

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

BRENDA OLIVEIRA DELGADO

MARLON CORREA HELMER

SUELLEN DOS SANTOS NOGUEIRA LOSS

VICTOR SANTOS BOZETTI

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS A
AMBIENTES SATURADOS POR CLORETO: ESTUDO DE CASO EM
LINHARES - ES**

Aracruz

2018

BRENDA OLIVEIRA DELGADO

MARLON CORREA HELMER

SUELLEN DOS SANTOS NOGUEIRA LOSS

VICTOR SANTOS BOZETTI

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS A
AMBIENTES SATURADOS POR CLORETO: ESTUDO DE CASO EM
LINHARES – ES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ
como requisito parcial para obtenção do título de
Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Aprício Antonio Barreto Junior

Aracruz

2018

BRENDA OLIVEIRA DELGADO
MARLON CORREA HELMER
SUELLEN DOS SANTOS NOGUEIRA LOSS
VICTOR SANTOS BOZETTI

**ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS A
AMBIENTES SATURADOS POR CLORETO: ESTUDO DE CASO EM
LINHARES – ES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz – FAACZ
como requisito parcial para obtenção do título de
Graduação em Engenharia Civil.

Aprovado em _____ de _____ de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Aprígio Antônio Barreto Junior
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof. Evandro José Pinto de Abreu
Faculdades Integradas de Aracruz
Membro Interno

Prof.^a M.Sc. Julimara Zampa Bitti Black
Faculdades Integradas de Aracruz
Membro Interno

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Declaramos, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico – científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência a fonte e ao autor.

Aracruz, 12 de julho de 2018.

Brenda Oliveira Delgado

Marlon Correa Helmer

Suellen dos Santos Nogueira Loss

Victor Santos Bozetti

Dedicamos primeiramente a Deus, que tanto nos
ama e que é principio e fim de todas as coisas.

As nossas famílias e mestres que estiveram
conosco durante toda essa jornada.

RESUMO

Concreto armado refere-se ao elemento construtivo cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, onde a junção destes torna-o altamente resistente apresentando ampla característica mecânica e durabilidade adequada para a maioria dos usos a qual se destina. Os principais fatores que influenciam a durabilidade do concreto é a agressividade do ambiente em que estará inserida, a especificação adequada quanto à classe de resistência do concreto a ser utilizado, a baixa permeabilidade, a execução e a utilização da estrutura. A ABNT NBR 6118:2014 e NBR 12655:2015 apresentam parâmetros a serem considerados na escolha da composição do concreto de acordo com a classe em que a estrutura está inserida. Quando as especificações não são atendidas de forma satisfatória, sejam elas um erro de projeto, erro de execução ou falta de manutenção, ocorrem diversos problemas/defeitos nas estruturas. Esses defeitos, denominados patologias, ocorrem na armadura ou no concreto e são descritos pela NBR 6118:2014. As armaduras no interior do concreto são protegidas por uma camada ou película protetora de caráter passivo, quando o concreto para de exercer sua função protetora à armadura, ocorre o processo de despassivação, sem essa camada protetora o aço passa então a sofrer o processo de corrosão. De acordo com vários autores, os íons de cloreto são os principais causadores de corrosão das armaduras, visto que tem a capacidade de destruir pontualmente a camada passiva. Esses íons podem ser incorporados ao concreto tanto por fontes externas quanto internas (incorporados à massa do concreto). O objetivo deste trabalho é analisar estruturas de concreto armado expostas a ácido clorídrico (HCL), em uma indústria metalúrgica no espírito santo, levantando as manifestações patológicas ocorridas nas estruturas e as principais hipóteses das causas.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto armado, corrosão, cloreto.

ABSTRACT

Reinforced concrete refers to the constructive element whose structural behavior depends on the adhesion between concrete and reinforcement, where the junction of these makes it highly resistant presenting broad mechanical characteristics and durability suitable for most of the uses for which it is intended. The main factors that influence the durability of the concrete are the aggressiveness of the environment in which it is inserted, the adequate specification as to the resistance class of the concrete to be used, the low permeability, the execution and the use of the structure. In accordance with Brazilian standards 6118:2014 and 12655:2015 present parameters to be considered in the choice of concrete composition according to the class in which the structure is inserted. When the specifications are not met satisfactorily, whether they are a design error, a runtime error, or a lack of maintenance, a number of structural problems / defects occur. These defects, called pathologies, occur in armor or concrete and are described by NBR 6118: 2014. The reinforcement in the interior of the concrete is protected by a layer or protective film of passive character, when the concrete stops to exercise its protective function to the armor, the process of depassivation occurs, Without this protective layer the steel then undergoes the process of corrosion . According to several authors, chloride ions are the main cause of corrosion of the reinforcement, since it has the capacity to punctually destroy the passive layer. These ions can be incorporated into concrete by both external and internal sources (incorporated into the concrete mass). The objective of this work is to analyze reinforced concrete structures exposed to hydrochloric acid (HCL) in a metallurgical industry in the Espírito Santo.

KEY WORDS: Reinforced concrete, corrosion, sodium chloride.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos.....	12
2 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS	12
3 ORIENTAÇÃO DE NORMAS SOBRE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS.....	15
3.1 COBRIMENTO.....	18
4 POROSIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	19
5 PATOLOGIAS NO CONCRETO ARMADO.....	21
5.1 MECANISMO DE DETERIORAÇÃO RELATIVA AO CONCRETO	22
5.1.1 Lixiviação	22
5.1.2 Expansão por Sulfatos	23
5.1.3 Reação álcali – agregado (RAA).....	24
5.2 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO RELATIVOS À ARMADURA	25
5.2.1 Despassivação por carbonatação	25
5.2.2 Despassivação por ação de cloretos	26
5.3 FISSURAS E SUAS CLASSIFICAÇÕES	26
6 CORROSÃO DE ARMADURAS EM CONCRETO	27
6.1 TIPOS DE CORROSÃO	28
6.1.1 Corrosão Generalizada.....	29
6.1.2 Corrosão Puntiforme.....	29
6.1.3 Corrosão por Tensão Fraturante.....	30
6.2 EFEITOS DE CORROSÃO.....	31
7 REAÇÕES QUÍMICAS ENVOLVIDAS	32
8 AÇÃO DOS CLORETOS.....	33
9 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE DADOS	36
10 DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO PELO MÉTODO GUT	37
11 METODOLOGIA	38
12 ESTUDO DE CASO	39
13 DESCUMPRIMENTO DAS NORMAS NA ESPECIFICAÇÃO DOS PROJETOS.....	42

14 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS NO ESTUDO DE CASO.....	44
15 ORDEM DE PRIORIZAÇÃO DAS PATOLOGIAS IDENTIFICADAS NO ESTUDO SEGUNDO A MATRIZ GUT.....	53
16 MANUTENÇÃO CORRETIVA	54
17 AÇÕES PREVENTIVAS	56
18 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, e por muito tempo foi considerado um material incorruptível, entretanto comportamentos variados estão presentes nessas estruturas devido a sua natureza original e o meio ao qual está inserido.

Em meados do século XX começaram a acontecer significantes patologias com elevados custos de recuperação. Na maioria das vezes, provocando perdas estéticas e reduções na capacidade de resistência, podendo ocasionar o colapso parcial ou total na estrutura. A ocorrência dessas patologias deve-se ao aumento da esbeltez e da agressividade do ambiente. O primeiro reduz às medidas das peças estruturais e o cobrimento das armaduras, reduzindo a proteção das mesmas favorecendo a tendência à fissuração. A segunda está relacionada à alteração da hostilidade do ambiente de modo que, fatores como chuvas ácidas, cloreto proveniente de agentes químicos de degelo, água do mar ou borrifação de agentes agressivos de ambientes industriais expõem a matriz de concreto a um nível maior de agressividade potencializando a deterioração.

O mecanismo de degradação por ataques ácidos acontece de fora para dentro, provocando uma redução do pH do concreto. O cloreto, por exemplo, é um sal inorgânico formado por um átomo de cloro e por um metal, e é extremamente prejudicial à vida útil das estruturas de concreto armado, visto que provocam um aumento da condutividade do concreto e atacam a camada passivante que atua como uma barreira protetora à armadura impedindo a oxidação.

O efeito mais comum do ataque por ácidos no concreto armado é a corrosão de armadura que produz significativas perdas na durabilidade e na vida útil de serviço. Polito (2008, p.15) se refere ao processo de corrosão das armaduras como “[...] um processo de deterioração da fase metálica existente, que provoca perda da seção das barras e a formação de produtos expansivos que provocam a fissuração do concreto”.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 ambientes indústrias possuem alto potencial para provocar a degradação de elementos de concreto armado, já que estas estruturas

estão expostas a ambientes saturados por nevoas de sais ricos em cloretos e por ácido clorídrico (HCL) livre. É nesse ambiente que o presente trabalho se insere.

A presente produção foi construída com o objetivo geral de analisar estruturas de concreto armado expostas a um ambiente saturado por cloretos em uma indústria específica localizada na cidade de Linhares no estado do Espírito Santo.

A problemática a ser respondida é: Quais as patologias geradas nas estruturas de concreto armado submetidas à ação de ácido clorídrico, quais os tratamentos realizados para reparo dos danos, quais as possíveis causas que afetaram a vida útil da estrutura.

Para tanto, o estudo será realizado mediante a uma metodologia explicativa através de pesquisas bibliográficas e estudo de caso, que quando aliados se tornam favoráveis para uma melhor produção.

A análise dos projetos estruturais avaliados apontou desconformidades com as exigências das normas vigentes no ano de projeto, gerando atuais patologias e interferindo na durabilidade e vida útil das estruturas.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em geral e específico e são descritos a seguir:

1.1.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo principal realizar uma análise, a partir de um estudo de caso, das patologias existentes em estruturas de concreto armado submetidas a ambientes saturados por cloreto em uma determinada indústria localizada na cidade de Linhares no estado do Espírito Santo.

1.1.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos desta pesquisa:

- a) Levantamento de dados bibliográficos (artigos, livros, teses, dissertações) sobre patologias ocasionadas por cloretos em estruturas de concreto armado;
- b) Desenvolver pesquisa de campo para coleta e análise de dados;
- c) Identificar as falhas do projeto e da execução da obra;
- d) Identificar os fatores que contribuíram para que o tema em questão se materializasse;
- e) Realizar um comparativo entre a Norma Brasileira NBR 6118 – Projetos de estrutura de concreto, Procedimentos – do ano de execução com a norma vigente;
- f) Identificar as patologias encontradas nas estruturas analisadas;
- g) Apontar a ordem de prioridade para o tratamento das anomalias evidenciadas no estudo de caso de acordo com o Método GUT;
- h) Indicar os tratamentos preventivos que poderiam ter sido utilizados durante a construção da estrutura de acordo com a norma, sabendo que a estrutura estaria exposta a um ambiente agressivo;
- i) Verificar quais tratativas foram dadas as estruturas danificadas.

