

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ROBSON FERNANDO BORDUN

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE
CONCRETO ARMADO UM ESTUDO DE CASO
(BLOCO ADMINISTRATIVO DA UTFPR-PATO BRANCO)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

ROBSON FERNANDO BORDUN

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
UM ESTUDO DE CASO (BLOCO ADMINISTRATIVO DA UTFPR-PATO BRANCO)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Doutor Mario Arlindo Paz Irrigaray

PATO BRANCO

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO UM ESTUDO DE CASO (BLOCO ADMINISTRATIVO DA UTFPR-PATO BRANCO)

ROBSON FERNANDO BORDUN

Aos 29 dias do mês de julho do ano de 2014, às 14h45min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 28 -TCC/2014.

Orientador : Prof. Dr. Prof. Dr. MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc .JOSÉ MIGUEL ETCHALUS (DACOC / UTFPR-PB)

Este trabalho é dedicado a minha querida esposa.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por disponibilizarem de pessoas responsáveis e tão comprometidas cada um com sua tarefa: Diretores; Coordenadores; enfim, todos merecedores de agradecimento, porque é inegável que se empenharam e fazer o melhor pelos alunos.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela sabedoria e responsabilidade em repassar os conhecimentos a seus alunos.

Reconhecimento à atenção especial do professor Doutor Mário Arlindo Paz Irrigaray, suas contribuições foram além de um orientador, além de um amigo, [...] diria que tive a atenção de um irmão querido, isso possibilitou um trabalho com características científicas, reconheço que eu não teria conseguido, mesmo com meu esforço.

Aos colegas do Curso, por termos compartilhado esses anos de companheirismo e troca de experiência.

A todos que direta ou indiretamente participaram dessa conquista, sem citar nomes, muito obrigado!

A vida esta cheia de desafios que, se aproveitados de forma criativa, transformam-se em oportunidades.

Maxwell Maltz.

RESUMO

BORDUN, Robson. Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado um estudo de caso (Bloco Administrativo da UTFPR-Pato Branco). 93 fls. Monografia. (Curso de Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

O presente trabalho de conclusão de curso trata do estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado e tem como objetivo principal a caracterização das principais manifestações patológicas presentes na estrutura de concreto armado do bloco administrativo da UTFPR-Campus Pato Branco. Na primeira etapa do trabalho fez-se revisão bibliográfica sobre o assunto; na segunda etapa do trabalho, adotou-se a metodologia sugerida por Lichtenstein para caracterizar as principais patologias e, para tanto, analisou-se os vários tipos de elementos estruturais presentes na estrutura, nessa etapa a vistoria foi realizada “*in loco*”, realizando-se registro fotográfico; posteriormente, classificou-se a frequência das manifestações patológicas; na terceira etapa, escolheu-se empregar dois procedimentos de recuperação, em duas diferentes manifestações patológicas.

Palavras-Chave: Concreto. Durabilidade. Patologia.

ABSTRACT

BORDUN, Robson. Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado um estudo de caso (Bloco Administrativo da UTFPR-Pato Branco). 93 fls. Monografia. (Curso de Engenharia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

The present work is completion of course of study of the durability of reinforced concrete structures and aims to characterize the main pathological manifestations present in the reinforced concrete structure of the administrative block of UTFPR-Campus Pato Branco. In the first stage of the work was done literature review on the subject; in the second stage of labor, adopted the methodology suggested by Lichtenstein to characterize the main pathologies and, therefore, we analyzed the various types of structural elements present in the structure at this stage the survey "in loco" was performed, performing if photographic record; thereafter classified to a frequency of pathological manifestations element; in the third stage, we chose to employ two recovery procedures in two different pathological manifestations.

Keywords: Concrete. Durability. Pathology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- Interação entre zona de atmosfera marinha e estruturas de concreto armado distantes do mar.....	28
FIGURA 2	- Vinculação entre zona de respingos e os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado.....	28
FIGURA 3	- Relação entre zona de variação de marés e os mecanismos principais de degradação do concreto.....	29
FIGURA 4	- Estruturas submersas e principais mecanismos de degradação do concreto.....	29
FIGURA 5	- Relação entre climas e ambientes específicos e mecanismos de degradação do concreto.....	30
FIGURA 6	- Fluxograma de procedimentos a serem adotados quando da escolha classe de concreto, relação água/cimento, cobertura nominal de armadura e tipo de cimento.....	31
FIGURA 7	- Representação esquemática da reação de Carbonatação do hidróxido de cálcio.....	41
FIGURA 8	- Processo de degradação patológico.....	44
FIGURA 9	- Origens das patologias em estrutura de concreto	45
FIGURA 10	- Localização da Universidade Federal Tecnológica do Paraná	61
FIGURA 11	- Fachada (Bloco B) Administrativo da UTFPR.....	61
FIGURA 12	- Método Lichtenstein.....	62
FIGURA 13	- Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	65
FIGURA 14	- Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	65
FIGURA 15	- Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	66
FIGURA 16	- Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	66
FIGURA 17	- Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	66

