONCRETO ARMADO

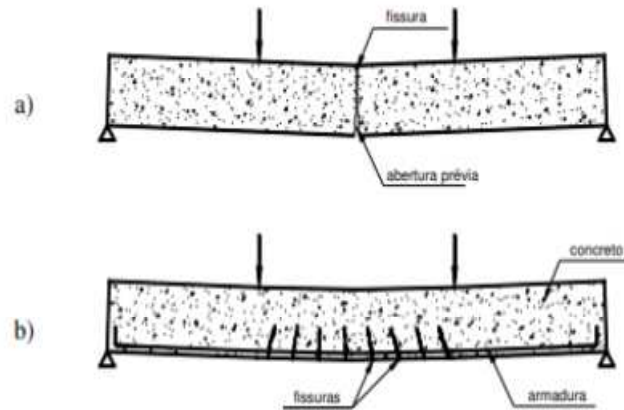
O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo e segundo produto mais consumido no planeta, ele é resultante da mistura de agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia), aglomerante (cimento Portland) e da água, podendo conter ainda aditivos, dos tipos retardadores ou aceleradores de pega e superplastificantes, além de adições minerais que melhoram algumas de suas propriedades tanto no estado fresco quanto no endurecido. (ARAUJO, 2010).

O concreto é obtido pela mistura cuidadosa e de maneira proporcionada entre os materiais que o constituem, a dosagem correta da quantidade de cada material presente na mistura é imprescindível para se atingir um concreto de boa qualidade e de desempenho esperado. (BASTOS, 2014)

De acordo com Araújo (2010), a associação do concreto com barras de aço em seu interior dá-se o nome de concreto armado, essa associação torna-se possível através da aderência entre esses dois materiais, ela é a responsável por fazer com que as deformações que ocorrem nas barras de aço sejam praticamente iguais as que ocorrem no concreto que a comporta. Como o concreto resiste bem às tensões de compressão, porém a sua resistência a tração é da ordem de 10% da sua resistência a compressão, as barras de aço são posicionadas de forma conveniente de modo que elas resistam aos esforços de tração quando o elemento estrutural seja solicitado. Além de conferir resistência a tração, as barras de aço também contribuem com acréscimo de resistência as tensões de compressão como ocorre por exemplo em pilares. (BASTOS, 2014)

A figura 1 mostra a diferença no comportamento de uma viga quando ela é solicitada por esforços de tração. Quando as tensões aplicadas variam de zero até a ruptura, a viga de concreto simples rompe-se de forma brusca uma vez atingida a resistência a tração do concreto (Figura 1a), já na viga de concreto armado (Figura 1b) aparece fissuras na região tracionada à medida que aumenta os esforços, com isso ela se rompe, porém de forma mais lenta com o aço resistindo a tração aplicada a estrutura.

Figura 1- Comparação entre viga de concreto simples e concreto armado.



Fonte: PAULO BASTOS (2014)

No Brasil a norma NBR 6118 (2014) fixa as diretrizes básicas de projeto de estruturas de concreto armado visando uma maior durabilidade e vida útil prolongada das estruturas.

As vantagens conferidas pela utilização do concreto armado impulsionou a inserção desse material no setor da construção civil de maneira rápida e brusca, porém essa mudança nesse setor não foi acompanhada de um desenvolvimento satisfatório no que se refere ao desenvolvimento de mão-de-obra qualificada e especializada para desempenhar toda a demanda crescente para a utilização de tal material.

De acordo com Albuquerque (2015), o concreto apresenta limitações quanto ao seu desempenho, seja uma baixa resistência a tração, ou retração por secagem, entre outros. Sabe-se que são muitas as causas de deterioração das estruturas de concreto armado: corrosão de armaduras, lixiviação, ataque por sulfatos, reação álcali-agregado, etc. Assim, as manifestações patológicas podem comprometer a durabilidade destas estruturas reduzindo, de forma significativa, sua vida útil de projeto.

3.2 VIDA ÚTIL X DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Os conceitos de vida útil e durabilidade das estruturas em concreto apresenta certa proximidade em seu significado, contudo para diferenciar tais termos que são relevantes para o estudo das estruturas a NBR 6118 (2014) traz no item 6.2, a definição de vida útil de projeto que é entendido como o “período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo

projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais”.

Segundo Helene (2001), ao projetar estruturas em concreto visa-se sempre o prolongamento da vida útil, sendo esse termo entendido como o tempo que a estrutura conserva seus índices mínimos de resistência e funcionalidade. Considera-se que um material chegou ao fim de sua vida útil quando suas propriedades, sob dadas condições de uso, se deterioram a tal ponto que a continuação do uso desse material é considerada insegura ou antieconômica.

Para a NBR 6118 (2014), durabilidade “consiste na capacidade de a 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 durabilidade dos materiais está ligada à sua capacidade de se conservar em determinado estado, com a mesma qualidade ao longo de um dado tempo. De outra forma, é a resistência de um material ou elemento da construção à deterioração ou degradação. (ISAIA, 2001)

3.3 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto apresenta excelentes resultados de desempenho e qualidade, a sua elaboração envolve estudo do traço, da dosagem, manuseio e cura adequados e manutenção preventiva, porém o emprego de técnicas pouco aprimoradas e materiais de baixa qualidade, o uso de mão de obra inexperiente e desqualificada, a inexistência da manutenção aliada também a negligências durante a utilização da obra já finalizada, são as condicionantes para a origem do processo de deterioração do concreto levando assim ao comprometimento da vida útil e da durabilidade da obra. (ARAUJO, 2010)

Entende-se por Patologia das estruturas a área de estudo das causas das manifestações patológicas, das consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas em concreto. (SOUZA E RIPPER, 1998).

As manifestações patológicas é o objeto de estudo da ciência identificada como Patologia, essas manifestações são os danos que se manifestam nas estruturas de forma que evidenciam indícios de comportamento irregular de componentes do sistema, devendo ser avaliadas e adequadamente corrigidas para que assim não comprometa as condições de segurança e estabilidade das estruturas (AZEVEDO, 2011).

Segundo Helene (1992), os problemas patológicos apresentam manifestação externa característica, e é essa condição que permite que possa ser feita a análise e dedução das origens que podem ter levado a determinado problema patológico, assim como as prováveis consequências ocasionadas por tal dano.

As manifestações patológicas que ocorrem em uma obra podem ter diversas origens e se originar em diferentes etapas da obra, elas podem causar desde aspectos visuais indesejados e que causam a sensação de insegurança, como podem levar a estrutura realmente ao seu colapso por isso torna-se necessário detectar as suas causas para fazer o reparo de maneira adequada. Entre as principais manifestações patológicas em concretos pode se citar o aparecimento de fissuras, o deslocamento, e desagregação do concreto em si, além do aparecimento de manchas de eflorescência e da expansão e corrosão das armaduras.

3.4 CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A construção de uma estrutura de concreto passa por três etapas básicas que são a de concepção, onde é feito todas as análises necessárias para a determinação do projeto, a etapa de execução que consiste na execução da estrutura em si conforme especificado no projeto e a etapa de utilização que é onde se faz uso de tal estrutura, assim para que uma manifestação patológica possa ocorrer basta que em qualquer uma dessas etapas seja cometido um erro.

Na avaliação das manifestações patológicas em estruturas de concreto é de suma importância, a identificação do que originou essa deformação, porém tal diagnóstico não é de fácil obtenção, pois uma mesma manifestação patológica pode ter sido ocasionada por um conjunto de fatores.

A deterioração do concreto deve-se principalmente às condições ambientais às quais ele está exposto como, por exemplo, os efeitos do clima, o ataque por agentes químicos e físicos que tem consequências diretas sobre as estruturas. (CHEMROUK, 2015)

“O conhecimento das origens da deterioração é indispensável, não apenas para que se possa proceder aos reparos exigidos, mas também para se garantir que, depois de reparada, a estrutura não volte a se deteriorar.” (SOUZA E RIPPER, 1998, p.27)

Neste trabalho a classificação das causas de degradação do concreto será com base em sua origem podendo ser então de origem mecânica, física, química, eletroquímica ou gerada por falhas humanas.

3.4.1 Causas Mecânicas

As causas mecânicas de degradação do concreto são originadas por fatores externos as estruturas. Ações não previstas em projeto (colisão de veículos, incêndios, abalos sísmicos), e o recalque da fundação a qual uma obra está assentada são situações em que as estruturas são submetidas a esforços que leva ela a se deteriorar favorecendo a redução da resistência mecânica das peças estruturais por meio de fissuras, que enquanto não tratadas permitem um maior contato da armadura com o ar, facilitando assim o processo de corrosão. (SOUZA E RIPPER, 1998).

Essas ações mecânicas que provocam a deterioração das estruturas são consideradas ações extrínsecas, ou seja, que são externas as estruturas, contudo para evita-las o processo seria dimensionar estruturas capazes de resistir a tais esforços o que levaria a estruturas muito robustas de grandes seções transversais sendo assim inviáveis economicamente e em forma de execução.

As figuras 2 e 3 adiante mostram respectivamente estruturas degradadas pelo choque de veículos e pela ação do fogo proveniente de incêndio.

Figura 2 - Poste quebrado pelo choque de veículos.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Figura 3- Deformação em laje devido a incêndio.



Fonte: guideengenharia.com.br/ (Acesso em 03/03/2018)

3.4.2 Causas Físicas

As causas físicas que levam a deterioração do concreto são resultantes de fatores externos como a variação de temperatura, efeito da radiação solar e do vento, perda de massa e desgaste superficial que pode ser devido à erosão, cavitação e abrasão.

Abrasão

Segundo Abitante (2004) a abrasão é um processo de perda de massa do material que ocorre pelo contato de uma superfície com outra, devido à presença de asperezas em uma dessas superfícies, o movimento relativo de uma em relação à outra faz com que ocorra essa perda gradual de massa. Essas asperezas podem ser da própria rugosidade de uma das superfícies em interação ou podendo ser até mesmo devido às próprias partículas já extraídas.

No concreto, o processo de abrasão leva a uma perda de argamassa superficial e de agregados devido ao atrito entre a estrutura e as cargas vindas do tráfego intenso de veículos e pessoas e também pela ação dos ventos na superfície, esse processo de desgaste superficial pela abrasão geralmente ocorre em estruturas solicitadas e submetidas a ciclos de atrito repetidos como pisos e pavimentos industriais, pavimentos rodoviários de estacionamento, pontes e calçadas.

Fatores como a porosidade, a resistência a compressão da pasta de cimento e também o tipo de agregado utilizado, são as condicionantes para obter-se um concreto com melhor desempenho à cargas abrasivas. Um concreto com elevada porosidade, baixa resistência a compressão e com agregados não resistentes ao desgaste tornam a estrutura mais suscetível a deteriorar-se em razão dos ciclos de atrito repetitivo. (METHA E MONTEIRO, 2008).

A figura 4 mostra uma rampa de concreto desgastada pelo processo da abrasão em que o trânsito intenso de pessoas pode ter sido a principal causa responsável pela perda de massa na superfície da estrutura.

Figura 4- Desgaste por abrasão em piso de concreto.



Fonte: AGUIAR (2006)

Erosão

Entende-se por deterioração de estruturas de concreto pela ação da erosão, o desgaste superficial nas estruturas ocasionado geralmente pelo carreamento pela água de partículas sólidas em suspensão que devido a colisão e o rolamento sobre a superfície de concreto leva a perda de massa superficial do mesmo.

Segundo Aguiar e Batista (2011), as partículas em suspensão carregadas pelo fluxo da água variam desde seus tipos até suas durezas, podendo ser areias, pedras, escombros, cascalhos, restos vegetais, etc.