2 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 6118:2014 estrutura de concreto armado refere-se ao elemento construtivo cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, onde a junção destes torna-o altamente resistente apresentando característica mecânica muito ampla e durabilidade adequada para a maioria dos usos a qual se destina. (ANDRADE; Carmem,1992).

Segundo Andrade (1992) uma das vantagens da durabilidade desta união é a dupla natureza que o concreto exerce sobre o aço, além do cobrimento que resulta em uma barreira física, temos a elevada alcalinidade do concreto que forma sobre o aço uma camada passiva que o mantém inalterado por um tempo indefinido.

Ainda de acordo com a NBR 6118:2014 toda estrutura em concreto armado deverá ser projetada e construída de modo a garantir a sua segurança, estabilidade e aptidão ao serviço durante o prazo correspondente a sua vida útil, sob as condições ambientais que estarão inseridas.

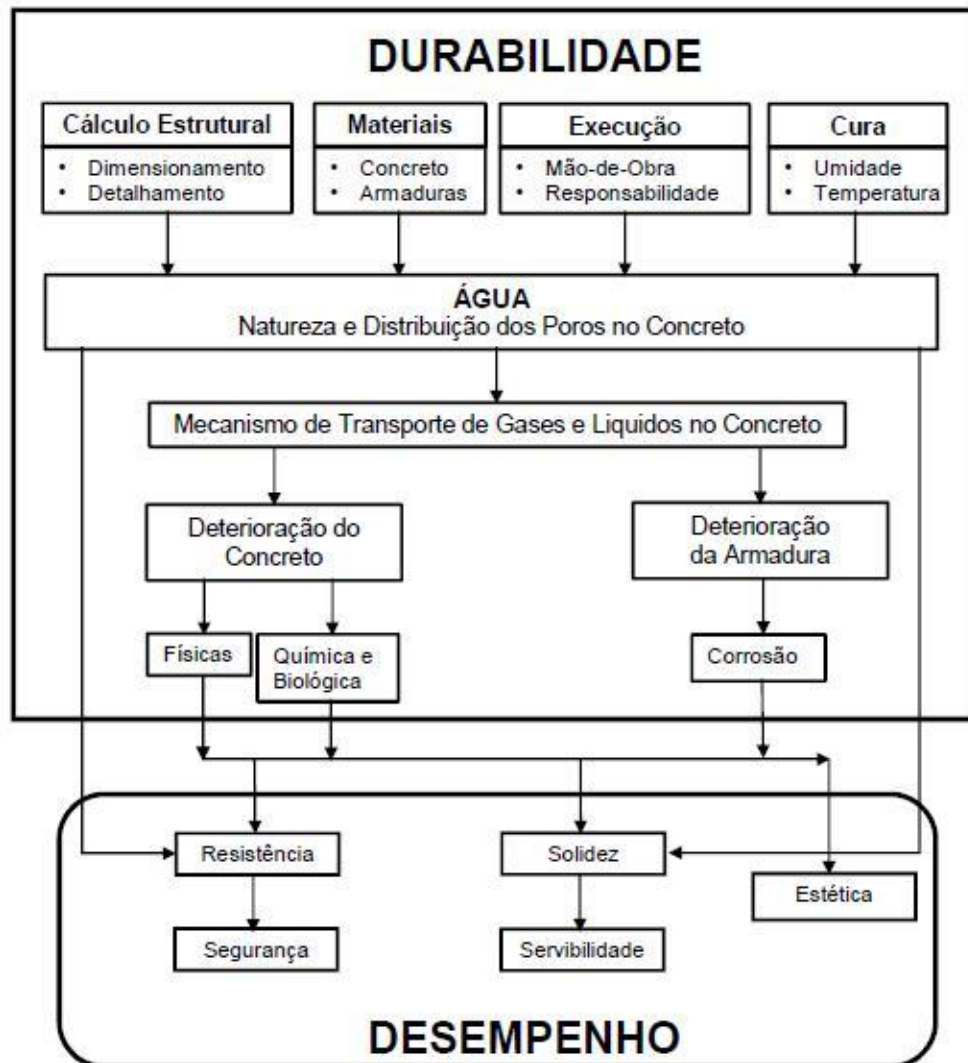
Por definição vida útil da estrutura se refere ao período de tempo ao qual a mesma mantém suas características sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos na sua execução, no uso e manutenção. Quando esses requisitos não são respeitados ou executados de forma satisfatória ocorre à deterioração precoce tanto das estruturas em concreto quanto das armaduras. (ABNT NBR 6118:2014).

Os principais fatores que influenciam a durabilidade do concreto é a agressividade do ambiente em que estará inserida, a especificação adequada quanto à classe de resistência do concreto a ser utilizado, a baixa permeabilidade, a execução e a utilização da estrutura. (Amorin, 2010)

Souza e Ripper (1998) destacam que as classes de exposição da estrutura indicarão as especificações a serem observadas como condição principal para se obter uma construção durável, sendo elas:

- Dosagem mínima de cimento;
- Fator água/cimento máximo;
- Classe de resistência mínima do concreto;
- Cobrimento mínimo das barras de armadura;
- Método de cura.

Figura 1 – Fluxograma da relação entre durabilidade X desempenho



Fonte: Souza e Ripper (1998)

Para classificar uma estrutura como durável deve-se analisar as principais características do concreto como densidade, porosidade, permeabilidade, compacidade, capilaridade e fissuração, sendo que estão diretamente ligadas com o fator água/cimento adotado. (Souza e Ripper 1998).

Mehta (1993) ressalta que a grande ocorrência de problemas em estruturas relacionadas à durabilidade está ligada a baixa permeabilidade do concreto, propiciando condições favoráveis e nocivas às estruturas que estão sujeitas a ambientes agressivos.

3 ORIENTAÇÃO DE NORMAS SOBRE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS

A primeira norma sobre estruturas de concreto data de 1903 e era Suíça. Seguiram-na a Alemã de 1903/1904, a Francesa de 1906 e a Inglesa de 1907. Em 1910 foi publicada a primeira norma Americana para obras em concreto armado (HELENE, 1986, p.17).

Helene (1986, P.17) afirma que em julho de 1931 foi publicada pela Associação Brasileira de Concreto a primeira norma brasileira sobre estruturas de concreto, baseada nas normas Americanas e a apesar de mais completa em relação à de 1910, era muito mais ousada, pois permitia cobrimentos bem inferiores aos exigidos nos países desenvolvidos, e desprezava a agressividade do meio ambiente. O que permitiu verificar ao longo dos anos os enormes prejuízos causados com a perda precoce da vida útil de inúmeras obras públicas e privadas

O texto atual da NBR 6118:2014 adota que a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características, espessura e qualidade do concreto, bem como, do cobrimento sobre as armaduras.

Gaier (2005) determina que o ambiente em que a estrutura de concreto está contida também possui grande relevância, visto que segundo Helene (1986, P.17) ambientes industriais podem acelerar de 60 a 80 vezes mais o processo de corrosão, quando comparadas a situações equivalentes em atmosferas rurais, devido à ação dos gases ácidos que podem corroer a camada de concreto para proteção do aço, facilitando a penetração e ação dos produtos agressivos.

A norma ABNT NBR 6118:2014 determina que a agressividade do meio ambiente em que a estrutura está inserida está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto e ainda fornece em conjunto com a norma ABNT NBR 12655:2015, algumas informações a respeito dos parâmetros a serem considerados na escolha da composição do concreto de acordo a classe em que a estrutura está inserida conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Relação entre classe de agressividade ambiental, risco de deterioração e recomendações da qualidade do concreto

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração	Concreto Recomendável	Relação água/cimento em massa		Classe de concreto		Consumo de cimento por m ³ de concreto (Kg/m ³)
I	Fracá	Insignificante	Efêmero, normal, resistente ou durável	≤ 0,65	CA	≥ C20	CA	≥ C260
				≤ 0,60	CP	≥ C25	CP	
II	Moderada	Pequeno	Normal, resistente ou durável	≤ 0,60	CA	≥ C25	CA	≥ C280
				≤ 0,55	CP	≥ C30	CP	
III	Forte	Grande	Resistente ou durável	≤ 0,55	CA	≥ C30	CA	≥ C320
				≤ 0,50	CP	≥ C35	CP	
IV	Muito forte	Elevado	Durável	≤ 0,45	CA	≥ C40	CA	≥ C360
				≤ 0,45	CP	≥ C40	CP	

Fonte: ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 12655:2015 – Modificado pelos Autores (2018)

A NBR 6118:2014 ressalta que estruturas expostas a ambientes quimicamente agressivos, como é o caso da estrutura estudada neste trabalho, são classificadas por meio da classe IV de agressividade ambiental.

Para essas estruturas a norma ABNT NBR 12655:2015 especifica que deve ser atendido requisitos mínimos de durabilidade expressos no Quadro 2 em relação à máxima relação de água/cimento e o mínimo valor de resistência característica a compressão do concreto.

Quadro 2 - Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição

Condições de Exposição	Máxima relação água/cimento, em massa, para concreto com agregado normal	Máximo valor de Fck (para concreto com agregado normal ou leve) (MPa)
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água	0,50	35
Exposição a processo de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloretos provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água do mar, ou respingos, ou borrifação desses agentes	0,40	45

Fonte: ABNT NBR 12655:2015

Concretos com armadura exposta a cloreto proveniente de agentes químicos de degelo, sal, água salgada, água do mar ou respingos ou borrifação devem atender os requisitos do quadro 2 da NBR 12655:2015 para relação água/cimento e a resistência característica à compressão do concreto devem ser satisfeitos.

A NBR 6118:2014 ainda determina a importância da retração hidráulica, devendo ser evitada toda presença ou acúmulo de água sobre as superfícies da estrutura de concreto, assim como todas as juntas de movimentação ou dilatação devem ser convenientemente seladas a fim de tornar – se estaques a percolação de água.

Ainda em função da preocupação com durabilidade da estrutura, a norma determina que deva ser evitada qualquer disposição arquitetônica que possam reduzir a vida útil da estrutura.

3.1 COBRIMENTO

O concreto de cobrimento desempenha o papel de proteção física da armadura da estrutura, pois impede a penetração do oxigênio, umidade e de agentes agressivos desencadeadores de corrosão, além de garantir o meio alcalino para que a armadura tenha a proteção química (HELENE, 1986).