FIGURA 18	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	66
FIGURA 19	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	66
FIGURA 20	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	66
FIGURA 21	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	67
FIGURA 22	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	67
FIGURA 23	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	67
FIGURA 24	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	67
FIGURA 25	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	67
FIGURA 26	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	67
FIGURA 27	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	68
FIGURA 28	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	68
FIGURA 29	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	68
FIGURA 30	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	68
FIGURA 31	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	68
FIGURA 32	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	68
FIGURA 33	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	69
FIGURA 34	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura	

	em borda de viga externa.....	69
FIGURA 35	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	69
FIGURA 36	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	69
FIGURA 37	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	69
FIGURA 38	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	69
FIGURA 39	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	70
FIGURA 40	- Figura 43 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	70
FIGURA 41	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	70
FIGURA 42	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa.....	70
FIGURA 43	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa.....	70
FIGURA 44	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa.....	70
FIGURA 45	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa.....	71
FIGURA 46	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa.....	71
FIGURA 47	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em pilar externo.....	71
FIGURA 48	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em pilar externo.....	71
FIGURA 49	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em pilar externo.....	72
FIGURA 50	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	72

FIGURA 51	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	72
FIGURA 52	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	73
FIGURA 53	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	73
FIGURA 54	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	73
FIGURA 55	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	73
FIGURA 56	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	73
FIGURA 57	- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo.....	73
FIGURA 58	- Fungos em brises.....	75
FIGURA 59	- Fungos em brises fachada face oeste.....	75
FIGURA 60	- Fungos em brises fachada face sul.....	75
FIGURA 61	- Ausência de Rufo Brises.....	76
FIGURA 62	- Ausência de Pingadeira Vigas.....	76
FIGURA 63	- Ausência de Pingadeira Viga e Brise.....	77
FIGURA 64	- Ausência de Pingadeira Viga e Brise.....	77
FIGURA 65	- Ausência de Pingadeira Viga e Brise.....	77
FIGURA 66	- Ausência de Pingadeira Brise.....	77
FIGURA 67	- Ausência de Pingadeira Viga e Brise.....	77
FIGURA 68	- Vazios / Bicheiras em brise.....	78
FIGURA 69	- Vazios / Bicheiras em brise.....	78
FIGURA 70	- Vazios / Bicheiras em viga.....	79
FIGURA 71	- Vazios / Bicheiras em viga.....	79
FIGURA 72	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	80
FIGURA 73	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	80
FIGURA 74	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	80
FIGURA 75	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	80
FIGURA 76	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	80

FIGURA 77	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	80
FIGURA 78	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	81
FIGURA 79	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	81
FIGURA 80	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	81
FIGURA 81	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	81
FIGURA 82	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	81
FIGURA 83	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	81
FIGURA 84	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	82
FIGURA 85	- Fissura / Eflorescência viga calha.....	82
FIGURA 86	- Delimitação da área a ser reparada.....	85
FIGURA 87	- Abertura de área de corte no concreto.....	85
FIGURA 88	- Remoção de componentes da corrosão com escova de aço.	86
FIGURA 89	- Limpeza das armaduras com processo abrasivo, lixamento...	86
FIGURA 90	- Observação da área de aço comprometida pela corrosão.....	86
FIGURA 91	- Aplicação de revestimento Inibidor de corrosão Emaco P22 .	86
FIGURA 92	- Aplicação de adesivo estrutural a base de resina epóxi	86
FIGURA 93	- Realização de reparo estrutural com argamassa cimentícia .	86
FIGURA 94	- Aspecto do pilar reabilitado.....	88
FIGURA 95	- Limpeza inicial da brise com lavagem sob pressão.....	88
FIGURA 96	- Limpeza final da brise com lavagem sob pressão.....	88
FIGURA 97	- Aplicação de Resina acrílica.....	88
FIGURA 98	- Aspecto da Brise reabilitada.....	88