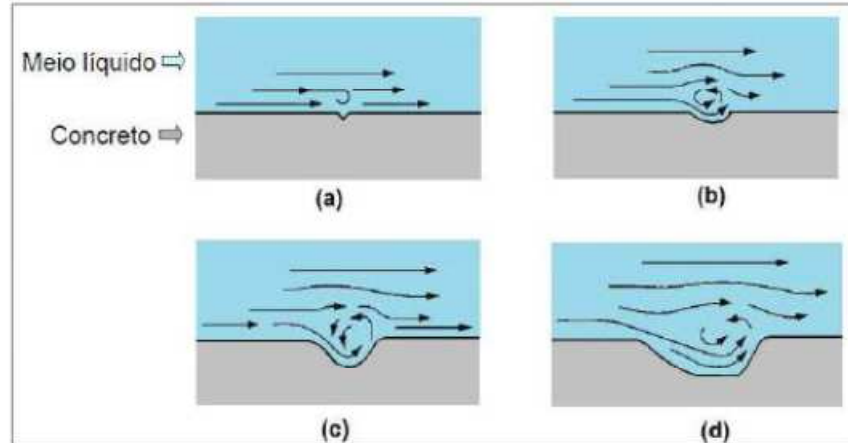
O desgaste por erosão ocorre geralmente em estruturas de concreto em que o seu desempenho de função tenha o contato com a água como ocorre em revestimento de canais, redes de água e esgoto com condutos de concreto, em vertedores e barragens, pilares de pontes e etc.

A taxa de deterioração superficial causada pela a erosão varia devido a alguns fatores, como a resistência e porosidade do concreto, já em relação as partículas em suspensão os fatores que influenciam depende do tamanho, forma, dureza, quantidade de partículas sendo transportada no leito do fluxo, velocidade da água. (METHA E MONTEIRO, 2008).

Segundo Aguiar e Batista (2011), para se ter um concreto com boa resistência a erosão deve utilizar-se agregados graúdos de alta dureza e além disso outro fator que influencia nessa resistência, são as ligações da pasta de cimento à areia e ao agregado graúdo ,além de um baixo fator a/c para o concreto da estrutura.

A figura 5 mostra como ocorre o processo de erosão, em que a água contendo partículas sólidas ao escoar sobre estruturas de concreto promove o desgaste superficial por meio do rolamento das partículas sobre o concreto em contato.

Figura 5-Processo de deterioração por desgaste superficial pelo processo de erosão.



Fonte: SANTOS (2012)

A figura 6 mostra o aspecto de uma galeria de córrego desgastada pelo processo de erosão.

Figura 6-Aspecto da laje de Piso da galeria de córrego da serra devido ao processo de erosão.



Fonte: AGUIAR E BATISTA (2011)

Cavitação

A cavitação é outro processo de desgaste superficial, ele ocorre quando há a formação de bolhas de vapor em águas correntes, essa formação de bolhas se dá quando a pressão absoluta em um dado ponto da massa fluida em escoamento cai para a pressão de vapor ambiente da água, assim as bolhas de vapor que fluem com a água ao alcançar regiões de alta pressão implodem devido a entrada da água em alta velocidade no espaço antes preenchido por vapor. (METHA E MONTEIRO, 2008).

Kormann (2002) diz que a mudança da pressão absoluta para valores próximos á da pressão de vapor da água se dá pela elevação na velocidade de escoamento que ocorre devido a sobressaltos existentes na superfície de escoamento.

De acordo com Santos (2012), as estruturas de concreto que estão sujeitas à cavitação são estruturas hidráulicas que envolvem a mudança de direção do escoamento e que ocorrem à elevadas velocidades, como vertedouros usados em barragens para a regulação do níveis de água , bacias de dissipação, condutos forçados, etc.

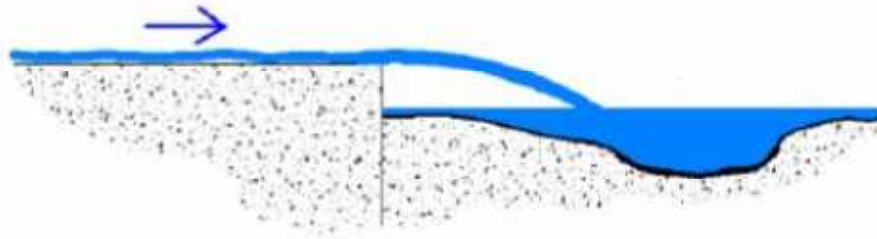
A instabilidade das bolhas é a principal característica do fenômeno da cavitação, as bolhas ao serem transportadas pelo fluxo das águas e atingirem regiões de pressões mais elevadas entram em colapso de maneira repentina levando assim a sua implosão, a consequência disso é o preenchimento por água e a elevação da pressão em áreas pequenas que era o espaço preenchido antes por vapor, tudo isso ocorre em pouco intervalo de tempo e com a repetição frente a estrutura de concreto leva então a deterioração de sua superfície. (NEVILLE, 1997)

Segundo Metha e Monteiro (2008), o concreto que sofreu o processo de cavitação tem seu aspecto de deterioração superficial diferente do concreto deteriorado por abrasão, pois sua superfície é irregular e corroída.

Para diminuir o risco do fenômeno da cavitação a melhor maneira é projetar estruturas hidráulicas que visam reduzir as causas da cavitação como alterações abruptas de declividade, que causam também uma mudança na velocidade de escoamento e consequente queda de pressão o que é suficiente para se iniciar a cavitação.

A figura 7 ilustra como a mudança de declividade pode ser responsável pela cavitação, fenômeno onde são formadas bolhas de vapor responsáveis pela degradação do concreto.

Figura 7- Mudança de declividade que pode levar a cavitação.



Fonte: AGUIAR E BATISTA (2011)

A figura 8 mostra os danos causados em uma barragem de concreto que sofreu pelo processo de cavitação.

Figura 8-Vista dos danos no canal extravasor da Barragem Oroville



Fonte: <https://wattsupwiththat.com>. (Acesso em: 19/03/2018)

Cristalização de Sais nos Poros

A cristalização de sais nos poros do concreto é um processo de degradação do material em que envolve a presença da estrutura de concreto em contato com uma solução supersaturada, esse processo leva a fragmentação e ao descamamento da estrutura devido a formação de pressões internas decorrentes dessa cristalização. (METHA E MONTEIRO, 2008).

Para que ocorra a cristalização dos sais deve haver o contato do concreto com soluções de alta salinidade, isso faz com que esse mecanismo de deterioração seja bastante frequente em estruturas marítimas que estão em contato direto com a água do mar, que devido ao efeito das marés fazem com que essas estruturas sejam submetidas ao choque com as ondas e a ciclos repetidos de molhagem e secagem. (SOUZA E RIPPER, 1998).

A cristalização acontece quando o concreto sendo um material poroso absorve água salgada, devido a diferença de concentrações de sais faz com que se gere uma pressão osmótica dentro dos poros do concreto assim ao evaporar a água deixa cristais de sal sólido dentro dos poros dando início assim ao processo de cristalização que faz com que o sal aumente de volume dentro dos poros, gerando tensões internas que causam o fissuramento da estrutura. (FREITAS, 2013)

Os cristais de sais, por apresentarem maior volume que a solução solúvel, exerce pressão sobre o concreto e causam pequenas rachaduras que se desenvolvem e levam a quebra do concreto da superfície e também ao fragmento da pasta de cimento e refinamento do agregado do concreto. (CHEMROUK, 2015)

A fragmentação do concreto devido a cristalização dos poros pode ser vista através da figura 9 abaixo.

Figura 9- Fragmentação do concreto devido a cristalização nos poros.



Fonte: FREITAS JR (2013).

Retração Hidráulica do Concreto no Estado Fresco

A retração do concreto é um processo que leva a fissuração das estruturas pela perda de água da pasta de concreto ainda no seu estado fresco, essa perda de água não depende do carregamento a que a estrutura está submetida e sim de fatores relacionados ao ambiente em que a estrutura será executada assim como também as condições de lançamento do concreto.

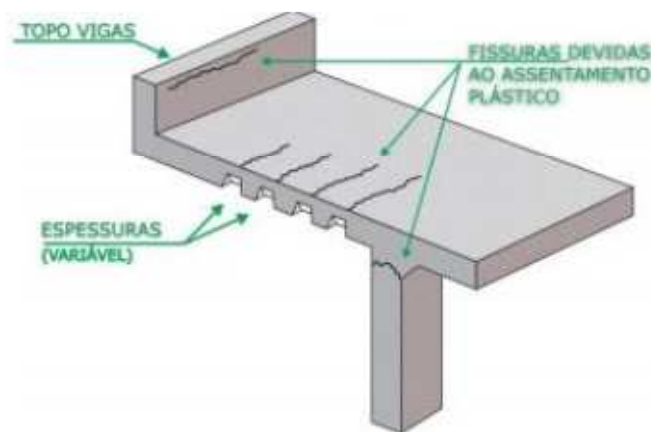
Durante a concretagem e na etapa de adensamento de uma estrutura o concreto pode ser submetido ao assentamento plástico e a retração plástica. Esses dois processos juntos são suficientes para desencadear o surgimento de fissuras. (SANTOS, 2012)

“O assentamento plástico está ligado a dois fenômenos: a acomodação das partículas sólidas devido à ação da gravidade, causando a sedimentação e, em sentido contrário, a exsudação, que representa a movimentação do ar aprisionado e da água.” (AGUIAR, 2006, p.29).

Durante o lançamento do concreto nas estruturas, devido ao assentamento plástico ocorre a sedimentação, esse fenômeno é responsável pelas fissuras no concreto em seu estado fresco e ocorre impulsionado pela fato de que a movimentação da pasta de cimento não é igual, com os obstáculos, como as armaduras e agregados graúdos em sua composição, a pasta sofre uma diferença em sua descida isso leva então a um acomodação das partículas solidas resultando nas fissuras.

As fissuras que acontecem em estruturas de concreto devido ao assentamento plástico são de espessuras variáveis é o que mostra a figura 10 a seguir.

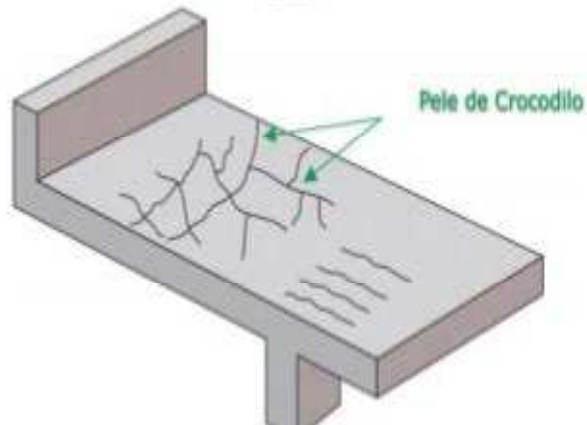
Figura 10- Configurações das fissuras geradas pelo assentamento Plástico.



Fonte: MENEGHETTI, (2016)

Quando a taxa de evaporação da água na superfície do concreto é maior do que a taxa da água exsudada ocorre às fissuras devido à retração plástica. Este tipo de fissuração é causado pela perda rápida da água na superfície do concreto, essa água ao evaporar faz com que o concreto se retraia gerando assim tensões internas que a causam as fissuras na superfície do concreto. (HASPARYK et al., 2005).

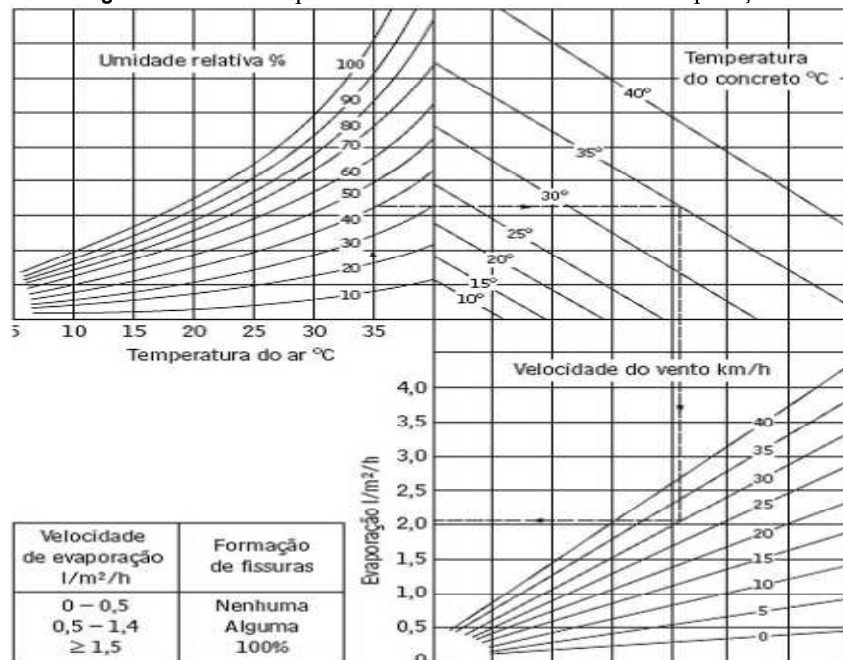
Figura 11-Fissuras causadas pela retração plástica no concreto.