Segundo NEVILLE (1977), quanto maior a espessura, maior o intervalo de tempo até que a concentração de cloretos junto ao aço atinja o valor limite. Porém é preciso ter clareza durante a especificação, visto que espessuras excessivas também são prejudiciais, pois a presença da armadura é necessária para conter retrações e tensões de origem térmica.

HELENE (1986) admite dizer que para atingir a durabilidade desejada para uma estrutura, é necessário haver uma combinação adequada entre a qualidade do concreto e a espessura de cobrimento, pois não adianta ter um cobrimento espesso se o concreto é muito poroso. Ao empregar um concreto de melhor qualidade é possível reduzir o cobrimento mantendo a mesma vida útil de projeto, e vice – versa. Admitindo uma boa execução e cura efetiva do concreto na estrutura.

Para a especificação do cobrimento em projetos deve – se atender aos requisitos estabelecidos pelas normas. A ABNT NBR 6118:2014 determina cobrimentos para peças de concreto em função da classe de agressividade ambiental, do tipo de estrutura (concreto armado ou protendido) e o seu papel estrutural (lajes, vigas, pilares, e elementos estruturais em contato com o solo).

A norma define cobrimento nominal como sendo o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução, e o cobrimento mínimo da armadura por sua vez é o menor valor que deve ser adotado ao longo de todo o elemento estrutural. Sendo assim, os cobrimentos nominais devem ser respeitados para uma tolerância de execução de 10mm de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Cobrimento nominal em função da classe de agressividade ambiental, tipo de estrutura e tipo de componente estrutural

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato como solo	30		40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

A norma admite reduzir os cobrimentos nominais apresentados no Quadro 3 em 5mm para estruturas com controle rigoroso de qualidade, concretos com classe superior ao mínimo exigido e limites rígidos de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, sendo essas exigências explicitadas nos desenhos de projeto.

4 POROSIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

De acordo com Souza e Ripper (1998) a porosidade é relacionada à razão existente entre o volume de vazios e o volume de total do corpo analisado, onde o quanto maior for mais tolerável será ao transporte de fluidos. A porosidade implica na durabilidade da estrutura onde agentes hostis poderão infiltrar-se e aumentar as chances de desencadear processos de deterioração. No caso do concreto embora pareça ser um sólido homogêneo o autor o define como um sólido-fictício (poroso) e ainda ressalta que, algumas profissionais de maneira errônea o têm como um sólido devido a sua capacidade de resistência e robustez.

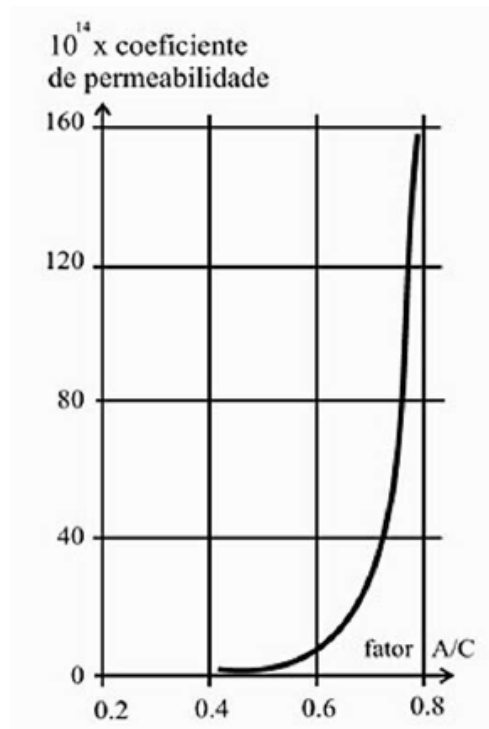
A NBR 6118/2014 menciona porosidade ao expor os mecanismos de deterioração da armadura e recomenda um concreto de baixa porosidade para prevenção de despassivação por ação de gás carbônico ou cloretos na estrutura.

Souza e Ripper (1998) destacam ainda que, o tamanho dos poros e sua distribuição interferem no fluxo de transporte dos fluidos, que por sua vez é um fator de grande impacto na relação entre os agentes degradantes e a estrutura. O fluxo de transporte ocorre por:

- Difusão: É um agente de transporte de gases e substâncias agressivas e a umidade relativa do ar é um fator positivo, pois torna o concreto menos permeável aos gases e água.
- Capilaridade: Os fluidos são adsorvidos pelos canais de porosos.
- Pressão: A estrutura submetida a imersão onde a pressão existente incide diretamente na penetração dos fluidos.

Outro fator que deve ser ponderado é a relação água/ cimento onde o autor por meio do gráfico abaixo mostra a sua variação e o aumento da permeabilidade, que é propriedade do material em permitir o transporte de fluidos (SOUZA e RIPPER, 2009).

Figura 2 – Correlação em fator Água/Cimento e Permeabilidade



Fonte: Souza e Ripper (2009)

5 PATOLOGIAS NO CONCRETO ARMADO

A patologia estuda as origens dos efeitos, como se manifestam e influenciam a construção, podendo comprometer a estrutura quer seja por desgaste prematuro ou por colapso (Souza e Ripper, 1998). A literatura aponta ainda causas que poderiam ser evitados, tais como: erro de projeto, materiais inadequados, mão-de-obra não qualificada e como esses diversos fatores combinados, deterioram a estrutura podendo acarretar em gastos de recuperação e risco aos usuários.

A NRB 6118:2014 separa os mecanismos de deterioração e envelhecimento, que são patologias, conforme o material constituinte da estrutura como mostra o Quadro 4 abaixo:

Quadro 4 - Mecanismo de deterioração em relação ao material constituinte da estrutura

Mecanismo de deterioração relativa ao Concreto	Mecanismo de deterioração relativa à armadura
Lixiviação	Despassivação por carbonatação
Expansão por sulfato	Despassivação por ação de cloretos
Reação álcali-agregado	

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6118: 2014

5.1 MECANISMO DE DETERIORAÇÃO RELATIVA AO CONCRETO

5.1.1 Lixiviação

A NBR 6118:2014 escreve a lixiviação como um mecanismo que promove a dissolução e transporte dos compostos hidratados do cimento por ação de águas puras, ácidas, entre outras. Recomenda que as fissuras sejam restringidas, uma vez que serve de passagem, e que as superfícies sejam protegidas com produtos específicos.

De acordo com Souza e Ripper (1998) a lixiviação é um processo que retira o hidróxido de cálcio presente na massa do cimento Portland, sendo promovido pelo processo de hidratação, onde sempre que for possível a renovação do líquido ocorrerá a redução do pH do concreto. Moreira (2006) ressalta que, a reação entre o hidróxido de cálcio, ácidos e o processo de lixiviação expõe os agregados, aumenta a porosidade do concreto, e diminui o pH levando a corrosão das armaduras. A Figura 3 identifica o processo de Lixiviação em estruturas de concreto.

Figura 3 – Processo de Lixiviação em estruturas de concreto



Fonte: Andrew Sabai (2017)

5.1.2 Expansão por Sulfatos

Souza e Ripper (1998) destacam que um elemento indesejável no cimento é a cal livre, que é oriundo de problemas no processo de fabricação do clínquer ou na hidratação do cimento. Esse cal livre se expande quando hidratado, podendo causar fissuras nos elementos estruturais e reduzir a resistência da estrutura.

De acordo com Gaier (2005) os sulfatos reagem com os hidróxidos de cálcio livres presentes no concreto promovendo:

- Aumento as tensões internas no concreto e causando uma fissuração intensa e contínua, esfoliação superficial do concreto;
- Redução significativa da dureza e da resistência superficial do concreto;
- Redução do pH no interior do concreto;
- Perda de coesão da pasta de cimento;
- Perda de aderência entre a pasta de cimento e a superfície dos agregados;
- Diminuição da resistência do concreto e corrosão das armaduras

A Figura 4 identifica as características da patologia ocasionadas pela expansão por Sulfatos.

Figura 4 – Expansão por sulfato ocasionado em estruturas de concreto



Fonte: Antônio Marcos (2017)

A NBR 6118 aponta que a prevenção pode ser feita como o uso de um cimento resistente a sulfatos conforme ABNT NBR 5737 – Cimento Portland resistente a sulfatos.

5.1.3 Reação álcali – agregado (RAA)

Reis (2001) define que a reação álcali-agregado é proveniente dos materiais usados na composição do concreto (agregados) e sua reação com a solução alcalina oriunda do processo de hidratação do cimento com alta taxa de álcalis. Ressalta que, o processo produz um gel capaz de absorver a água e de igual modo passivo de expansão de seu volume. Essa expansão provoca no concreto fissuras, desagregação, perda de resistência e redução do módulo de elasticidade como identificado na figura 5.

Figura 5 – Reação álcali agregado em estruturas de concreto



Fonte: Empa PSI

A NBR 6118 imputa a responsabilidade do projetista quanto à identificação no projeto do tipo de elemento estrutural e sua interação com presença de água. Também deixa explícito que o profissional deve recomendar medidas preventivas, quanto necessárias, conforme a ABNT NBR 15577-1 (Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto).

5.2 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO RELATIVOS À ARMADURA

5.2.1 Despassivação por carbonatação

Conforme a NBR 6118 a despassivação por carbonatação está ligada a ação do gás carbônico presente na atmosfera e sua interação com o concreto e o aço. Uso de cimentos com baixa porosidade, cobrimento das armadura e controle de fissuração, podem dificultar essa interação (NB4 6118:2014).

LAPA (2008, p. 19) determina que o CO₂ possui uma forte tendência de se combinar com os constituintes da base do concreto hidratado, especialmente o hidróxido de cálcio, vindo provocar a sua degradação. Ainda destaca pode ocorrer a redução do PH de 12,5 para 9,4 e que esse processo favorece o início da corrosão das armaduras. O autor ainda indica que a aceleração do processo está relacionada à umidade relativa do ar, em que, com 60% atinge o seu ápice, ao passo que em ambiente saturado ou seco, o encadeamento é restringido a 20% do presente valor.

5.2.2 Despassivação por ação de cloretos

A NBR 6118 define esta patologia como a descontinuidade local da camada de passivação, proveniente de altos teores de íons – cloretos. Para evitar a sua ocorrência sugere as mesmas medidas adotadas para a carbonatação, entretanto, recomenda também o uso de cimentos compostos de escórias ou pozolânicos. O uso de aditivos com cloretos não é permitido, mas a norma NBR 6118 indica que a NBR 12655, que as proíbem no caso de concreto armado ou protendido, embora faça referência aos teores de cloretos máximos na composição cimentícia conforme os quadros 7 e 8 deste trabalho.