Fonte: MENEGHETTI, (2016)

A evaporação da água depende de fatores como temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e essa dependência pode ser vista através da figura 12.

Figura 12- Fatores que influenciam na velocidade de Evaporação.



Influência da umidade e velocidade do ar na evaporação da água do concreto

Fonte: MENEGHETTI, (2016)

A figura 13 mostra uma laje que se deformou devido ao efeito do fenômeno da retração plástica do concreto.

Figura 13-Fissuras devido à retração plástica em laje de concreto



Fonte: AGUIAR (2011)

Gradiente Térmico

Estruturas de concreto armado estão expostas a cargas de temperatura, seja através do seu ambiente ou como uma consequência inevitável de condições como calor de hidratação, função de serviço e incêndio. A exposição do concreto a essas cargas de temperatura faz com que o concreto possa vir a se deteriorar devido a essa gradiente térmico de temperatura.

O efeito do gradiente térmico pode causar a deterioração das estruturas pelo processo de retração térmica que afeta o concreto em seu estado fresco e pela dilatação térmica que modifica o concreto em seu estado endurecido.

Retração Térmica

O processo de hidratação do cimento ao entrar em contato com a água gera uma reação exotérmica, isto é, libera-se energia na forma de calor que é chamado de calor de hidratação. Em elementos estruturais de pequenas dimensões a dissipação desse calor para o ambiente é mais fácil devido o caminho para ele percorrer por condução ao longo da peça ser curto. Já em peças de maior volume como barragens e blocos de fundação a dissipação desse calor é dificultada, pois o caminho para ele percorrer é maior, devido a grande distancia entre o núcleo e a superfície da peça estrutural.

As reações de hidratação do cimento por ser um processo exotérmico e liberar energia na forma de calor causam um aumento de temperatura nos primeiros dias de cura da peça de concreto, com isso quando alcança o máximo de temperatura, o concreto tende a se estabilizar com a temperatura ambiente sofrendo assim uma redução em seu volume, isso faz com que se produzam tensões térmicas de tração que resultam na fissuração da estrutura. (SOUSA et al, 2014)

O grau de degradação de uma estrutura em virtude do processo de retração térmica é diretamente proporcional a temperatura do ambiente a qual ela está inserida, isso acontece pelo fato de que o concreto em seu estado fresco já apresenta alta temperatura devido as reações de hidratação do cimento. As trações térmicas que tracionam as peças são tão maiores quanto a variação de temperatura do concreto, por consequência disso maior será o esforço que a base precisa desempenhar para restringir a expansão da peça o que leva a uma maior fissuração da mesma. (SANTOS, 2012)

A figura 14 mostra a conformação das fissuras no concreto resultantes do processo de retração térmica.

Figura 14- Fissuras Típicas de retração térmica no concreto.



Fonte: AGUIAR (2006)

Dilatação Térmica

A temperatura ambiente em que uma edificação está inserida pode modificar sua estrutura. A variação de temperatura gera movimento de dilatação e contração na estrutura, de tal forma que se a temperatura sobe o concreto sofre expansão se a temperatura cai bruscamente ocorre a contração. O movimento de expansão e contração provoca alteração nas dimensões que fazem surgir tensões que podem provocar o surgimento de fissuras na peça devido a restrição dessas tensões pelos vínculos presentes em sua estrutura. (ASSIS E RABELO, 2013).

A alteração nas dimensões que surgem nas estruturas, decorrentes da variação da temperatura depende do seu coeficiente de dilatação térmica e dos gradientes de temperatura, definidos pelos picos mínimos e máximos de temperatura. A intensidade das tensões geradas decorre da intensidade da variação dimensional, da restrição imposta pelos vínculos da peça a esta variação e das propriedades elásticas do material. (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Restrições como ligação das estruturas com suas fundações ou outras estruturas, ligação do concreto com suas armaduras e também a própria coesão interna do concreto são os fatores limitantes que impedem que o concreto tenha liberdade para se deformar mediante a variação de temperatura. (NEVILLE, 1997)

Segundo a NBR 12815 (2012) a variação na unidade de comprimento por grau de temperatura é conhecido por coeficiente de dilatação térmica. O coeficiente de dilatação térmica da pasta de cimento hidratada é maior do que a do agregado, assim o coeficiente de dilatação térmica do concreto fica definido pela resultante desses dois valores sendo da ordem de $10 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$.

A diferença no coeficiente de dilatação térmica da pasta de cimento e do agregado faz com que para uma mesma variação de temperatura ocorra uma diferença na variação dimensional de tais materiais, essa diferença é responsável pelo desenvolvimento das fissura. (NEVILLE, 1997)

Uma maneira para evitar que as retrações restringidas do concreto ocasionem fissuras que possam comprometer a durabilidade e o desempenho da estrutura, é a utilização de juntas de dilatação. No projeto de juntas o dimensionamento de seu espaçamento e espessura são baseados em função das propriedades do concreto, das condições ambiental a que a estrutura está inserida e do formato da estrutura. (ASSIS E RABELO, 2013).

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), pelo menos a cada vão de 15 metros deve ser executadas juntas de dilatação em estruturas de concreto simples.

A figura 15 mostra as fissuras típicas em uma viga de concreto devido a dilatação térmica da estrutura.

Figura 15- Fissuras causadas pela variação de temperatura.



Fonte: ASSIS E RABELO (2013).

Efeito do Fogo

O concreto é constituído de elementos que respondem de forma diferente quando submetidos a altas temperaturas, com isso o efeito do fogo torna-se um problema para as estruturas alterando diretamente a sua resistência levando assim a deterioração.

O concreto simples juntamente com o aço faz uma união aproximadamente “homogênea”, pois a aderência entre eles é quem permite um bom desempenho dessa união na utilização em estruturas, contudo ao ser submetido a temperaturas superiores a 100 °C o concreto armado e o aço respondem de maneira diferente, isso faz com que se perda gradativamente essa característica de material “homogêneo” ao passo que a temperatura cresce mediante as transformações químicas, físicas e mineralógicas da sua matriz. (COSTA, 2008).

Metha e Monteiro (2008) diz que são vários os fatores que controlam a resposta do concreto ao fogo, a composição do concreto é importante porque tanto a pasta de cimento

quanto os agregados se decompõem com o calor, em situações de incêndio as pressões internas que se desenvolvem devido os produtos da decomposição gasosa são dependentes de fatores como a permeabilidade do concreto o tamanho do elemento e a taxa de aumento de temperatura.

Alguns dos efeitos que são decorrentes da exposição do concreto ao fogo é a alteração na coloração, perda de resistência mecânica, esfarelamento superficial, fissuração até a própria desintegração da estrutura. (FAGANELLO et al.,2011)

Em incêndios, a estrutura ao ser submetida a altas temperaturas absorve o calor gerado resultante da elevação da temperatura, isso faz com que ocorra uma expansão térmica da estrutura, devido ter propriedades diferentes a massa de concreto e o aço se dilatam de forma diferente de forma que a aderência entre eles torna-se prejudicada, a partir disso originam-se tensões internas que levam o concreto a se desagregar e as armaduras ficam sujeitas a incidência direta do fogo. (SOUZA E RIPPER, 1998).

“Dentre as causas que podem levar uma estrutura sujeita a altas temperaturas ao colapso, estão a temperatura máxima atingida, o tempo de exposição, o traço de concreto, o tipo de estrutura, o elemento estrutural e a velocidade de resfriamento.” (FAGANELLO et al.,2011,p.48)

A figura 16 mostra as armaduras de uma laje exposta devido ao incêndio, que o fogo proveniente do incêndio além de diminuir a capacidade resistente da estrutura leva conseqüentemente a degradação da estrutura.

Figura 16-Exposição da armadura em laje maciça devido um incêndio.



Fonte: COSTA (2008)

3.4.3 Causas Químicas

Metha e Monteiro (2008) diz que as manifestações patológicas decorrentes de agentes químicos se originam geralmente devido a interação química entre os agentes agressivos do ambiente e os materiais que compõem a pasta de cimento, porém podem ser causadas também por reações envolvendo a composição química dos próprios elementos constituintes do concreto, é o caso das expansões devido a interação entre o álcalis presente na pasta de cimento e sílica presente em agregado reativos e a hidratação tardia do CaO e MgO cristalinos.

Os efeitos dos ataques químicos nas estruturas de concreto podem ser percebidos por manifestações patológicas que podem ser aparecimento de fissuras, o aumento da porosidade e permeabilidade, aparecimento de manchas de coloração branca conhecidas por eflorescência além da consequente diminuição da resistência dos elementos estruturais.

As principais causas de origem química que levam a formação de manifestações patológicas nas estruturas são:

- Ataques por Sulfatos
- Ataques por Ácidos
- Ataque por Cloreto
- Reação Álcali-Agregado
- Ataque por Agua Pura
- Carbonatação

Ataques por Sulfatos

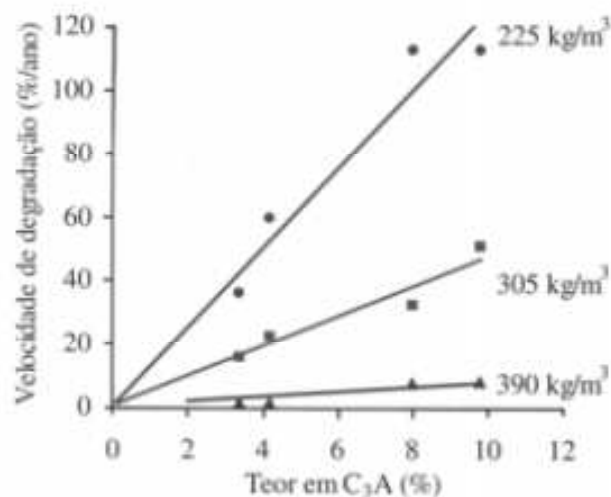
O ataque por sulfatos às estruturas de concreto se manifesta de duas formas, na primeira maneira as estruturas submetidas aos ataques desses elementos químicos se expandem e fissura. A fissuração e expansão causada por esses ataques geram um aumento na permeabilidade do concreto de tal forma que a entrada das águas agressivas seja facilitada o que acelera o processo de deterioração. A segunda maneira de como os sulfatos age no concreto é causando a progressiva diminuição na resistência das peças estruturais, isso ocorre devido a uma perda de massa gerada a partir da diminuição de coesão dos produtos que se originaram devido às reações de hidratação do cimento. (METHA E MONTEIRO, 2008)

Os sulfatos são naturalmente presente nos solos (encontrados na forma de gipsita $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), nas águas subterrâneas e água do mar estando presentes ainda em algumas rochas e assim nos agregado. Dentre os sulfatos que mais agredem as estruturas são o sulfato de cálcio (CaSO_4), o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o sulfato de potássio (K_2SO_4) e em menor extensão, o sulfato de magnésio (MgOSO_4), sendo este o mais danoso as estruturas. (CHEMROUK, 2015)

O ataque dos sulfatos as estruturas de concreto é influenciado por fatores como o tipo de cimento e de sulfato, a qualidade do concreto, em concretos mais densos e menos permeáveis a ação dos sulfatos fica restringida apenas a superfície externa, pois encontram mais dificuldades para penetrar entre os poros da estrutura, outro fator que influencia também são os tempos de exposição aos sulfatos e as concentrações deles (PADILHA et al., 2015)

Em ambientes agressivos com concentrações consideráveis de sulfato a ação desses íons sobre as estruturas de concreto depende diretamente do teor de aluminato tricálcico (C_3A) no cimento, assim a medida que consumo de cimento aumenta, mais resistente ao ataque de sulfatos o concreto fica como pode ser visto na figura 17 a seguir. (GONÇALVES, 2000 *apud* COUTINHO, 2001).

Figura 17-Influência do teor de de C_3A na resistência do concreto ao ataque de sulfatos.