5.3 FISSURAS E SUAS CLASSIFICAÇÕES

Os tipos de fissuras que ocorrem no concreto armado são resultantes de diferentes mecanismos e podem se manifestar no concreto a curto, médio e longo prazo. Tanto em alvenarias quanto em elementos estruturais de concreto, as fissuras são originadas por conta de atuação de tensões nos materiais. Cánovas (1988) afirma que tensões causadas por produtos de corrosão podem atingir valores até 40 Mpa. Fissuras produzidas por estas tensões se estabelecem na direção paralela à barra corroída e são classificadas como fissuras ativas progressivas, visto que têm aberturas que vão aumentando com o decorrer do processo corrosivo (CASCUDO, 1997).

Segundo Olivari (2003) para definir o grau de periculosidade e a urgência do tratamento de uma fissura, deve se proceder à sua classificação e determinar se o processo encontra-se estabilizado ou se as causas ainda atuam sobre a peça.

A classificação de uma fissura pode ser feita mediante a espessura da sua ruptura, conforme especificado no Quadro 5.

Quadro 5 - Classificação de fissuras de acordo com a espessura de abertura

Tipo de abertura	Espessura da abertura
Fissura	até 0,5 mm
Trinca	0,5 mm até 1,5 mm
Rachadura	1,5 mm até 5mm
Fenda	5 mm até 10 mm
Brecha	Maior que 10 mm

Fonte: Olivari, 2003

6 CORROSÃO DE ARMADURAS EM CONCRETO

De acordo com Cascudo (1997) as armaduras no interior do concreto são protegidas por uma camada ou película protetora de caráter passivo, altamente alcalina (pH em torno de 12,5) originada do concreto. Essa película protetora de caráter transparente e imperceptível atua como uma barreira impedindo a oxidação posterior (ANDRADE,1992; HELENE, 1993). Esse mecanismo de proteção do concreto à armadura é conhecido como passivação.

Quando o concreto para de exercer sua função protetora à armadura, ocorre o processo de desp passivação, geralmente, devido à penetração de elementos agressivos contidos ou oriundos de fontes externas que atuam sobre a estrutura de concreto. Pode haver a redução do pH do concreto que reveste a barra ou rompimento da película protetora. No caso das armaduras, a presença dos íons cloretos e a carbonatação do concreto são os principais indiciadores da corrosão (HELENE, 1993; SILVA, 2003).

A corrosão de armaduras está entre as diversas manifestações patológicas que ocorrem nas estruturas de concreto armado, como já comprovado por diversos

autores. A corrosão, segundo HELENE (1986) é “uma interação destrutiva de um material com o meio ambiente, seja por ação física, química, eletroquímica ou a combinação destas”.

Panossian (1993 apud Cascudo, 1997) define a corrosão metálica como a transformação de um metal em íon metálico pela sua interação química ou eletroquímica com o meio em que se encontra. Cascudo (1997) reforça que quando ocorre à corrosão, o metal perde suas qualidades essenciais como resistência mecânica, elasticidade e ductilidade.

Dutra (1999) prefere definir o termo simplesmente como “deterioração dos materiais pela ação do meio”.

De forma geral, pode se definir corrosão do aço como a relação do material com a ação química ou eletroquímica do meio ambiente, que tem como consequência a deterioração do aço, causando perda de funcionalidade.

6.1 TIPOS DE CORROSÃO

Classifica-se corrosão de acordo com a natureza do processo e de acordo com sua morfologia. Segundo a natureza do processo, classifica-se a corrosão em química e eletroquímica. A primeira é conhecida como corrosão seca ou oxidação, um processo extremamente lento, salvo pela existência de gases agressivos na atmosfera, e ocorre por uma oxidação gás-metal criando uma película de óxido. (POLITO, 2006).

Já a corrosão eletroquímica é a consequência da formação de uma célula de corrosão, com eletrólito e diferença de potencial entre pontos da superfície (POLITO, 2006).

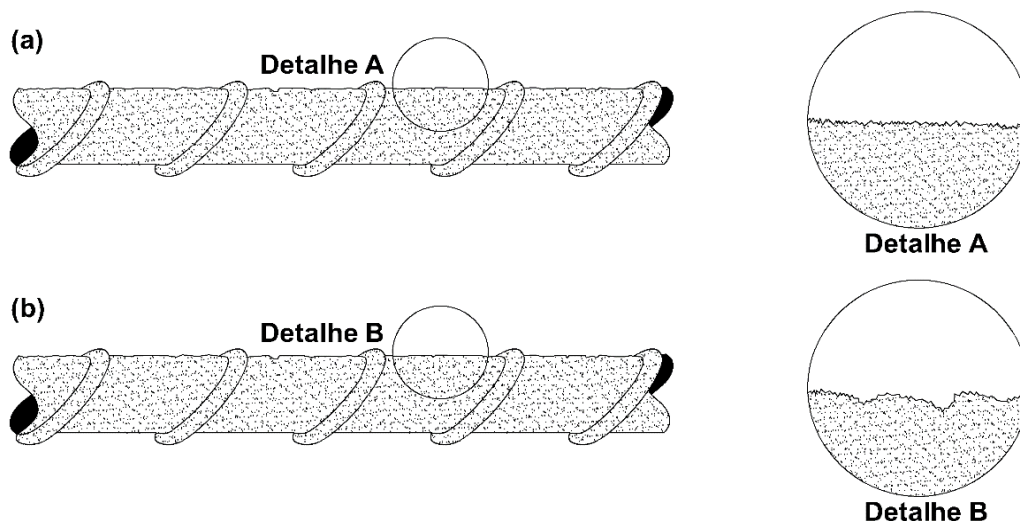
Para CASCUDO (1997), a corrosão da armadura de concreto é um caso específico de corrosão eletroquímica, onde o eletrólito, nesse tipo específico, é representado pela umidade no interior do concreto, apresenta uma considerável resistividade eletrônica.

Segundo a sua morfologia a corrosão pode ter diversas classificações, mas para o presente estudo nos concentraremos em três tipos: Corrosão generalizada, corrosão puntiforme e corrosão por tensão fraturante. (ANDRADE 1992; GENTIL, 2006; SOUZA E RIPPER 2009; CASCUDO, 1997).

6.1.1 Corrosão Generalizada

A corrosão generalizada, de acordo com CASCUDO (1997), acontece por toda a face da superfície do metal, podendo ser maneira uniforme, com a superfície com tendência lisa e regular, ou não uniforme, uma superfície com tendência rugosa e irregular como mostra a figura 6.

Figura 6 – Aspectos da corrosão generalizada uniforme (a) corrosão generalizada não uniforme (b) em superfícies metálicas (em corte).



Fonte: CASCUDO (1997)

6.1.2 Corrosão Puntiforme

A corrosão acontece em pontos ou pequena área localizada na superfície metálica criando os chamados pite. De acordo com Gentil (2006) os pites são cavidades que apresentam o fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que o seu diâmetro como identificado na figura 7.

Figura 7 – Pite em tubo de aço-carbono



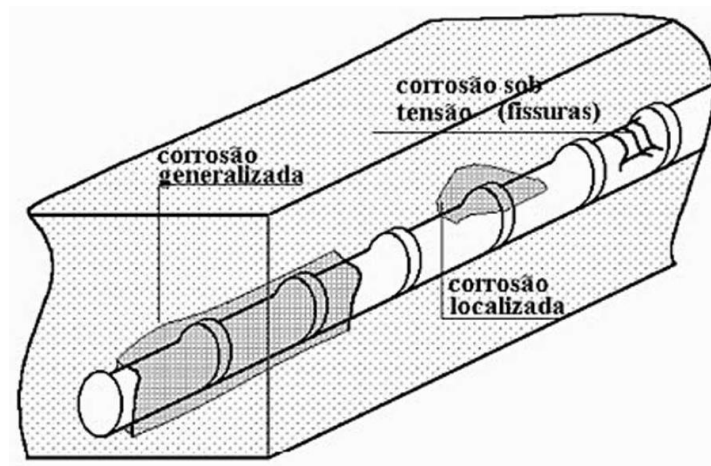
Fonte: GENTIL (2006)

6.1.3 Corrosão por Tensão Fraturante

A corrosão por tensão fraturante também é um tipo de corrosão localizada que acontece simultaneamente com uma tensão na armadura, podendo dar origem à propagação de fissuras na estrutura. (CASCUDO, 1997).

Andrade (1992) cita esse tipo de corrosão como um fenômeno muito específico e pouco frequente que, no geral, associa-se à qualidade precária do concreto.

Figura 8 – Tipos de corrosão de uma barra de aço imersa em meio concreto.



Fonte: Souza e Ripper (2009)

6.2 EFEITOS DE CORROSÃO

De acordo com Andrade (1992), os efeitos da corrosão se manifestam de três formas distintas:

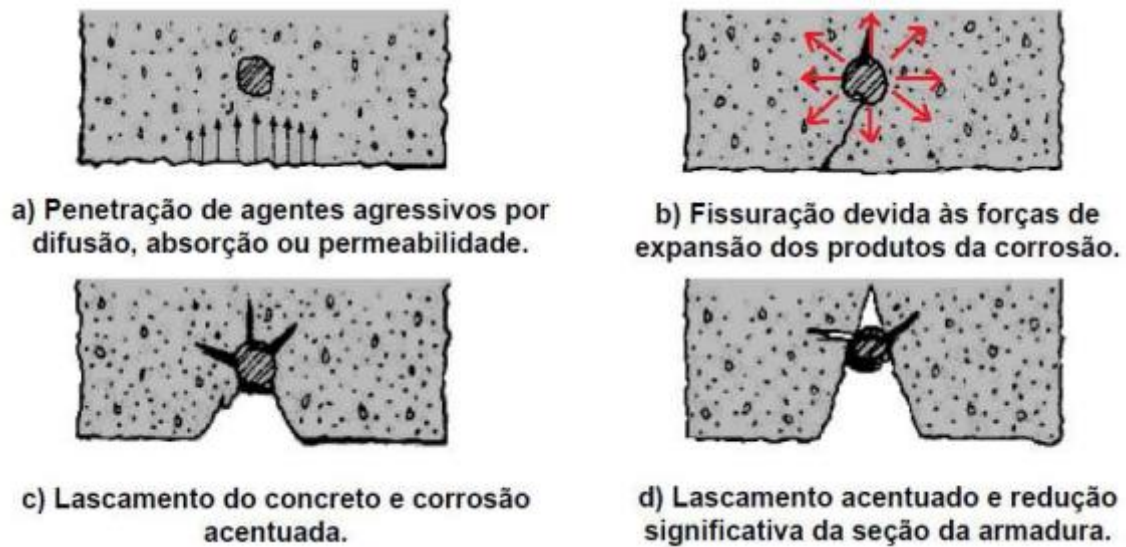
- a) Sobre o aço com uma diminuição de sua capacidade mecânica;
- b) Sobre o concreto quando este se fissa;
- c) Sobre a aderência aço/concreto.