Fonte: adaptado de Gonçalves (2000) *apud* Coutinho (2001).

Os sulfatos ao reagir com o aluminato tricálcico (C_3A) hidratado da pasta endurecida de cimento resultam num composto a etringita, que na presença de umidade expande para ocupar um volume maior dentro do concreto. Essa expansão gera tensões no concreto,

levando assim a sua deformação gerando uma perda de massa e consequente perda na resistência. (CHEMROUK, 2015)

“No ataque, os íons sulfatos reagem principalmente com o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 e o aluminato tricálcico C_3A , originando a etringita e o gesso. Esta formação expande-se, exercendo pressão e desintegrando a pasta de cimento.” (AGUIAR,2006,p.41)

As estruturas com maior risco de degradação devido ao ataque de sulfatos são aquelas que têm contato direto com águas e solos contaminadas, podendo citar barragens, os condutos de esgoto e estruturas marítimas. (SILVA, 2012)

Segundo Costa (2004), a manifestação patológica devido ao ataque por sulfatos é apresentar coloração esbranquiçada seguida depois de consequentemente deslocamento e perda de resistência à compressão devido à formação dos produtos expansivos.

A figura 18 que se segue mostra o aspecto final de um pilar atacado por sulfatos ao longo de seu comprimento.

Figura 18-Pilar degradado pela ação de ataque de sulfatos.



Fonte: COUTINHO (2001)

Ataques por Ácidos

As ações dos ácidos nas estruturas podem ocorrer devido a ácidos orgânicos e inorgânicos. Em qualquer caso a ação do íon hidrogênio presentes na estrutura química do ácido atua gerando produtos solúveis que ao se transportar pela estrutura interna das peças de concreto causa a sua deterioração. Como exemplos de ácidos orgânicos que degradam as estruturas podemos citar o ácido clorídrico, nítrico, sulfídrico e carbônico, já os ácidos de origem inorgânicos pode-se citar os presentes na terra podendo ser dos tipos acético, láctico, estearico entre outros. (SOUZA E RIPPER, 1998).

As estruturas mais sujeitas ao ataque por ácidos são aquelas em que as superfícies de concreto não apresentam proteção, como torres de resfriamento, estruturas de construções industriais e redes de tratamento de água de esgoto. (MEDEIROS, 2016)

Os ácidos tem um mecanismo de ataque nas estruturas que se manifesta com sua atuação de fora para dentro da estrutura alterando assim o pH das do concreto, isso ocorre por meio de reação que gera uma troca de cátions entre os componentes da pasta de cimento e as soluções ácidas, essa troca leva a formação de sais solúveis de cálcio, que podem ser removidos pelo processo de lixiviação. (ANDRADE *et al*, 2003)

Segundo Santos (2012) os ácidos atacam o concreto reagindo com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento hidratada, o resultado disso é a produção de água e sais de cálcio conforme a reação 1 abaixo.



O tipo de ácido que reage com o hidróxido de cálcio é quem determina a solubilidade dos sais de cálcio formados, quando os sais produzidos são facilmente solúveis a lixiviação desses sais torna-se se facilitada e conseqüentemente ocorre o aumento da porosidade e permeabilidade do concreto. Quando da reação dos ácidos com o hidróxido de cálcio são formados sais de cálcio pouco solúveis o mecanismo de ataque ao concreto ocorre de maneira mais lenta, podendo ser até inofensiva já que aumenta a impermeabilidade presente no concreto. (BAUER, 2011)

De acordo com Medeiros (2016), o resultado do ataque dos ácidos ao concreto é a redução da seção transversal da peça devido à perda de massa, perda essa que ocorre em camadas sucessivas que vai desde superfície exposta até em direção ao eixo principal da

estrutura, com a velocidade de degradação dependendo da quantidade do ácido presente com a estrutura.

A figura 19 adiante mostra o resultado do ataque do ácido sulfúrico a um pilar de concreto armado, onde o mesmo teve uma redução em sua seção transversal devido ao desgaste do concreto de sua superfície.

Figura 19-Ataque de ácido sulfúrico em pilar de concreto armado.



Fonte: AGUIAR, (2006)

Ataques por Cloretos

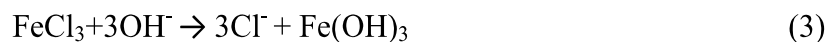
Vários são as origens e meios que fazem o concreto entrar em contato com a ação de cloretos, eles estão presentes desde o momento da mistura onde está presente em aditivos químicos aceleradores de pega, agregados contaminados e água salobras. Outra forma de contaminação do concreto por cloretos é via meio externo através da água do mar, da névoa marinha, de águas residuais e sais descongelantes. (SACIOTO, 2005)

Bauer (2011) diz que os cloretos atacam o concreto causando a expansão de armadura de forma que a mesma possa chegar a se expandir até dezesseis vezes em relação ao seu tamanho original, causando assim o destacamento do concreto e expondo a sua armação de forma tal que comprometa a sua capacidade de trabalho. Cavalcanti Filho (2010) menciona ainda que o principal mecanismo de corrosão das armaduras se dá pelo ataque de íons cloretos (Cl^-), e isso decorre do fato de que esses íons são capazes de quebrar a camada passivadora

produzida pelo concreto e que protege o aço mesmo em pH extremamente elevado, o que leva ao início do processo da corrosão.

O alto caráter agressivo dos íons de cloreto às armaduras explica-se pelo fato de que eles atuam nas reações de formação do hidróxido férrico (popularmente conhecido como ferrugem $\text{Fe}(\text{OH})_3$) apenas como catalizadores, a partir daí depois de produzido o cloreto de ferro (FeCl_3) e este mesmo reagindo com as molécula de hidroxila os íons de cloreto são liberados para reagirem novamente com metal (Fe^{3+}), isso faz com que aumente a concentração superficial dos íons cloretos na superfície do aço e a corrosão aumente gradativamente. (SACIOTO, 2005)

As reações 2 e 3 a seguir representam de forma resumida como se dá o processo de corrosão das armaduras devido ao ataque de cloretos.



Souza e Ripper (1998) cita ainda como ações dos íons de cloretos nas estruturas em concreto armado às seguintes:

- Durante a concretagem em dias de elevada temperatura ambiente os cloretos podem acelerar o processo de pega, de tal forma que o enchimento das formas e acabamento das superfícies fique prejudicado;
- Não é indicada a utilização de concreto contendo teor de cloretos nas proximidades de redes de alta tensão devido ao processo da corrosão eletrolítica.
- Na utilização de peças de alumínio e aço em conjunto com peças de concreto os íons do cloreto atuam acelerando o processo corrosivo é o que acontece com conduítes e chumbadores de alumínio;
- Aumento da retração do concreto causando uma maior fissuração em sua superfície externa e interna.

Alguns fatores determinam a relação do concreto com a entrada dos íons de cloreto, Aguiar (2006) cita os fatores relação a/c, adensamento e cura como importantes variáveis que definem o comportamento e degradação do mesmo frente à ação dos cloretos. De fato concretos com alto fator a/c apresentam também elevada porosidade, isso juntamente com

curas inadequadas da pasta de cimento colabora para a facilitação da entrada dos cloretos na estrutura.

A figura 20 mostra a corrosão na armadura de uma viga de concreto armado, que se propagou devido ao ataque de cloretos à estrutura.

Figura 20-Ataque de cloretos em viga de concreto armado.



Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br>. (Acesso em: 09/05/2018)

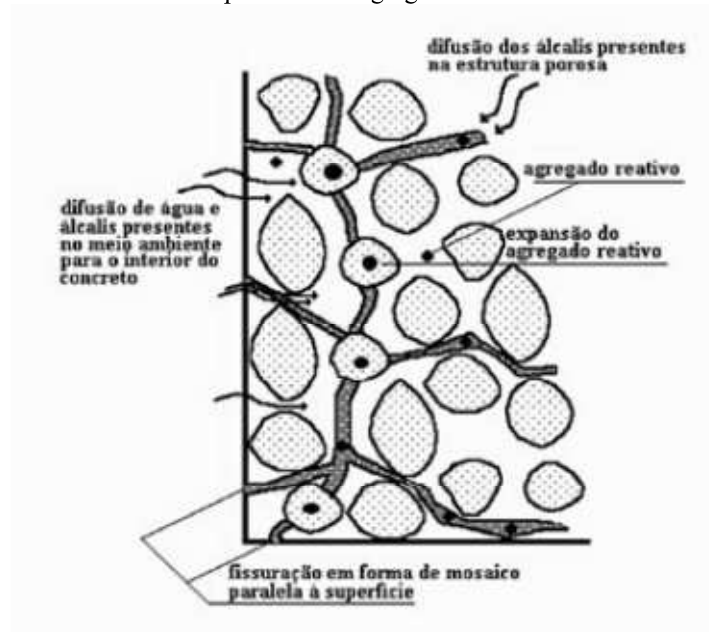
Reação álcali-agregado

A combinação química entre os álcalis presentes no cimento com os minerais reativos presentes no agregado pode levar a formação de produtos expansivos, que sob a influência da umidade atuam deteriorando as estruturas de concreto pela formação inicial de fissuras com o aspecto de mosaico que com o avanço continuam se expandindo até a diminuição da resistência do concreto. (METHA E MONTEIRO, 2008)

À reação de expansão que deteriora estruturas de concreto dá-se o nome de Reação álcali-agregado (RAA), o desenvolvimento dessas reações processa com maior frequência em estruturas de concreto submetidas a altos teores de umidade e submetidas a ação da água como, por exemplo, pontes, barragens e viadutos, porém a sua presença pode ser constatada também em edificações e obras habitacionais ocorrendo assim comumente em fundações que estão sob a influência do nível do lençol freático. (BONATO, 2015)

A figura 21 mostra como ocorre a reação álcali agregado nas estruturas de concreto e que acabam gerando assim a fissuração em formas de mosaicos na estrutura, devido a formação do gel expansivo.

Figura 21- Esquema de fissuração desenvolvida no concreto devido a reação dos álcalis do cimento com a sílica presente em agregado.



Fonte: SOUZA E RIPPER (1998)

As intensidades das reações que ocorrem entre os álcalis do cimento e os minerais existentes no agregado tem dependência de alguns fatores, sendo eles o teor de álcalis total do cimento, a forma com que esses álcalis são liberados, a granulometria e reatividade dos agregados além da dosagem utilizada no concreto. (BAUER, 2011)

Nas reações de hidratação do concreto os álcalis (Na^+ e K^+) presentes nos cimentos reagem de forma a produzir os hidróxidos alcalinos ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Na}(\text{OH})_2$, $\text{K}(\text{OH})_2$) que permanecem dissolvido na água dos poros do concreto endurecido. Os hidróxidos alcalinos produzidos reagem com os minerais presentes no agregado reativo (sílica, silicatos e carbonatos) e formam assim um produto na forma gel que ao absorver água de uma fonte externa atuam provocando um inchamento aumentando de volume e assim exercendo pressão no concreto em sua volta. (CHEMROUK, 2015)

Metha e Monteiro (2008) diz que o transporte dos géis do interior das partículas do agregado para as regiões microfissuradas do concreto depende da solubilidade desses géis em água, isso explica o porquê dessa reação ser comumente encontrada em estruturas sob elevadas umidades. A absorção contínua da umidade pelo gel aumenta cada vez mais a sua expansão propagando assim o desenvolvimento das microfissuras que vão se estendendo até a superfície da estrutura de concreto.

As reações álcalis agregados dependem do tipo e mineralogia do agregado que reage com os álcalis do cimento, assim a sua classificação pode ser feita da seguinte forma: (HASPARYK, 2005).

- **Reações álcali-sílica:** É a reação álcali-agregado que se desenvolve de maneira mais rápida, pode ser originada através de sílicas presentes em agregados de origem Vidros naturais (vulcânicos) e artificiais, opalas, tridimitas e calcedônias, sílicas amorfas e cristobalitas. (HASPARYK, 2005).
- **Reações álcali-silicato:** Os efeitos causados por essa reação acontecem em longo prazo devido o fato de que elas se desenvolvem na matriz interna do concreto, ela se manifesta através da reação do álcalis com silicatos que podem ser argilitos, siltitos e grauvacas. (BONATO, 2015)
- **Reações álcali-Carbonato:** Ocorre com o ataque dos álcalis ao calcário dolomítico, expandindo assim compostos cristalizados como a brucita, carbonato de cálcico e alcalino. (NOGUEIRA, 2010)

No Brasil a norma ABNT NBR 15577 (2008), determina os critérios para o emprego de agregados no concreto visando medidas eficazes que restringem o desenvolvimento de reações álcalis agregados garantindo assim a durabilidade das estruturas.

Figura 22-Aspecto visual de uma sapata deteriorada pela reação álcali agregado.



Fonte: AGUIAR (2006)

Ataque por Água Pura

A água pura (também chamada de água mole, trata-se da água doce dos rios, água subterrânea dos lençóis freáticos, água de lagos de degelo e água de chuva não ácida) também pode atacar o concreto, através da lixiviação /hidrólise de componentes da pasta do cimento endurecido. Isto porque tais águas não contém quase nenhum íon de cálcio nem sais dissolvidos. Quando entram em contato com a pasta de cimento, estas tendem a hidrolisar ou dissolver os componentes que contém cálcio (POGGIALI, 2009).

Um dos constituintes da pasta de cimento mais susceptível ao processo de lixiviação é o hidróxido de cálcio – Ca(OH)_2 – pois possui alta solubilidade em água pura (1230mg/l). A hidrólise se manterá até que grande parte do hidróxido de cálcio seja eliminada do concreto por meio da lixiviação. (METHA E MONTEIRO, 2008).

A evidência mais comum do ataque de águas puras é a dissolução do hidróxido de cálcio, seguida de precipitação de géis (de sílica e de alumina), com a conseqüente formação de estalactites e estalagmites (SOUZA e RIPPER, 1998).

Quando o material lixiviado entra em contato com o ar, interage com o CO_2 forma uma crosta esbranquiçada de carbonato de cálcio (CaCO_3) na superfície da estrutura, conhecido como eflorescência de aparência desagradável. (POGGIALI, 2009)

A figura 23 abaixo mostra a visão da parte inferior de uma laje de ponte, onde é possível ver a presença de manchas devido ao processo da eflorescência.

Figura 23- Eflorescência em laje de ponte.



Fonte: DNIT (2010)

Carbonatação

Ao entrar em contato com a água para realizar o processo de hidratação, o cimento, presente no concreto leva à formação dos silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), que são os principais responsáveis por conferir a resistência ao material, e do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que é o composto que propicia ao concreto seu caráter alcalino com valores de pH próximo de 14. A alcalinidade do concreto atua nas barras da armadura de forma a produzir uma camada de óxido passivadora ao seu redor, protegendo assim do processo da corrosão. (WERLE; KAZMIERCZAK; KULAKOWSKI, 2011)

A carbonatação no concreto se manifesta através de uma reação química entre o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera que ao entrar por difusão no concreto atua reagindo com os produtos de hidratação do cimento presentes em seus poros, principalmente os hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), essa reação leva a uma neutralização da solução de poros altamente alcalinos e à formação de produtos à base de carbonatos alcalinos, como a calcita (CaCO_3). Sob estas condições, o PH da solução presente nos poros, que varia entre 12 e 14 quando alcalina, é baixado valores abaixo de nove, tornando o aço da armadura suscetível à corrosão na presença da umidade e do oxigênio. (CHEMROUK, 2015)

A presença do CO_2 e do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nos poros do concreto estando ambos dissociados, levam a uma combinação que resulta na formação de CaCO_3 (carbonato de cálcio) e H_2O (água), essa é a reação básica da carbonatação conforme pode ser visto na reação 4 e figura 24 a seguir. (WERLE; KAZMIERCZAK; KULAKOWSKI, 2011)

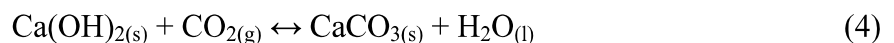
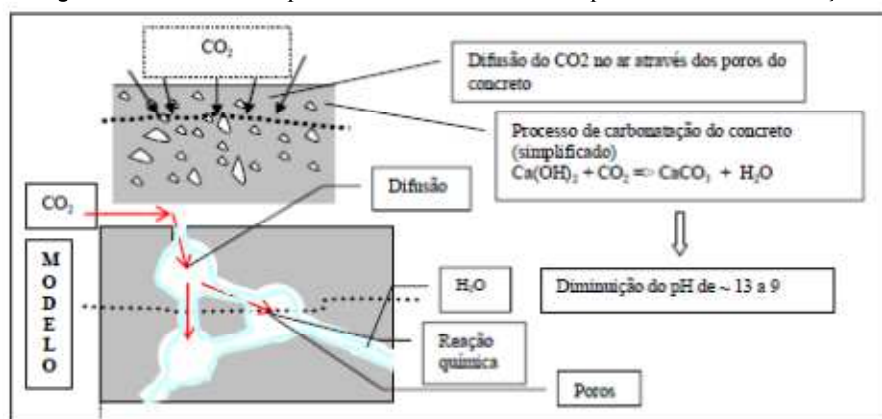


Figura 24-Processo Esquemático de como ocorre o processo da carbonatação.

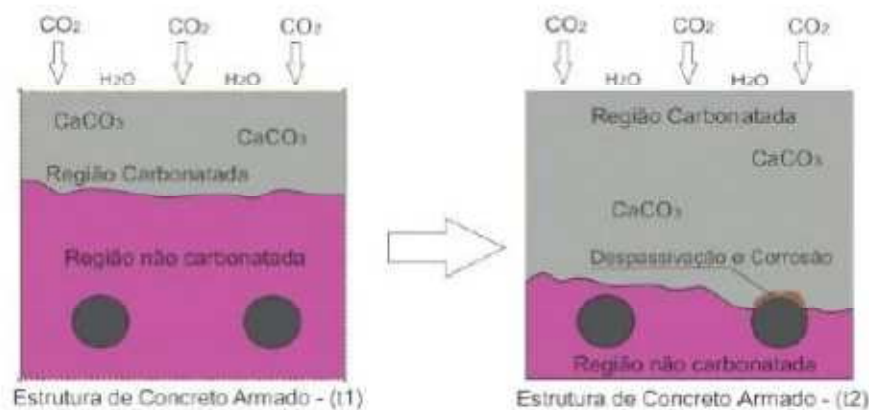


Fonte: GOMES (2006)

No processo da carbonatação ocorre a existência de uma “frente” de carbonatação, assim conhecida pelo fato de que é uma medida que serve para avaliar a profundidade do desenvolvimento desse processo, ela atua dividindo o concreto em duas zonas com Ph muito diferentes: uma com pH menor que 9 (carbonatada) e outra com pH maior que 12 (não carbonatada, aumentando assim progressivamente em direção ao interior da estrutura de concreto, e uma vez atingida a armadura leva a sua despassivação o que torna suscetível ao desenvolvimento da corrosão.(CASCUDO,1997)

A figura 25 mostra o avanço da frente da carbonatação que pode ser identificada pelo ensaio de fenolftaleína, onde se aplica uma solução dessa substancia à um corpo de prova de concreto da estrutura em estudo, dessa forma no local onde a peça adquirir coloração róseo-avermelhada indica que não houve o fenômeno da carbonatação.

Figura 25- Avanço da carbonatação em direção a armadura.



Fonte: TASCA (2012)

O desenvolvimento da carbonatação no concreto pode levar ao desenvolvimento do processo corrosivo na armadura, porém para que ocorra tal fenômeno se faz necessário outras variáveis a serem envolvidas. Além da conseqüente redução do pH pelo processo da carbonatação seria necessário para que ocorra a corrosão a presença da umidade. (GOMES, 2006).

Souza e Ripper (1998), diz que a carbonatação poderia ser até benéfica se a mesma ficasse restrita em camadas mais superficiais do concreto, pois o carbonato de cálcio produzido pela reação colmata os poros superficiais da estrutura, aumentando assim a resistência química e mecânica, contudo a carbonatação varia em função da concentração do CO_2 na atmosfera, e da porosidade e nível de fissuração do concreto podendo assim atingir a armadura ocasionando a corrosão da mesma.

3.4.4 Causa Eletroquímica

A corrosão é um processo eletroquímico de deterioração que ataca diretamente o aço presente no concreto, para que se tenha início a esse processo é necessário que ocorra a despassivação da armadura que pode ocorrer devido à presença de cloretos no concreto ou pela redução da solução alcalina presente no interior dos poros do concreto fato ocasionado devido o avanço do fenômeno da carbonatação.

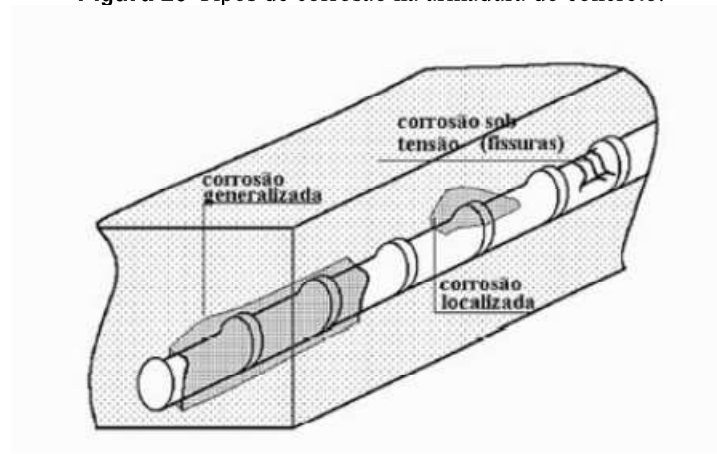
Cascudo (1997) diz que a corrosão pode ser classificada conforme a natureza do processo e também de acordo com a sua morfologia. Quanto à natureza à mesma diferencia-se em corrosão seca ou oxidação, que se manifesta através de uma reação gás-metal que forma uma película de óxido ao redor da armadura e que ao menos que exista gases extremamente agressivos na atmosfera essa corrosão não traz danos sérios a armadura. O outro tipo de corrosão é a eletroquímica que acontece em ambiente aquoso e se dá através da formação de uma célula de corrosão mediante a presença de eletrólito, diferença de potencial entre pontos da mesma superfície, e a presença de oxigênio e outros agentes agressivos em atuação na estrutura.

A classificação da corrosão em estruturas de concreto de acordo com a morfologia é:

- **Corrosão Generalizada** - ocorre ao longo de toda a extensão da superfície da armadura, ocasionando perda uniforme de espessura.
- **Corrosão por Pite** - é também chamado de localizada, seu desenvolvimento inicial é lento, porém ela é tão mais agressiva quanto maior for a relação área catódica / área ânódica. Esse tipo de corrosão ocorre em pontos ou pequenas áreas localizadas, sua evolução pode ocasionar o rompimento pontual da barra.
- **Corrosão por tensão fraturante** - é típico de estruturas em concreto protendido, pois devido a aplicação da protensão e estando em ambientes agressivos ocorre a ruptura frágil da estrutura.

Na figura 26 ilustram-se os tipos de corrosão que podem ocorrer em uma estrutura de concreto armado sendo esses tipos classificadas de acordo com sua morfologia.

Figura 26-Tipos de corrosão na armadura do concreto.



Fonte: SOUZA E RIPPER (1998)

Em qualquer tipo de corrosão do aço, o que ocorre é a geração de um potencial elétrico que com a presença do eletrólito (solução aquosa presente no concreto), é possível a transporte dos íons dos catodos para os ânions. A corrosão então ocorre devido a instauração de uma célula de corrosão que é semelhante ao efeito pilha onde se cria uma corrente elétrica dirigida do anodo para o catodo, através da água, e do catodo para o anodo devido a diferença de potencial. (SOUZA E RIPPER, 1998).

A reação da corrosão decorrente do processo de carbonatação pode ser descrita conforme as reações abaixo: (METHA E MONTEIRO, 2008; SANTOS, 2012).