Referente ao primeiro efeito o que acontece é uma redução da tensão de escoamento do material e a redução da área de aço da seção transversal que compõem a barra, comprometendo a capacidade mecânica do aço.

Em relação ao segundo efeito, tensões radiais aparecem deformando o concreto e submetendo-o a tensão de tração por causa dos produtos derivados das armaduras que são mais volumosos que o aço original. Cascudo (1997) afirma que os produtos de corrosão podem ocupar no interior do concreto volumes de 3 a 10 vezes mais ao volume original do aço da armadura, podendo exercer uma pressão de expansão de 32 Mpa sobre o concreto, fraturando – o.

Quando o cobrimento se fissa longitudinalmente ao longo da armadura, pode ficar seriamente comprometida a comprovação dos estados limites de ancoragem e superposição por transpasse (ANDRADE, 1992). A figura 9 identifica a penetração dos produtos de corrosão no concreto e ilustra os esforços produzidos por esses produtos e que levam a fissuras e deslocamento do concreto.

Figura 9 – Efeitos dos produtos expansivos das reações de corrosão



Fonte: Helene (1986)

Em relação ao terceiro efeito, de acordo Andrade (1992) tendo como consequência a perda de ductilidade, a estrutura pode passar por períodos que diminuem os deslizamentos relativos aço/concreto durante as primeiras fases do processo corrosivo. Calavera apud Helene (1986) diz, por experiência própria, que a aderência aço/concreto de barras corroídas, seja qual for o grau de corrosão, é sempre maior que a de barras não corroídas, explicado pela maior área de contato oferecida pela barra corroída em relação à barra não corroída.

7 REAÇÕES QUÍMICAS ENVOLVIDAS

De acordo com Pellizzer (2015) existem três elementos básicos para a propagação da corrosão nas estruturas, os eletrólitos, a diferença de potencial e oxigênio, além destes pode existir ainda os agentes agressivos. Quando a presença de agentes agressivos, estes contribuem de forma a acelerar o processo corrosivo, pois aumentam consideravelmente a condutibilidade elétrica dos eletrólitos.

No desencadeamento do processo corrosivo é necessário que atuem em conjunto o eletrólito e a diferença de potencial. A diferença de potencial pode ocorrer em função

da diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão no concreto e no aço e na ausência de uniformidade na composição do aço. Quando um dos elementos é retirado ou é impedido a entrada de oxigênio, o processo corrosivo é paralisado (SILVA, Edvaldo. 2010).

Segundo Pellizzer (2015) os agentes agressivos podem ser: ions de Sulfetos, cloretos, dióxido de carbono, os nitritos entre tantos outros. Entretanto os cloretos tem atenção especial visto que agem como despассивadores na fase inicial do processo corrosivo e catalisadores na fase de propagação.

A fase inicial consiste no período de tempo desde a execução da estrutura ate o momento em que os agentes agressivos penetram na estrutura despассивando a armadura, mas sem comprometer sua função estrutural. Já na fase de propagação temos efetivamente o comprometimento da estrutura tanto de sua estabilidade quanto de sua aparência. Tuuti (1980) aput Cascudo (1997).

8 AÇÃO DOS CLORETOS

De acordo com Silva (acesso em 20 de abril de 2018) o cloreto é o nome dado à partícula iônica CL, trata-se de um sal inorgânico formado pelo átomo de cloro como ânion e um metal como cátion. Os sais formados pelo ânion cloro estão presentes em muitas substâncias naturais tais como: água potável, agua de poço, água para caldeiras e água destilada.

Os cloretos são citados na literatura como os principais causadores da corrosão dos metais (Cascudo, 1997) estes íons tem o poder de destruir de forma pontual a camada passivante sobre a armadura e com a presença de agua e oxigênio ocorre à corrosão. (Fortes, 1995). A essa corrosão provocada pelos cloretos se da o nome de pite (Andrade, 1992).

Existem varias formas dos íons de cloretos serem incorporados ao concreto, podendo dividi-las em fontes externas que penetram no concreto através da rede de poros e Internas (incorporadas à massa do concreto) (Andrade, 1992). O Quadro 6 nos traz de forma simplificada essas fontes.

Quadro 6 - Fontes de penetração dos íons de cloretos

Fontes externas	Incorporados à massa de concreto
Maresia ou névoa de ambiente marinho	Aditivos aceleradores de pega e endurecimento
Água do mar (zonas de respingo e variação de maré)	
Sais de degelo	Água de amassamento contaminada
Processos industriais	
Solos contaminados	Agregados contaminados
Lavagens com ácido muriático	

Fonte: Adaptado de Cascudo (1997)

Andrade (1992) afirma que todas as normas nacionais e internacionais limitam a quantidade de cloretos no concreto fresco, que varia de um país para outro, visto a dificuldade em se estabelecer um limite seguro que não cause a despassivação da armadura. Essa dificuldade se dá, pois esse limite depende de diversas variáveis tais como tipo do cimento, relação água/cimento, umidade e outros.

Os Quadros 7 e 8 mostram os teores limites aceitos pelas normas internacionais e a norma nacional NBR 12655:2015.

Quadro 7 - Teor limite de cloretos propostos por diversas normas

Teor de cloretos limite (% de massa de cimento)			
Cloreto	Em massa	Armado	Protendido
EH - 88	1,5 - 2	0,4	-
PrEM 206	-	0,4	0,2
BS - 8118 -1985	-	0,2 - 0,4*	0,1
ACI -318 - 83	-	0,15 - 0,3 - 1**	0,06
FIP - 1985 (Design of concrete sea structures)	-	-	-
* Limite varia em função do tipo de cimento			
** Limite varia em função da agressividade ambiental			

Fonte: Adaptado de Andrade (1992)

Quadro 8 - Teor máximo de íons cloretos para proteção das armaduras do concreto

Classe de agressividade (Item 5.2.2)	Condições de serviço da estrutura	Teor máximo de íons cloreto (Cl-) no concreto - %sobre massa de cimento
Todas	Concreto protendido	0,05
III e IV	Concreto armado exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,15
II	Concreto armado não exposto a cloretos nas condições de serviço da estrutura	0,3
I	Concreto armado em brandas condições de exposição (seco ou protegido da umidade nas condições de serviço da estrutura)	0,4

Fonte: ABNT NBR 12655:2015

De acordo com a NBR 6118:2014 e NBR 12655:2015 não é permitido o uso de aditivos contendo cloretos em estruturas de concreto armado e protendido.

Segundo o ACI 222 apud Helene (1993) existem três teorias sobre como os cloretos agem despassivando a armadura são elas:

- Teoria do filme oxido: os íons de cloreto conseguem penetram com maior facilidade que outros íons agressivos através de defeitos no filme de óxidos passivante;
- Teoria da absorção: os íons de cloreto são absorvidos na superfície do metal em competição com o oxigênio dissolvido e os íons de hidroxila, assim promovem a hidratação dos íons metálicos facilitando sua dissolução;
- Teoria do complexo transitório: diz que há uma competição entre os íons de cloreto e os íons hidroxilas para a formação de íons ferrosos pela corrosão, para formação de compostos de corrosão solúveis, chamados de complexos transitórios, este pode se expandir destruindo a camada protetora permitindo que o processo corrosivo continue.

Dentre as teorias citadas acima, segundo Freire (2005) a do complexo transitório é a mais aceita atualmente.

9 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DE DADOS

Ao analisar problemas patologias em uma edificação, torna-se imprescindível efetuar uma vistoria cautelosa e detalhada para determinar a real condição da estrutura (MAZER, 2012).

Em estruturas de concreto armado, é necessário realizar uma avaliação precisa de todas as anomalias existentes e reunir dados técnicos fundamentais para analisar os problemas, de forma a propor a terapêutica adequada (CARVALHO, 2009). Para Mazer (2012) a inspeção visual é o primeiro ensaio a ser realizado em qualquer componente de estudo, visto que se trata de um ensaio simples que possibilita detectar os tipos de manifestações patológicas e como ela se apresenta, podendo ser de maneira generalizada ou localizada. (CARVALHO, 2009). Para isso, julga-se de alta importância a elaboração de um relatório fotográfico amplo. Por meio disso podem-se definir os procedimentos técnicos fundamentais a análise das anomalias (CARVALHO, 2009).

Segundo Carvalho (2009) existe outros meios utilizados para o estudo de patologias existentes em elementos estruturais em concreto armado, como determinação do potencial alcalino do concreto por meio de uma substância conhecida como fenolftaleína, à determinação dos teores de cloretos e sulfatos existentes na estrutura e no ambiente em que ela está inserida, a determinação do potencial de corrosão, testes de resistência à tração e compressão do concreto. Porém essas metodologias não serão abordadas nesta pesquisa.

10 DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO PELO MÉTODO GUT

Proposta por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe a matriz de priorização GUT (Gravidade, urgência e Tendência) é uma ferramenta de Gestão da Qualidade proposta para definir prioridades de forma racional a diversas alternativas de ação. Consiste em analisar a gravidade ou intensidade do problema, a urgência ou tempo necessário para a resolução dos problemas e a tendências ou apresentação do desenvolvimento que o problema terá na ausência da ação.

O método é recomendado pelo Instituto Brasileiro de avaliações e Perícias Brasileiras (IBAPE) para estabelecer a ordem de prioridades na aplicação das terapias de correção. Para Periard (2011) a principal vantagem no uso da Matriz GUT é que o auxílio oferecido ao gestor possibilita uma avaliação quantitativa dos problemas estudados, tornando possível a priorização das ações corretivas e preventivas para extermínio total ou parcial do problema.

A técnica consiste em listar os problemas ou pontos de análise a serem sanados e atribuir uma nota de 1 a 5 para cada problema listado, dentro dos três aspectos principais que serão analisados: Gravidade, Urgência e tendência. Os pontos da escala GUT atribuídos a cada problema são multiplicados dando origem ao grau de prioridade para aquele problema. Desta forma, dentro de uma comparação, é possível indicar qual situação possui maior relevância segundo os valores máximos obtidos e tomar as decisões estratégicas cabíveis (SOTILLE, 2014).

O método se utiliza de três parâmetros de decisão propostos pelo método GUT. Após a listagem dos problemas, atribui-se os valores, em uma escala crescente de 1 a 5, às características de cada problema. O Quadro 9 apresenta a definição de cada parâmetro e propõe os critérios de pontuação empregados pelo método de acordo com Oliveira (1995).