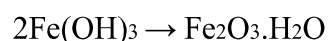
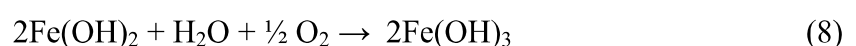
Reação catódica - Redução do Oxigênio



Reação ânódica- Oxidação do Ferro



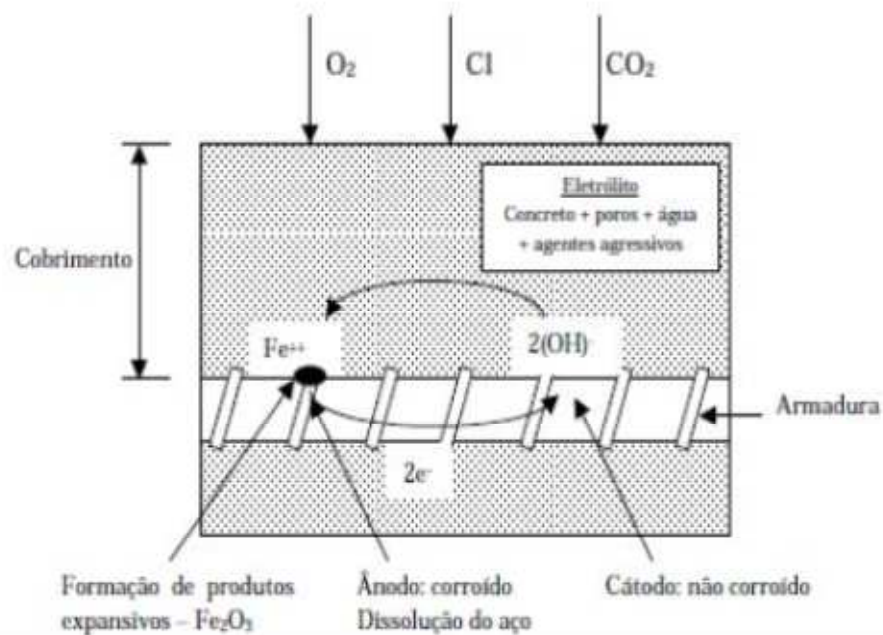
Produtos da Corrosão



“Da combinação do cátion Fe^{3+} com os ânions (OH) resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no ânodo; no cátodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Estes dois produtos constituem a ferrugem, evidência mais clara da corrosão do aço.” (SOUZA E RIPPER, 1998, p.67)

O processo que leva a corrosão das armaduras é ilustrado pela figura 27 adiante, onde é especificado os agentes necessários para que ocorra tal fenômeno.

Figura 27-Esquema da corrosão em estrutura de concreto.



Fonte: ANDRADE (2001)

Os efeitos sobre o concreto decorrente da corrosão se manifesta através da redução da capacidade resistente da armadura podendo citar-se ainda a perda da condição de aderência entre o aço e o concreto, a fissuração, que com o contínuo desenvolvimento expõe a estrutura já degradada a outros agentes agressivos acelerando assim o processo de corrosão, e a degradação do concreto que envolve a armadura, pois a produção do produto da corrosão gera tensões no concreto que circunda a armadura levando assim a sua deterioração. (METHA E MONTEIRO, 2008; SOUZA E RIPPER, 1998).

Um cobrimento de concreto adequado conforme especificado em projeto, o controle da porosidade devido a um baixo fator a/c, o correto dimensionamento das armaduras da estrutura, a cuidadosa execução das peças estruturais são exemplos de medidas que podem ser tomadas para reduzir o risco de corrosão nas estruturas.

Na figura 28 pode-se ver o aspecto final de uma armadura deteriorada pelo processo de corrosão, onde tal fenômeno além de ter provocado a perda da resistência da armadura ocasionou também o destacamento do concreto da superfície.

Figura 28-Pilar com Armadura deteriorada pela corrosão.



Fonte: Próprio Autor (2018)

3.4.5 Falhas Humanas

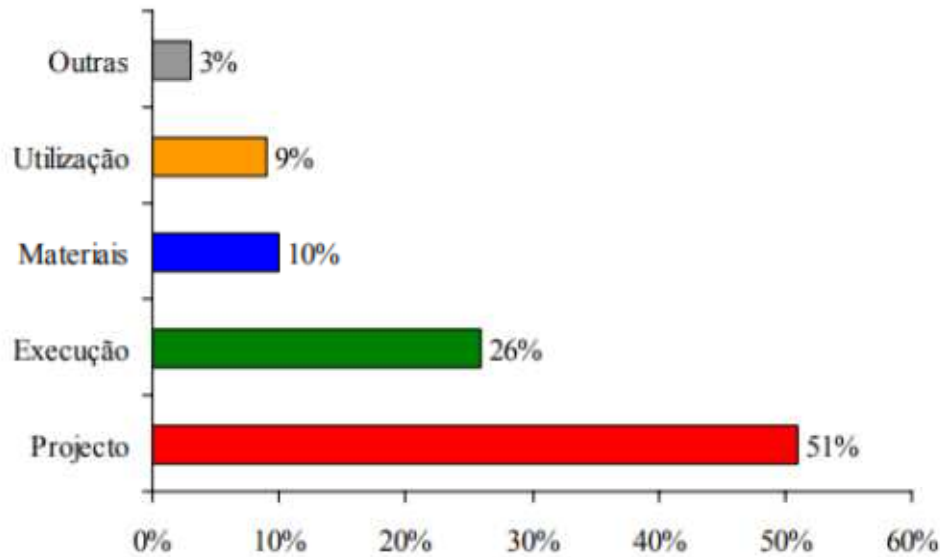
As manifestações patológicas em estruturas de concreto podem ser originadas também devido às falhas humanas em qualquer uma das etapas básicas de construção de uma obra devido a deficiência da qualificação profissional da equipe técnica. (BAUER, 2011)

Essas manifestações podem ocorrer durante as etapas de:

- Concepção do Projeto;
- Escolha dos materiais a ser empregado;
- Execução da Estrutura;
- Uso e manutenção;

Couto (2007) fez um levantamento percentual das etapas em que mais ocorrem as falhas humanas os resultados são expressos conforme a figura 29 abaixo.

Figura 29- Percentual das etapas que mais ocorrem erros na obra.



Fonte: COUTO (2007)

Concepção do Projeto

Segundo Bauer (2011) alguns erros decorrentes da ineficiência da elaboração do projeto estrutural podem ser, a falta de detalhamento ou detalhes mal especificados, como por exemplos armaduras que a sua interpretação seja confusa e difícil leitura no projeto, pode –se citar também:

- Cargas de projeto abaixo das reais, a não consideração de cargas a que a estrutura estará submetida o que levaria a um sub-dimensionamento até provocar sua ruína,
- Fluência do concreto, capacidade do material se deformar sob as mesmas cargas devido a ação do tempo,
- Falta de compatibilização entre projetos, por exemplo, uma tubulação de água fria tendo que passar por dentro de uma viga.

Escolha dos Materiais a ser empregado

Os insumos utilizados na composição do concreto devem ser criteriosamente testados mediante ensaios e assim obedecer aos padrões preconizados por normas sendo escolhidos conforme as características do projeto, obedecendo a utilização e condições ambientais a que estarão sujeitos, ou seja, ser feita a realização do controle tecnológico. (BAUER, 2011).

Os componentes do concreto armado devem obedecer aos critérios de qualidade definido pela NBR 12654 (2000), que fixa o controle tecnológico para a adoção dos insumos necessários para a sua composição.

Segundo Andrade e Silva (2005) os parâmetros que devem ser observados em cada um dos insumos dos materiais são:

- Cimento Portland: Deve inspecionar aspectos físicos e químicos como a sua resistência a compressão, módulo de finura, tempo de pega, expansibilidade, calor de hidratação, teor de aluminato tricálcio e álcalis.
- Agregados: Nos agregados deve ser monitorada sua distribuição granulométrica, formatos dos grãos, teor de umidade e de material pulverulento presença de torrões de argila e de impurezas orgânicas.
- Água de amassamento: A água deve se encontrar isentas de substâncias químicas como cloretos, sulfatos e álcalis além de apresentar pH de indica básico.
- Armadura: O cuidado com a armadura deve ser voltado para a sua resistência observando assim parâmetros como tensão de escoamento, limite de resistência a tração, tensão de ruptura e alongamento.

Erros durante a execução

A deficiência da qualificação profissional no ambiente da construção civil pode ser fator determinante para a durabilidade e vida útil das estruturas de concreto, a execução de estruturas sem a presença de mão-de-obra qualificada pode gerar desde custos adicionais referentes as a reparação de erros como também por em risco a integridade física dos consumidores finais da obra.

Alguns erros na etapa de execução de uma estrutura interferem diretamente na resistência final das peças de concreto como é o caso dos erros desenvolvidos durante a fase da concretagem.

Na etapa de concretagem deve se ter cuidados nas fases de transporte, lançamento, adensamento e cura, pois erros cometidos em quaisquer dessas fases podem levar a segregação entre o agregado graúdo e a pasta de cimento podendo formar assim ninhos de concretagem e cavidades no interior do concreto. (SOUZA E RIPPER, 1998).

Na fase de transporte deve se utilizar meios de transporte que não provoque a segregação entre os agregados e a argamassa, evitar as juntas de concretagem que criam

superfícies sujeitas a perda de aderência e fazer o transporte do concreto do local onde ele foi dosado até onde ele vai ser utilizado de maneira rápida a fim de que a pasta não perca fluidez gerando assim uma redução em sua trabalhabilidade.

A figura 30 mostra o nicho de concretagem em um pilar, um erro bem comum que ocorre durante a etapa de lançamento e de adensamento do concreto e que leva a uma diminuição da resistência da peça além de favorecer o seu ataque por agentes agressivos vindos do meio ambiente.

Figura 30-Nicho de concretagem em pilar.



Fonte: AGUIAR (2006)

A fase de adensamento é a responsável pela expulsão dos espaços vazios na pasta de concreto, a sua execução de maneira correta e eficiente diminui a porosidade do concreto evitando que a massa fique desuniforme influenciando assim diretamente na resistência do concreto.

Segundo Neville (1997), as etapas de lançamento e adensamento são interdependentes entre si sendo executadas quase que ao mesmo tempo sendo assim são as mais importantes para garantir as condições de impermeabilidade e durabilidade do concreto em seu estado já endurecido.

Outro fator muito importante que deve ser analisado para garantir a resistência e durabilidade das peças de concreto é o seu processo de cura, já que ela é de fundamental importância para o desenvolvimento das reações químicas de hidratação dos compostos presentes na composição do concreto. Essas reações de hidratação são importantes para o ganho de resistência mecânica e para a garantia de vida útil do concreto. (SILVA et al.,2012)

Vaz e Silva (2016) definem o processo de cura como sendo o conjunto de medidas que tem como objetivo evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, o que permite o desenvolvimento da resistência do concreto de maneira adequada.

Conforme Neville (1997), a água ao evaporar de um material poroso não totalmente rígido, faz com que ocorra a retração desse material devido a uma diminuição de seu volume. Nas estruturas de concreto o fluxo de água é contínuo e se dá desde o seu estado fresco até as idades mais avançadas. Com isso realizar a cura adequada atua reduzindo os efeitos da retração nas peças de concreto o que diminui a formação de fissuras na superfície das peças.

Bauer (2011) assim como Souza e Ripper (1998) citam outras falhas ocorridas durante a etapa de execução:

- Quanto às formas e escoramentos:
 1. Movimentação das formas prumo e alinhamento durante a montagem; a execução de formas de maneira correta evita a formação de ninhos de pedras, manifestação patológica que ocorre devido a perda da calda de cimento, além de garantir prumo, nível e as dimensões corretas da peça. (MARCELLI, 2007)
 2. Retirada prematura das fôrmas; que faz com que possam surgir deformações indesejáveis na estrutura provocando fissuração.
 3. Falta de estanqueidade das fôrmas, permitindo a perda da pasta de cimento, o que torna o concreto mais poroso devido a pasta perdida por entre as fendas da madeira e leva a uma exposição dos agregados.

- Quanto às armaduras:
 1. Posicionamento errado das armaduras, com o cobrimento inadequado e má distribuição, o cobrimento inadequado de forma diferente ao descrito por norma deixa a armadura mais suscetível ao processo de corrosão.
 2. Interpretação equivocada do projeto pelos responsáveis pela execução faz com que seja feita a inversão do posicionamento correto de armaduras, por exemplo, trocar as armaduras negativas de uma viga com as armaduras positivas.
 3. Armaduras em quantidade diferente da prevista no projeto sejam por incompetência ou por dolo erros dessa natureza interferem diretamente na resistência final da peça podendo causar a ruína de tal estrutura.