Tabela 9 - Parâmetros e critérios de pontuação do método GUT

Pontos	Gravidade	Urgência	Tendência
	Consequência se nada for feito	Prazo para tomada de decisão	Proporção do problema futuro
5	Prejuízos extremamente graves	É necessária ação imediata	Se não for feito, agravamento imediato
4	Muito graves	Com alguma urgência	Vai piorar a curto prazo
3	Graves	O mais cedo possível	Vai piorar a médio prazo
2	Pouco graves	Pode esperar um pouco	Vai piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Não tem pressa	Não vai piorar

Fonte: Oliveira (1995)

11 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido mediante a uma metodologia explicativa através do método de pesquisa qualitativa, apoiando se em técnicas de coletas de informações. Segundo Neves (1996, p.01), a pesquisa qualitativa implica em obter dados descritivos que expressam a complexidade do problema sem necessariamente enumerar ou medir eventos.

O estudo foi desenvolvido a partir de dois métodos diferentes: pesquisa bibliográfica e estudo de caso que apesar das diferenças, quando aliados, estes dois métodos tornam – se favoráveis para uma melhor análise.

A pesquisa contou com uma seleção criteriosa de literaturas existentes sobre o tema, a qual tomou como base: dissertações, teses, artigos e livros. Com a seleção dos dados podemos compreender melhor as patologias e ações que as estruturas podem estar sujeitas de forma a atender os nossos objetivos e realizar o estudo de caso com mais clareza e precisão.

O estudo de caso foi realizado em uma empresa metalúrgica, onde o objeto estudado foram estruturas em concreto armado expostas á um meio extremamente agressivo sendo possível elencar as informações adquiridas pela revisão bibliográfica e as patologias encontradas. Paralelamente à revisão bibliográfica, foi

utilizada a técnica de inspeção visual para as avaliações das características visuais em função da presença de manifestações patológicas, coletando dados e registros fotográficos das mesmas.

Ao verificar as estruturas encontramos erros de projetos e execução que geraram patologias e estas são relevantes quanto à deterioração precoce.

De maneira a organizar as informações colhidas em campo e analisá-las conforme a fundamentação teórica contido nesse trabalho foi elaborada uma planilha contendo a identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas neste estudo de caso. Além disso, foi realizada uma análise bibliográfica do Método GUT, indicando a sua finalidade para obtenção da ordem de priorização para o tratamento das anomalias encontradas no local estudado.

12 ESTUDO DE CASO

O estudo foi realizado em uma indústria metalúrgica localizada no município de Linhares no estado do Espírito Santo. A indústria foi escolhida tendo em vista que um dos seus processos consiste no tratamento superficial de estruturas metálicas, a Galvanização a quente.

A Galvanização a quente consiste na imersão da peça de aço ou ferro pré- tratada quimicamente, em um banho de zinco fundido para obtenção do revestimento contra a corrosão. (Olivato, 2000)

O pré – tratamento químico das peças metálicas é denominado por decapagem, esse processo tem por finalidade a remoção de partículas que estejam recobrando a peça e possam prejudicar a aderência da camada de zinco. Consiste na imersão das peças em um tanque contendo ácido clorídrico (HCL). O ácido clorídrico tem como característica ser gasoso em temperatura ambiente, comercialmente ele é vendido a industrial em uma solução aquosa de 33 a 34%. Ele fica contido dentro de tanques aberto de polipropileno para imersão das peças. Os vapores que saem do tanque saturam o ambiente e conseqüentemente as estruturas em concreto, por ser um ambiente fechado os vapores aos entrarem em contato com o telhado, condensam escorrendo pelas paredes.

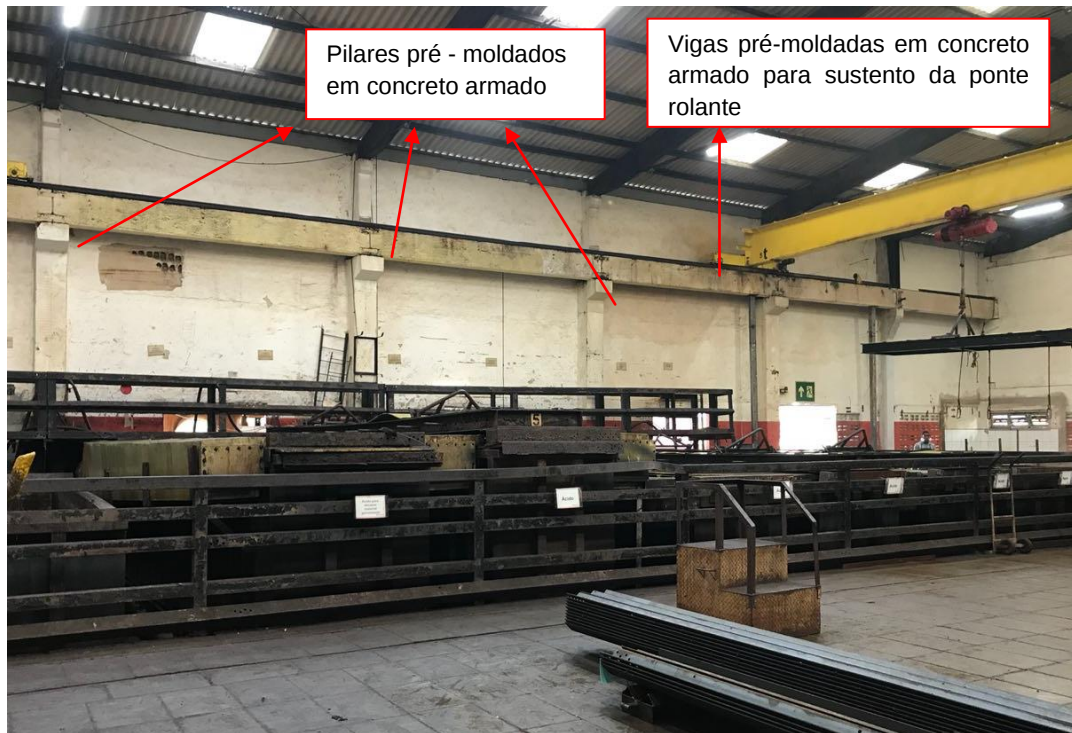
Figura 10 – Vapor de ácido clorídrico dos tanques de decapagem



Fonte: Autores (2018)

As estruturas analisadas foram pilares pré-moldados em concreto armado compostos por consolos para apoio da calha e das vigas de sustento para a ponte rolante, vigas pré-moldadas em concreto armado para sustento da ponte rolante, conforme identificados na Figura 10, e um tanque em concreto armado revestido internamente com fibra de vidro, onde era armazenado o ácido clorídrico, atualmente está desativado visto que a estrutura se encontra em estado de deterioração. A Figura 11 identifica o tanque que está em desuso atualmente.

Figura 11 – Galpão de decapagem da indústria onde foi realizado o estudo de caso



Fonte: Autores (2018)

Figura 9 – Tanque em concreto armado onde era armazenado ácido clorídrico.



Fonte: Autores (2018)

13 DESCUMPRIMENTO DAS NORMAS NA ESPECIFICAÇÃO DOS PROJETOS

De acordo com a NBR 6118:2014 item 6.1, para conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas sob condições ambientais previstas na época do projeto e utilizadas conforme recomendado em projeto.

Os projetos estruturais analisados nesse estudo foram produzidos nos anos de 2000 e 2011, tendo as normas NBR 6118:1980 e NBR 6118:2003/Emd.1:2007 como normas regulamentadoras para elaboração de projeto de acordo com o ano vigente.

A NBR 6118:1980 cita no item 6.3.3.2 que, além do cobrimento mínimo de 4 cm para meios agressivos, medidas especiais devem ser adotadas para o aumento da proteção da armadura de acordo com as condições em que o concreto está sujeito. No item 8.2.2 menciona como cuidados especiais em ambientes agressivos a escolha dos materiais e a relação água/cimento, mas não menciona qual o limite do fator e nem referência que traga essa informação.

A NBR 6118:2003/Emd.1:2007 apresenta na tabela 6.1 item 6.4 a agressividade do meio ambiente relacionada as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. Cita também na tabela 7.1, de acordo com a classe de agressividade, a relação água/cimento em massa e a classe do concreto a serem adotados, além do cobrimento mínimo de 5 cm, previsto na tabela 7.2, como descrito no decorrer da revisão bibliográfico deste trabalho.

A análise dos projetos estruturais avaliados nesse estudo de caso apontou desconformidades com as exigências das normas vigentes no ano de projeto, gerando atuais patologias e interferindo na durabilidade e vida útil das estruturas como apresentados no quadro 10.

Quadro 10 - Exigência das normas X Especificação de Classe de concreto e cobrimento mínimo para o projeto estudado

	Exigências da norma		Especificação no projeto estudado		
	NBR 6118:1980	NBR 6118:2003/Emd.1:2007	Pilares (2000 e 2011)	Vigas pré-moldadas (2000 e 2011)	Tanques (2000)
Classe do concreto	> 9 Mpa	> 40 Mpa	25 Mpa	30 Mpa	Não especificado em projeto
Cobrimento mínimo	4 cm	5 cm	2,5 cm	2,5 cm	2.5 cm

Fonte: Autores (2018)

A NBR 6118:2014 classifica a estrutura estudada nesse trabalho em classe IV de agressividade ambiental e determina para essas estruturas parâmetros a serem considerados para evitar o retardo na vida útil e durabilidade.

O descumprimento das exigências da classe de concreto e cobrimento mínimo elaborados pelas normas geraram diversas manifestações patologias que serão identificadas no próximo item deste trabalho (Quadro 11).

14 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS IDENTIFICADAS NO ESTUDO DE CASO

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(Continua)

ITEM 1 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Fissuras superficiais	Fissuras superficiais (estreitas e alongadas) com espessuras de até 1mm na pintura das paredes do galpão de decapagem	1) Estrutura submetida à ambiente com alta borrifação de agentes agressivos

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(continuação)

ITEM 2 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Trincas de (1,4 a 2 mm) na direção das armaduras principais de Pilares	Manifestações localizadas em pilares do galpão I de decapagem	1) Insuficiência de cobrimento visto que foi evidenciado nos pilares pré-moldados que o cobrimento é de 2.5 cm sendo que a norma NBR 6118, determina nas suas respectivas revisões de 1980 e 2014 que o cobrimento mínimo deveria ser 4 a 5 cm; 2) Utilização de concreto de baixa qualidade para condições especiais de exposição.