Uso e Manutenção

A utilização das obras pelos seus usuários tem que acontecer de maneira prudente, feito isso consegue-se a manutenção das características da estrutura preservando-se assim seu desempenho e garantindo uma maior vida útil. A eficiência que deve ser desempenhada relaciona-se tanto com as atividades de uso, por exemplo, garantir que não sejam ultrapassados os carregamentos previstos em projeto, quanto com as atividades de manutenção, já que o desempenho da estrutura tende a diminuir ao longo da sua vida útil (ANDRADE e SILVA, 2005).

A NBR 5674(2012) traz a definição de manutenção como o conjunto de atividades a serem desempenhadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional de uma edificação e de suas partes constituintes de forma a atender as necessidades e segurança dos usuários.

Como erros gerados devido ao mau uso das estruturas pode citar a colocação de cargas adicionais a marquises que ultrapassem a sobrecarga de projeto, isso faz gerar esforços nas estruturas superiores ao previsto causando assim a propagação de fissuras e até mesmo o seu colapso estrutural.

Souza e Ripper (1998) cita ainda como erros de manutenção a falta de limpeza e de manutenção periódica da impermeabilização das lajes de cobertura, marquises e mezaninos, possibilitando a infiltração prolongada de águas de chuva e o entupimento de drenos, fatores que levam a deterioração da estrutura.

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL DE ESTUDO

Para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado um estudo de caso e o levantamento de dados bibliográficos para melhor compreensão do tema.

O estudo de caso referente a esse trabalho foi desenvolvido em duas obras de importância relevante para o uso da população local. A primeira foi a ponte do Rio Piaba, localizada na BR-104, próxima da cidade de Remígio na Paraíba. Com uma extensão de 31 metros essa ponte que dava acesso às regiões do Curimataú e Seridó Paraibano, desde 2014 encontra-se interditada devido a problemas em sua estrutura, com isso e em virtude da ausência de manutenção o abandono dessa ponte possibilitou o desenvolvimento de várias manifestações patológicas ao longo de sua estrutura.

A segunda obra analisada foi o santuário de Nossa Senhora de Fátima, situada no Parque Ecológico Estadual da Pedra da Boca essa obra é um patrimônio da cidade de Araruna-PB e serve de palco para cultura religiosa local. Inaugurada no ano 2010 o santuário também sofre com a ausência de manutenção e o consequente desgaste em sua estrutura.

As figuras abaixo mostram como era a ponte do Rio Piaba quando ainda era utilizada (figura 31) e em dias atuais depois de sua interdição (figura 32).

Figura 31- Ponte sobre o Rio Piaba.



Fonte: Google Earth (2012)

Figura 32- Ponte sobre o Rio Piaba em dias atuais.



Fonte: Próprio Autor (2018)

A figura 33 mostra uma vista de como é o Santuário de Nossa de Fátima localizado no município de Araruna - PB.

Figura 33- Santuário da Pedra da Boca no Município de Araruna.



Fonte: <https://www.araruna.pb.gov.br>. (Acesso em 10/05/2018)

4.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Os procedimentos utilizados para o levantamento das manifestações patológicas existentes nas obras consistiu na visita ao local para a identificação dos componentes degradados. Cada manifestação patológica identificada foi registrada fotograficamente e de acordo com as suas características e bibliografia consultada foi feito o diagnóstico de suas possíveis causas, sugerindo ainda de forma sucinta técnicas de reparo visando a manutenção da durabilidade das obras em estudo.

Para a determinação das causas das manifestações patológicas nesse trabalho não foi realizado nenhum ensaio, com isso as conclusões e resultados aqui encontrados referenciam-se somente ao embasamento teórico e analítico.

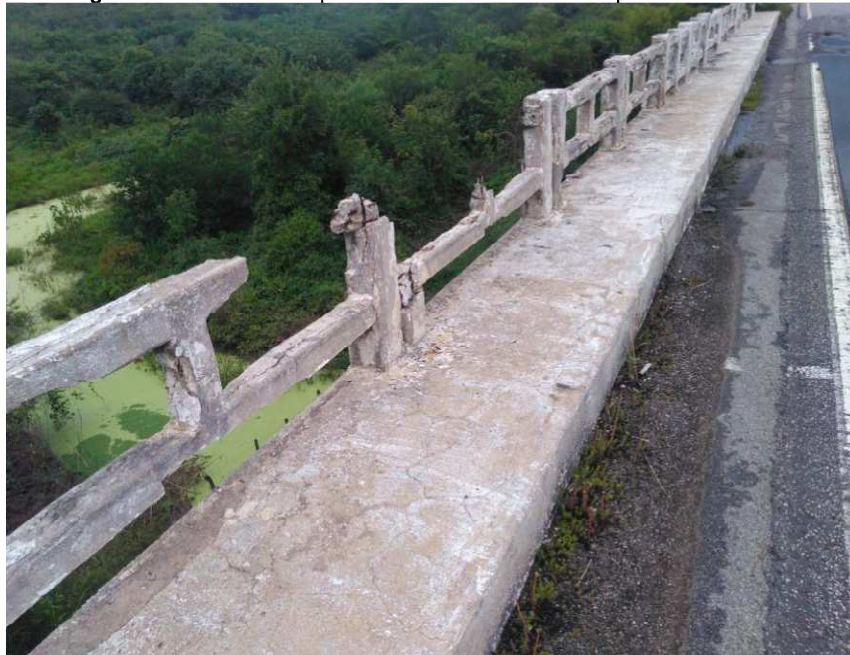
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a identificação das manifestações patológicas foi feito o agrupamento das mesmas com base na origem das suas possíveis causas, assim constatou-se a existência de manifestações geradas por causas mecânicas, físicas, químicas e de falhas humanas além da existência também da corrosão eletroquímica.

5.1 CAUSAS MECÂNICAS

Através da análise do guarda-corpo da ponte notou-se em alguns pontos que o mesmo havia sido danificado (Figura 34), isso provavelmente se deu por meio do choque de veículos com tal estrutura levando assim a sua deterioração. A danificação do guarda-corpo por choques mecânicos facilita a entrada de agente nocivos na estrutura devido à redução no concreto de cobertura, isso foi evidenciado, pois nos locais degradados pelos choques mecânicos verificou-se também a presença de corrosão nas armaduras provavelmente influenciada devido ao fenômeno da carbonatação.

Figura 34- Guarda-Corpo danificado devido a choque mecânicos.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Em alguns pontos do piso no santuário da pedra da boca foram identificada fissuras (Figura 35) provavelmente causadas devido ao recalque da estrutura provocada pelo movimento natural de adensamento do solo, que ao sofrer uma redução em sua camada devido à perda de água nos vazios recalcou a estrutura gerando tais manifestações.

Figura 35- Fissuras causadas pelo Recalque da Estrutura.

Fonte: Próprio Autor (2018)

O quadro 1 abaixo traz as possíveis causas e sugestão de solução para tais manifestações patológicas.

Quadro 1- Manifestações patológicas de origem mecânica e suas possíveis soluções.

Obra	Manifestação Patológica	Possíveis Causas	Sugestão de Reparo
Ponte do Rio Piaba	Guarda-corpo quebrado	Choque de Veículos	Reconstrução dos trechos quebrados do Guarda-corpo.
Santuário da Pedra da Boca	Fissuras ao longo do piso	Recalques diferenciais	Realização de Limpeza com aplicação de injeção nas fissuras a base de resina epóxi. (HELENE,1992)

Fonte: Próprio Autor (2018)

5.2 CAUSAS FÍSICAS

Analisando o tabuleiro da ponte notou-se que depois de serviços de manutenção o mesmo foi coberto por pavimentação flexível, essa modificação levou a interrupção do funcionamento das juntas de dilatação na ponte fazendo com que se formassem fissuras (Figura 36) ao longo de sua extensão por meio da dilatação térmica, fenômeno físico caracterizado pela formação de fissuras devido à restrição da movimentação da estrutura originadas pelas variações climáticas.

O trânsito intenso de veículos sobre a ponte proporcionou um alto atrito entre a camada de rolamento e os pneus dos veículos provocando também o desgaste superficial do pavimento por meio da abrasão (Figura 37) chegando até a base do pavimento rígido.

Figura 36-Pavimento Flexível apresentando fissuras.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Figura 37-Pavimento degradado por Abrasão



Fonte: Próprio Autor (2018)

No Santuário da pedra da boca notou-se o desgaste no material de preenchimento das juntas de dilatação (Figura 38), esse fato acompanhado da variação climática existente no ambiente da obra, levou também ao efeito da dilatação térmica provocando assim fissuras ao longo de sua extensão (Figura 39).

As fissuras foram identificadas em vários lugares ao redor do santuário, ao longo das paredes e pilares confirmando assim ideia de que a dilatação térmica foi a principal causa dessa manifestação ao longo da estrutura.

Figura 38- Fissuras causadas por dilatação térmica. **Figura 39-**Fissuras em Pilar por dilatação térmica.



Fonte: Próprio Autor (2018)



Fonte: Próprio Autor (2018)

O quadro 2 abaixo traz as possíveis causas e sugestão de solução para tais manifestações patológicas citadas.

Quadro 2-Manifestações patológicas de origem física e suas possíveis soluções.

Obra	Manifestação Patológica	Possíveis Causas	Sugestão de Reparo
Ponte do Rio Piaba	Fissuras no Pavimento	Dilatação Térmica, Abrasão	Executar cortes na região que envolve as trincas, remover o pavimento existente e proporcionar a execução de um novo pavimento nessa região. (DNIT 154/2010)
Santuário da Pedra da Boca	Fissuras em pilares	Dilatação Térmica	Realização de Limpeza com aplicação de injeção nas fissuras a base de resina epóxi. (HELENE,1992)

Fonte: Próprio Autor (2018)

5.3 CAUSAS QUÍMICAS

Durante a vistoria realizada na ponte e no santuário constatou-se em vários trechos a presença de manchas com coloração branca (Figura 40 e 41), provavelmente resultante do processo de lixiviação onde o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento endurecida ao entrar em contato com água proveniente da chuva ou umidade ambiente, reagiu formando esses depósitos de carbonato de cálcio. Tais manchas são conhecidas por eflorescência do concreto e atuam tornando o concreto mais poroso o que facilita a entrada de agentes agressivos e torna a estrutura mais susceptível a corrosão.

Figura 40-Eflorescência sob vista lateral da ponte.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Figura 41-Eflorescência em Marquise do Santuário.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Notou-se também a presença de fissuras (Figura 42) ao longo da faixa de passeio da ponte, que devido a sua distribuição em forma de “mosaico” podem ter sua origem nas reações do álcali, presente no cimento, com a sílica, presente nos agregados reativos que ao reagirem produzem compostos, que na presença de umidade se expandem causando o destacamento das camadas de superfície do concreto (Figura 43).

Figura 42- Fissuras com distribuição em aspecto de mosaico característico do ataque por reação álcali-agregado.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Figura 43- Destacamento do concreto da superfície gerado por reação álcali-agregado.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Outra manifestação patológica identificada foi à presença da corrosão (Figura 44 e 45) das armaduras, esse fenômeno pode ter sido desencadeado por fenômenos químicos como o da carbonatação, onde o dióxido de carbono (CO_2), presente na atmosfera ao reagir com o hidróxido de cálcio, presente nos poros do concreto atuou reduzindo a sua alcalinidade e despassivando assim a camada de proteção da armadura. Em concretos com elevada porosidade esse fenômeno tem bastante influencia sobre a degradação da estrutura.

Figura 44- Corrosão ao longo de Viga baldrame do santuário.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Figura 45- Corrosão em guarda-corpo da ponte.



Fonte: Próprio Autor (2018)

A corrosão das armaduras evidenciada nas figuras acima pode ter sido causada pela ação de cloretos sobre a estrutura, contudo devido aos ambientes em que elas se encontram não estarem sujeito a atuação direta desses íons (Cl^-) essa hipótese fica mais difícil de se aceitar, sendo assim a causa mais provável é a carbonatação.

Quadro 3- Manifestações patológicas de origem química e suas possíveis soluções.

Obra	Manifestação Patológica	Possíveis Causas	Sugestão de Reparo
Ponte do Rio Piaba	Fissuras com forma de mosaico ao longo da faixa de passeio	Reação Álcali-Agregado	Realização de Limpeza com aplicação de injeção nas a base de resina epóxi. (HELENE ,1992)
	Eflorescência	Ataque de água pura	Limpeza através de Escovação com escova dura e seca, escovação com escova e água, ou leve jateamento d'água e leve jateamento de areia. (LAPA , 2008)
	Corrosão	Carbonatação, Ataque de Cloretos	Remoção do concreto ao redor das barras corroídas com jatos de ar, seguido da limpeza das barras corroídas com escovas de aço ou jatos de areia, as barras com perda de seção superior a 15% devem ser substituídas e pintadas com pintura antiferruginosa, para por fim ser feito a aplicação da argamassa. (SANTOS, 2012)
Santuário da Pedra da Boca	Corrosão	Carbonatação, Ataque de Cloretos	Remoção do concreto ao redor das barras corroídas com jatos de ar, seguido da limpeza das barras corroídas com escovas de aço ou jatos de areia, as barras com perda de seção superior a 15% devem ser substituídas e pintadas com pintura antiferruginosa, para por fim ser feito a aplicação da argamassa. (SANTOS, 2012)
	Eflorescência	Ataque de água pura	Limpeza através de Escovação com escova dura e seca, escovação com escova e água, leve jateamento d'água e leve jateamento de areia. (LAPA,2008)

Fonte: Próprio Autor (2018)

5.4 CAUSA ELETROQUÍMICA

A corrosão eletroquímica nas barras da armadura foi constatada nas duas obras, na ponte ao longo de seu guarda-corpo vários trechos foram sujeitos a tal ataque, como consequência da corrosão as barras de aço expandiram o seu volume, isso fez com que se houvesse o deslocamento da espessura de concreto que serve de cobrimento para as barras causando assim a exposição das mesmas.

O concreto utilizado no santuário da pedra da boca mostrou-se visivelmente poroso, essa condição favorece a entrada de agentes agressivos do meio ambiente como o dióxido de carbono facilitando assim o processo da corrosão das armaduras.

Figura 46-Corrosão ao longo do guarda corpo da ponte.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Figura 47-Corrosão em passarela do santuário.

Fonte: Próprio Autor (2018)

O quadro 4 adiante mostra as possíveis causas e sugestões de reparo para as estruturas deterioradas.

Quadro 4- Manifestações patológicas de origem eletroquímica e suas possíveis soluções.

Obra	Manifestação Patológica	Possíveis Causas	Sugestão de Reparo
Ponte do Rio Piaba	Desplacamento do concreto e perda de armadura	Corrosão Eletroquímica	Remoção do concreto ao redor das barras corroídas com jatos de ar, seguido da limpeza das barras corroídas com escovas de aço ou jatos de areia, as barras com perda de seção superior a 15% devem ser substituídas e pintadas com pintura antiferruginosa, para por fim ser feito a aplicação da argamassa. (SANTOS,2012)
Santuário da Pedra da Boca			

Fonte: Próprio Autor (2018)

5.5 FALHAS HUMANAS

Na ponte verificou-se a presença de rachaduras ao longo de sua estrutura, em razão da dimensão da rachadura (Figura 48) e do local onde ela foi observada tal manifestação possivelmente se deu em razão de falhas na elaboração do projeto, pois a consideração de cargas inferiores a qual a ponte foi submetida provavelmente levou a seu sub-dimensionamento, resultando assim em tal problema.

A observação das manifestações patológicas na pedra da boca não mostrou indícios de serem resultantes de falhas humanas, as causas que levaram a elas já foram anteriormente citadas.

Figura 48- Rachadura no encontro da ponte do Rio Piaba.



Fonte: Próprio Autor (2018)

Quadro 5- Manifestações patológicas de origem em falhas humanas e suas possíveis soluções

Obra	Manifestação Patológica	Possíveis Causas	Sugestão de Reparo
Ponte do Rio Piaba	Rachaduras	Consideração de cargas de projeto abaixo das reais de uso	Devido ao grau de desenvolvimento da rachadura e de sua posição na estrutura devem ser feitos estudos adicionais quanto a colocação de elementos de reforço na estrutura.

Fonte: Próprio Autor (2018)

6 CONCLUSÃO

Várias são as causas que levam às manifestações patológicas nas estruturas, contudo conforme foi visto, com a elaboração de projetos atendendo as normas, com a utilização de materiais adequados seguindo índices de qualidade e adotando técnicas eficientes de execução das estruturas aliado também a realização da manutenção preventiva pode-se garantir que as obras em concreto armado atendam aos critérios de durabilidade e tenha uma vida útil conforme esperado.

A realização dos estudos de casos na Ponte do Rio Piaba e no Santuário da Pedra da Boca confirmou que a ausência de manutenção nas obras pode fazer com que a degradação da estrutura ocorra de maneira mais rápida e intensa. Na Ponte do Rio Piaba a corrosão das armaduras foi a manifestação mais preponderante tal fato se deve possivelmente ao processo de carbonatação do concreto, ainda assim foi identificadas fissuras ao longo de seu pavimento e das faixas de passeio devido aos efeitos da dilatação térmica, uma vez que o sistema das juntas foi obstruída. Notou-se também fissuras que podem ter sido resultantes da reação álcali-agregados assim como a degradação dos guardas corpos devido a choque de veículos.

No Santuário da Pedra da Boca constatou-se a presença de fissuras em vários pontos ao longo do piso o que pode ter sido ocasionado pelos recalques naturais a que a estrutura está sujeita, outra manifestação evidente foi a presença de manchas brancas ao longo da marquise do altar conhecidas como eflorescência. Foi encontrada assim como na Ponte do Rio Piaba a presença de fissuras devido à dilatação térmica e armaduras com estagio iniciais de corrosão.

A correta identificação das manifestações patológicas com a determinação das suas possíveis causas são os parâmetros necessários para determinar o reparo ideal para realizar-se na estrutura, tal metodologia de reparo baseia-se na manutenção e conservação das características de durabilidade, quando bem executado garante o bom funcionamento da estrutura de forma que se tenha o seu desempenho esperado.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 15577-1. **Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto**. Rio de Janeiro: 2008a.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 12654. **Controle tecnológico de materiais componentes do concreto - Procedimento**, 2000.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 5674. **Manutenção de edificações Procedimento**, 2012.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**, 2014.

AGUIAR, J. E. de; BAPTISTA, M. B.. Erosões nas estruturas de concreto das galerias de águas pluviais urbanas. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, Belo Horizonte, v. 3, n. 4, p.70-90, 11 mar. 2011

AGUIAR, José Eduardo de. **Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas**. Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização /Aperfeiçoamento) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Arquivo em .ppt.

AGUIAR, José Eduardo de. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós graduação em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. 173p.

Andrade, J. J. O., Tisbierck, F. T., Rather, L. P. R., Nobre, T. R. S. **Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química**. In: Anais do 45º Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon, Vitória-ES, 2003. p. 1-12.

ANDRADE, J.J.O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: Iniciação por cloretos**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001, 249 p.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.

ARAÚJO, José Milton de **Curso de Concreto Armado**. 3ª Edição. ed. Rio Grande: Editora Dunas, 2010. 269 p.

ASSIS, Fernando Fernandes de; RABELO, Guilherme Quintino. **Fissuras por movimentação térmica em estruturas de concreto armado**. 2013. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12815: Concreto endurecido — Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear — Método de ensaio**. Rio De Janeiro: ABNT, 2012. 3p.

AZEVEDO, M. T. **Patologia das Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto – Ciência e Tecnologia**. v.2; São Paulo, 2011.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado** – Notas de Aula. UNESP. Bauru, São Paulo, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 1v. 488p.

BONATO, Luciano Cezar. **Reação álcali-agregado, principais causas e estudo de reatividade potencial**. 2015. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concreto:inspeção e técnicas eletroquímicas**. 1ª ed. Goiânia: Editora UFG, 1997. 237p.

CAVALCANTI FILHO, A. N. **Contribuição ao controle tecnológico de concretos estruturais de cimento Portland em ambientes marítimos**. Dissertação (Mestrado)– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CHEMROUK, Mohamed. The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete. **Procedia Engineering**. Argel, p. 713-724. jun. 2015.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. 724f. Tese (Doutorado em engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 2008.

COUTINHO, Joana de Sousa. **Durabilidade: ataque por sulfatos**. Apostila da disciplina. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto (Portugal), 2001.

COUTO, João P.; COUTO, Armanda M.. **Importância da revisão dos projetos na redução dos custos de manutenção das construções**. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO, 3º., 2007, Coimbra. Universidade de Coimbra, 2007. p. 1 - 11.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Norma DNIT 083/2006 - ES: Tratamento de trincas e fissuras – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT: **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários**. Rio de Janeiro: IPR, 2010.

FREITAS JUNIOR, José de Almendra. **Durabilidade do concreto**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, 2013. 137 slides, color.

GOMES, Nivaldo de Almeida. **Estrutura de Concreto Armado Interrompidas em Ambiente Urbano: Avaliação da Carbonatação à Luz das Recomendações da NBR 6118:2003**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 157 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, 2015.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. Porto Alegre, 2005. 326 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HASPARYK, N. P.; LOPES, A. N. M.; ANDRADE, M. A. S.; SANTOS, S. B. Deformações por retração e fluência. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 1v. Cap.22, p.655-685.

HELENE, P. R. L. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto**. Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos, 2001.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2ª ed - São Paulo: PINI, 1992.

ISAIA, G. C. **Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto.** Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos, 2001.

KORMANN, A.C.M. **Estudo do desempenho de quatro tipos de materiais para reparo a serem utilizados em superfícies erodidas de concreto de barragens.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Paraná. 196p., 2002.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil:** causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007.

MEDEIROS, R. A. et al. **Avanço do ataque do ácido acético ao concreto - influência da idade de exposição.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Curitiba, v. 11, n. 1, p.01-09, 01 set. 2015

MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais.** 1.ed. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MENEGHETTI, Leila Cristina. – **Estruturas Danificadas: Segurança e Ações Corretivas.** São Paulo: Universidade de São Paulo-USP, 2016. 45 slides, color.

MORALES, Gilson; CAMPOS, Alessandro; FAGANELLO, Adriana M. Patriota. **A ação do fogo sobre os componentes do concreto.** Semina, Londrina, v. 32, n. 1, p.47-55, mar. 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2ª edição. Tradução de Salvador Giamusso. São Paulo: Pini. 737p., 1997

NOGUEIRA, K.A. **Reação álcali-agregado: diretrizes e requisitos da ABNT NBR 15577/2008**. Belo Horizonte, 2010. 93 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais

PADILHA JÚNIOR, Marcos Antonio et al. **Estado da arte do estudo do ataque por sulfatos em concretos – avaliação de ensaios acelerados versus ensaios de campo**. In: Congresso Técnico Científico Da Engenharia e da Agronomia - CONTECC, 72., 2015, Fortaleza. Anais... . Fortaleza: Soea, 2015. p. 1 - 4.

POGGIALI, F. S. J. **Durabilidade de estruturas de concreto em usinas siderúrgicas**. Monografia (Aperfeiçoamento / Especialização), Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SACIOTO, Adriano Pedroso. **Comportamento frente a ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura**. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SANTOS, M. R. G. **Deterioração das estruturas de concreto armado-estudo de caso**. Monografia (Aperfeiçoamento/Especialização). Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais , Belo Horizonte, 2012)

SOUSA, Alex Lucena de; SILVA, Iago Rhuan Rocha da; CASTRO, Paulo Henrique Machado de. **Retração térmica e fissuração em concreto por calor de hidratação**. 2014. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

TASCA, Maisson. **Estudo da Carbonatação Natural de Concretos com Pozolanas: Monitoramento a Longo Prazo e Análise de Microestrutura**. 2012. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VAZ, Fernando Henrique de Brito; SILVA, Daniela Castro. **O processo executivo de cura do concreto e a sua importância como qualificador do material**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 16º., 2016, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: ENTAC, 2016. p. 1 - 13.

WERLE, Ana Paula; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; KULAKOWSKI, Marlova Piva. Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 11, p.213-228, abr. 2011.