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(continuação)

ITEM 3 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Trincas de (1,4 a 2 mm) na direção das armaduras principais de Pilares	Manifestações localizadas em pilares do galpão II de decapagem	1) Insuficiência de cobrimento visto que foi evidenciado nos projetos dos pilares pré-moldados a especificação de cobrimento de 2.5 cm sendo que a norma NBR 6118, determina nas suas respectivas revisões de 1980 e 2014 que o cobrimento mínimo deveria ser 4 a 5 cm; 2) Utilização de concreto de baixa qualidade para condições especiais de exposição.

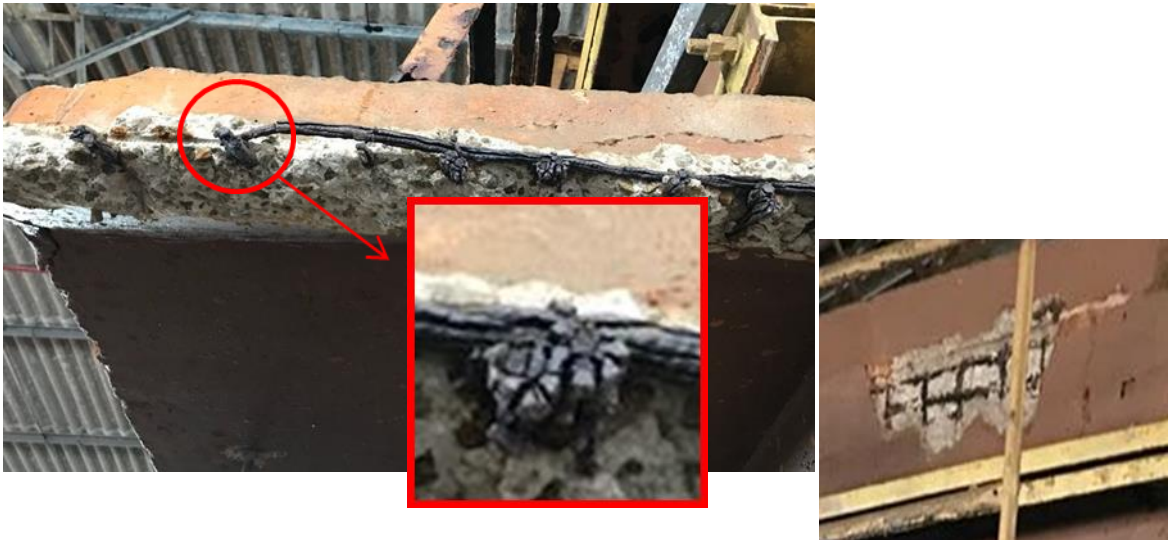
Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(continuação)

ITEM 4 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Corrosão de Armaduras	Foi identificada corrosão de armaduras no tanque onde era armazenado o ácido clorídrico e que está desativado atualmente decorrente do estado de deterioração da estrutura	1) Cobrimento insuficiente visto que foi evidenciado local e projeto dos tanque a especificação de cobrimento de 2.5 cm sendo que a norma NBR 6118, determina nas suas respectivas revisões de 1980 e 2014 que o cobrimento mínimo deveria ser 4 a 5 cm; 2) Utilização de concreto de baixa qualidade para condições especiais de exposição. 3) Possível infiltração ocorrida no tanque que armazenava ácido clorídrico líquido.

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(continuação)

ITEM 5 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Expansão de armaduras	Expansão das armaduras na laje do tanque que continha ácido clorídrico e que está desativado atualmente. É evidenciada a expansão na vista frontal e lateral da armadura. Pode-se notar que a expansão da armadura provocou o deslocamento do concreto.	1) Contato direto da armadura com o agente agressivo. Visto que, segundo informações obtidas, o tanque era impermeabilizado internamente por uma manta de fibra de vidro, porém no projeto não há tal especificação. 2) Falha ou ausência de impermeabilização, visto que segundo informações houve uma infiltração do ácido na estrutura. 3) Insuficiência de cobrimento.

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(continuação)

ITEM 6 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Lixiviação	As paredes dos galpões de decapagem são pintadas de branco e os tanque por tinta epóxi na cor cachi, pois o ambiente é saturado pelo agente agressivo, de modo que seu vapor satura as paredes deixando-as manchadas. A lixiviação tem por sintomática o aspecto esbranquiçado no concreto e não foi possível evidenciar a sua ocorrência, embora seja possível notar escorrimento do ácido nas paredes e pilares.	1) Vapor condensado da evaporação do ácido clorídrico lançado na atmosfera dos galpões onde estão instaladas a estruturas estudadas.

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(continuação)

ITEM 7 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Desagregação nível I em que ocorre pequena perda de massa nos elementos estruturais	Desplacamento do concreto em viga localizada no galpão I onde ocorre o processo de decapagem.	1) Insuficiência de cobrimento da armadura; 2) Falha de execução na peça.

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(continuação)

ITEM 8 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Desagregação Nível II em que ocorre grande perda de massa em elementos estruturais	Desplacamento do concreto na lateral da laje do tanque onde era armazenado o ácido clorídrico e que está desativado atualmente decorrente do estado de deterioração da estrutura	1) Insuficiência de cobrimento da armadura; 2) Falha de execução na peça.

Quadro 11 - Identificação, descrição e possíveis causas das patologias evidenciadas no estudo de caso

(conclusão)

ITEM 9 - Problema Patológico identificado		
		
Manifestações detectadas	Descrição por inspeção visual	Possíveis causas
Deformações excessivas nos elementos estruturais	Manifestação ocorrida nas vigas do tanque que está desativado atualmente. Pode se notar está problemática por meio das escoras instaladas em baixo das vigas para proteção do tanque.	1) Corrosão das armaduras; 2) Perca de resistência das armaduras e concreto; 3) Perca de massa do concreto

Fonte: Autores, 2018

15 ORDEM DE PRIORIZAÇÃO DAS PATOLOGIAS IDENTIFICADAS NO ESTUDO SEGUNDO A MATRIZ GUT

Mediante a identificação das manifestações patológicas identificadas no estudo de caso e apresentadas no item 13 (Quadro 11), foram catalogadas as anomalias observadas, nos quais foi atribuída, pelos avaliadores, uma pontuação de forma racional de acordo com os critérios determinados pelo Método GUT empregado por Kpner e Tregoe.

Os produtos obtidos através da aplicação do método expressam a análise de cada situação, resultando a ordem de priorização para o tratamento de cada problemática. O Quadro 12 apresenta os valores dos parâmetros GUT adotados para cada patologia encontrada, bem como a pontuação final que lista a ordem de priorização para cada situação.

Quadro 12 - Valores propostos para a Matriz GUT e o Grau de Priorização das principais anomalias encontradas

Problema Patologico	Gravidade	Urgência	Tendência	GxUxT	Grau de Priorização
Fissuras	2	1	2	4	6º
Trincas	2	3	3	18	5º
Rachaduras	3	3	3	27	4º
Corrosão de armaduras pouco pronunciadas em elementos estruturais	3	2	3	18	5º
Corrosão de armaduras avançada em elementos estruturais	4	4	4	64	2º
Lixiviação	2	2	2	8	
Desagregação Nivel I - Pequena perda de massa em elementos estruturais	3	2	3	18	5º
Desagregação Nivel II - Grande perda de massa em elementos estruturais	4	3	3	36	3º
Deformações excessivas dos elementos estruturais	5	5	4	100	1º
Expansão de armaduras	Não foi observada nos elementos estruturais que estão em uso				
Infiltração	Não foi observada nos elementos estruturais que estão em uso				

Fonte: Autores (2018)

Diante da Matriz GUT (Quadro 12) pode se verificar a ordem de tratamento das patologias nas estruturas estudadas de acordo com a sua urgência. Em geral, as anomalias são evolutivas, apresentando uma tendência a se agravar com o decorrer do tempo. Por isso, Helene (1992) afirma que quanto mais cedo forem executadas as devidas correções, mais baratas, fáceis e duráveis serão.

16 MANUTENÇÃO CORRETIVA

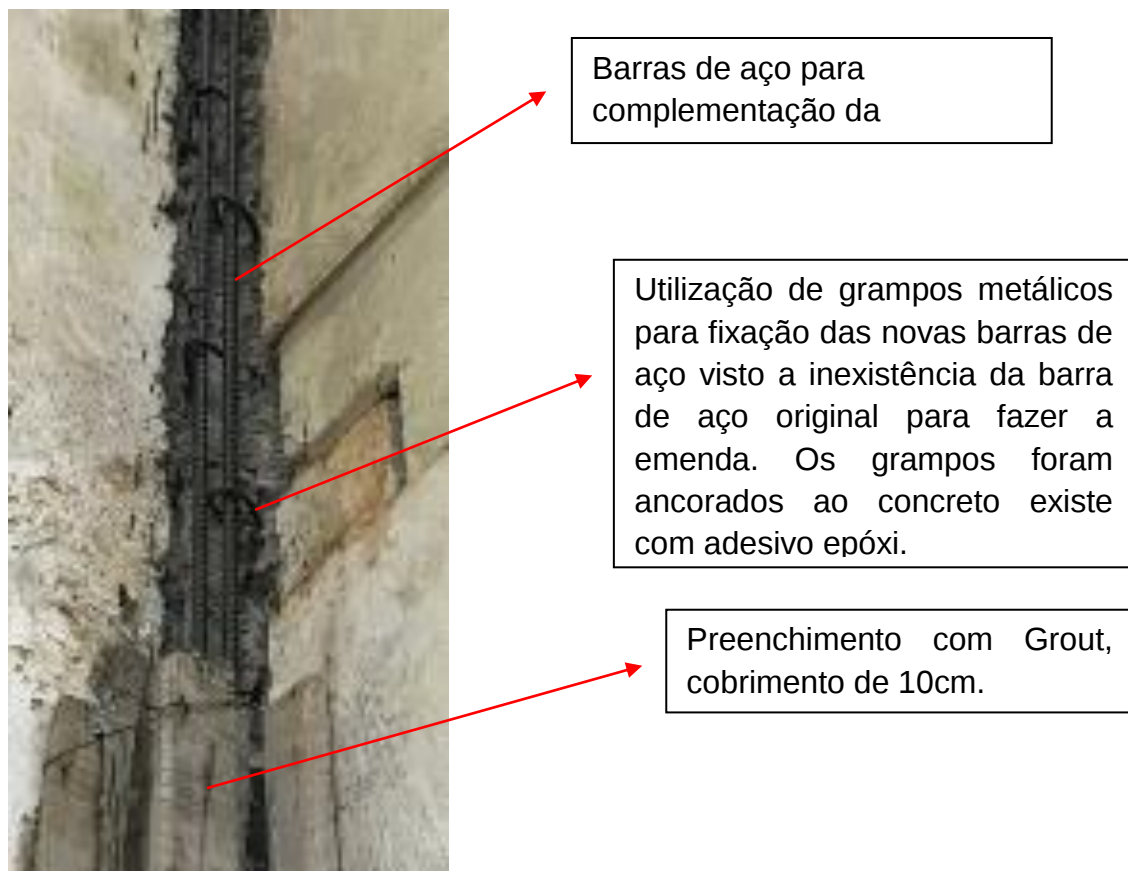
De acordo com os problemas mencionados algumas manutenções corretivas foram realizadas com o intuito de aumentar a vida útil da estrutura, essas manutenções só foram possíveis nos pilares pré-moldados visto que as vigas serão substituídas por novas peças.

Etapas das manutenções:

- Retirada da face de concreto deteriorado: nesta etapa foi realizada a demolição da capa de concreto da face do pilar onde se encontrava as rachaduras, ate chegar à armadura.
- Tratamento das armaduras ou complementação: nesta etapa foi realizado o tratamento das armaduras que sofreram apenas agressão superficial, este tratamento foi realizado com a aplicação de um fundo convertedor de ferrugem. Esse fundo converte a ferrugem em uma película de proteção a armadura interrompendo o processo corrosivo. Em alguns casos houve a necessidade de complementação das armaduras visto que ocorreu a redução de sua seção transversal. Essa adição de nova barra de aço se faz necessário quando a redução na seção da barra corroída é maior que 15%. (Souza e Ripper, 1998).
- Reconstrução da face do pilar: nesta etapa foi realizado o recobrimento das armaduras tratadas ou adicionada, o cobrimento utilizado foi de 10 cm. Esse procedimento foi realizado com a aplicação de grout, que é uma argamassa de alta fluidez, possuindo alta resistência, auto adensável e não apresenta retração.

- Pintura de proteção: nesta etapa foi realizada a pintura da nova face do concreto para criar uma película impermeabilizante, impedindo que os gases ácidos entrem em contato direto com a nova superfície, trazendo maior proteção à estrutura. Optou-se por utilizar uma tinta emborrachada por ser um revestimento elástico, logo trabalhará com a estrutura, minimizando a ocorrência de microfissuras.

Figura 10 – Manutenção corretiva do pilar pré-moldado



Fonte: Autores (2018)

17 AÇÕES PREVENTIVAS

Conforme citado no decorrer deste trabalho, vimos que os poros presentes no concreto são os mecanismos de transporte que levam o agente agressivo a entrar em contato com a armadura causando problemas patológicos acima citados.

Mas como podemos tratar essa característica? Segundo Iapa (2008) o fator água/cimento, adensamento e o processo de cura do concreto tem relação com a porosidade, sendo assim se faz necessário o cuidado com um controle de qualidade mais rigoroso desses processos na execução do concreto. Algumas ações que podem ser tomadas são:

- Diminuição do fator água/cimento, pois quanto menor for este fator menos poroso será a mistura. A NBR 6118:2014 traz que para ambientes agressivos o fator água/cimento deverá ser no máximo 0,40.
- Controle de qualidade no adensamento do concreto: de acordo Cintra (2013) o adensamento do concreto tem por finalidade alcançar a maior compacidade possível entre os agregados graúdos e miúdos, diminuindo o número de vazios e conseqüentemente sua porosidade. Assim, quando realizado o adensamento de forma correta, com equipamentos apropriados para a peça concreta e com a vibração na frequência certa, tem-se uma peça com maior qualidade.
- Controle de qualidade no processo de Cura: Segundo Bardella (2005) a cura tem por objetivo reter a água do interior do concreto para o seu processo de hidratação, ou alçar o mais próximo disso até que o lugar ocupado pela água seja preenchido pelos produtos de hidratação do aglomerante. Logo quando realizado um controle no processo de cura do concreto a probabilidade de evaporação precoce da água de amassamento do concreto é menor, conseqüentemente o surgimento de fissuras ou poros provenientes dos vazios ocupados antes pela água será reduzido.

Além da tratativa dos processos do concreto podemos utilizar de recursos para proteger as armaduras. Moreira (2015) cita algumas formas de proteção das armaduras no concreto.

- Substituição do material utilizado: substituição do aço por um mais resistente. A exemplo o aço inox.
- Modificação do meio de exposição: trata-se de mudanças nas características do concreto ou da utilização de inibidores de corrosão no concreto fresco ou na superfície de elementos existentes.
- Revestimento da armadura: processo realizado por meio de revestimento base de epóxi ou zincagem (galvanização). O revestimento epóxi é feito com uma tinta epóxi em pó, sendo o aço aquecido até a fusão da tinta.

18 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vimos no decorrer deste trabalho que para obter estruturas em concreto armado duráveis, existem diversos parâmetros orientados por normas que nos norteiam a como devemos proceder. Quando inseridos em ambientes agressivos, foco deste estudo, é requerido uma atenção ainda maior no tratamento das estruturas a fim de se evitar o surgimento de manifestações patológicas.

A partir de todas as informações obtidas através do referencial bibliográfico e do estudo de caso realizado, podemos observar que nas estruturas analisadas ocorreram erros de projeto quanto à especificação da classe de concreto e cobrimento mínimo exigidos pelas normas do ano vigente da elaboração, que podem ser apontadas como principais hipóteses das manifestações patológicas ocorridas nas estruturas.

A partir da contribuição por parte da indústria foi possível obtermos as informações necessárias referentes às tratativas utilizadas para correção dos danos ocorridos, além de registros fotográficos e visita técnica. Que foi de suma importância para a realização deste trabalho.

Como sugestão para trabalhos futuros, para uma melhor análise da condição real da estrutura propomos a realização dos ensaios de determinação do potencial alcalino do concreto por meio de uma substância conhecida como fenolftaleína, à determinação dos teores de cloretos e sulfatos existentes na estrutura e no ambiente em que ela está inserida, a determinação do potencial de corrosão, testes de resistência à tração e compressão do concreto.

REFERÊNCIAS

- LAPA, José S. **Patologia, Recuperação e Reparo das estruturas de Concreto**. Monografia (monografia em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. 2008;
- SOUZA, Vicente C. M. de. Ripper. Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1.ed. São Paulo: PINI, 1998;
- MOREIRA, Cristian. **Realcalinização de estruturas de concreto carbonatado com utilização de gel saturado de solução alcalina**. Dissertação (Dissertação Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de GOIÁS.2006;
- GAIER, Claudia Veppo. **Análise do Desempenho de Materiais de Reparo Industrializados para Estruturas de Concreto**. Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.2005;
- REIS, Lília Silveira Nogueira. **SOBRE A RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. Dissertação (Dissertação pós-graduação em Engenharia de Estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais. 2001;
- ANDRADE, Carmem. **Manual para diagnósticos de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Editora Pini, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 1980;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2003/Emd.1:2007;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação: Procedimento. Rio de Janeiro, 2006;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação: Procedimento. Rio de Janeiro, 2015
- PELLIZER, Giovanni Pais. **Análise mecânica e probabilística da corrosão de armaduras de estruturas de concreto armado submetidas à penetração de cloretos**. Departamento de engenharia de estruturas da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015

POLITO, Giuliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2006

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1994.

FORTES, Lyttelton Rebelo. **Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo,** dissertação de mestrado UFCE. Fortaleza, 1995. 228p.

SILVA, André Luis Silva. **Cloretos.** Disponível em <<http://www.infoescola.com/quimica/cloretos>> acessado em : 20 de abril de 2018.

FIGUEIREDO, Enio Pazini. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto,** Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, Cap. 27, p.829 – 855, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005

HELENE, P.R.L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (livre docência). 231f, Escola Politecnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1993

CASCUDO, Osvaldo. **O controle da corrosão de armaduras em concretos: inspeção e técnicas eletroquímicas.** São Paulo: Editora Pini; Goiania: Editora UFMG, 1997.

SOUZA, Vicente C. M. de. Ripper. Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Editora Pini, 2009.

NEVILLE, A. Chloride attack of reinforced concrete: na overview. **Materials and Structures**, v.28, p.63-70,1995.

MEDEIROS, M.H.F; ANDRADE, J.J.O; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das Estruturas de Concreto.** In: ISAIA, G.C (Ed.). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011, 1 ed 1v.p.773-808.

MEDEIROS, M.H.F; ANDRADE, J.J.O; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das Estruturas de Concreto.** IBRACON, cap.22, Concreto: Ciência e Tecnologia, 2011.

DUTRA, A.C. **Proteção catódica: técnicas de combate à corrosão.** Rio de Janeiro/RJ: Interciência LTDA, 1999.

LAPA, J.S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto.** Universidade federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

CINTRA, D. C. et al. **Estudo de procedimentos de adensamento do concreto por vibradores de imersão em obras na Grande Vitória – ES. Anais do 55º Congresso Brasileiro de concreto.** Outubro, 2013.

OLIVATO, Dárcio José. **Zincagem a quente. Zinco e corrosão**, n.01, p.6-8, 2000.

CÁNOVAS, M.F. **Patologia e terapia do concreto Armado**. São Paulo. Pini, 1988.

OLIVARI, G. **Patologia em edificações**. São Paulo, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA (IBAPE). **Norma de Inspeção Predial Nacional**. São Paulo, 2012.

MAZER, W. **Inspeção e ensaios em estruturas de concreto**. Curitiba, 2012. Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/wmazer/especializacao-em-patologia-das-construcoes/Notas_de_Aula_Ensaios.pdf/at_download/file Acesso em: 20 de junho de 2018.

CARVALHO, N.F. de. **Verificação de patologias de elementos estruturais em concreto armado: sugestões de procedimentos**. Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.isegnet.com.br/siteedit/arquivos/Artigo%20Patologias%202009.pdf>>. Acesso em 20 de julho de 2018.

KEPNER, Charles H.; TREGOE, Benjamin B. **O administrador racional**. São Paulo: Atlas, 1981.

OLIVEIRA, Sidney T. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. Série Qualidade Brasil. 1995.

PERIARD, G. **Matriz GUT: Guia Completo**. 2011. Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em: 24 de julho 2018.

SOTILLE, Mauro Afonso et al. **Gerenciamento do escopo em projetos**. 3 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2014.

MARCOS, A. **Mecanismos mais comuns de deterioração do concreto**. 2017. Disponível em: <<http://o-portico.blogspot.com/2017/11/fique-por-dentro-os-tres-mecanismos.html>> Acesso em: 11 de julho 2018.