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELA 1	- Gastos em países desenvolvidos com manutenção.....	25
TABELA 2	- Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2007)	31
TABELA 3	- Relação entre classe de agressividade ambiental, relação água/cimento e classe de resistência, conforme ABNT NBR 6118:2007.....	32
TABELA 4	- Relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento de armadura.....	32
TABELA 5	- Principais erros de projeto conforme (BLEVOT apud CÁNOVAS 1988).....	47
TABELA 6	- Caracterização da incidência das manifestações patológicas	83
QUADRO 1	- Vistoria, diagnóstico e sugestão de procedimento para sanar a manifestação patológica (início de corrosão).....	74
QUADRO 2	- Vistoria, diagnóstico e sugestão de procedimento para sanar a manifestação patológica (manifestação de fungos).....	76
QUADRO 3	- Vistoria, diagnóstico e sugestão de procedimento para sanar a manifestação patológica (ausência de critérios de projetos)	78
QUADRO 4	- Vistoria, diagnóstico e definição de conduta nas manifestações de vazios e/ou bicheiras.....	79
QUADRO 5	- Vistoria, diagnóstico e definição de conduta nas manifestações de fissura, lixiviação e/ou eflorescências.....	82

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C ₃ A	Aluminatos Tricálcicos
Ca (OH) ₂	Hidróxido de Cálcio
Ca (OH) ₂	Hidróxido De Cálcio
CaCO ₃ .	Carbonato de Cálcio
CO ₂	Dióxido de Carbono
g	Gramas
H ₂ CO ₃	Ácido Carbônico
H ₂ O	Água
K ₂ O	Óxido de Potássio
m	Metro
MgO	Magnésio
Na ₂ O	OXIDOS DE SÓDIO
pH	Potencial de Hidrogénio
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
%	Porcentagem
NBR	Norma Brasileira
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	19
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	20
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.3.1	Objetivo Geral.....	20
1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
1.4	JUSTIFICATIVA.....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	FATORES A SEREM CONSIDERADOS NO DESEMPENHO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	23
2.1.1	Segurança.....	23
2.1.1.1	Segurança estrutural.....	23
2.1.1.2	Segurança contra o fogo.....	24
2.1.2	Sustentabilidade.....	24
2.2	DURABILIDADE.....	24
2.2.1	Considerações iniciais referentes aos projetos.....	26
2.2.2	Considerações sobre os procedimentos de execução e controle.....	33
2.2.2.1	Procedimento de lançamento e adensamento (segregação; exsudação). 33	
2.2.2.2	Cura e qualidade do cobrimento das armaduras.....	37
2.2.3	Procedimentos para uso e manutenção de edifícios conforme ABNT NBR 5674:2012.....	38
2.2.4	Mecanismos de deterioração das estruturas de concreto.....	39
2.2.4.1	Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto.....	39
2.2.4.2	Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura (Corrosão).....	40
2.2.4.3	Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita.....	42
2.2.4.4	Mecanismos de transporte de massa os principais fatores que regem o ingresso de agentes agressivos no concreto.....	43
2.3	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	44

2.3.1	Patologias provenientes de erros de projetos.....	46
2.3.1.1	Projetos de fundação.....	46
2.3.1.2	Projeto estrutural.....	46
2.3.2	Defeitos de execução.....	48
2.3.2.1	Erros de armação	48
2.3.2.2	Erros de concretagem.....	48
2.3.2.3	Formas.....	48
2.3.2.4	Juntas de concretagem.....	48
2.3.3	Fissuras.....	49
2.3.3.1	Fissuras do concreto no estado plástico.....	49
2.3.3.2	Fissuras no concreto no estado endurecido.....	51
2.3.4	Efeitos da corrosão das armaduras.....	51
2.3.5	Biodeterioração do concreto.....	52
2.3.6	Reações deletérias superficiais do tipo eflorescências.....	53
2.3.7	Disgregação (Desplacamento ou Esfoliação).....	54
2.3.8	Cobrimento.....	54
2.4	PROCEDIMENTOS PARA A RECUPERAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....	55
2.4.1	Tratamento de fissuras.....	55
2.4.2	Tratamento da corrosão.....	55
2.4.3	Garantia do revestimento.....	56
2.4.4	Tratamento do concreto sujeito a biodegradação.....	57
3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	59
3.1	MÉTODO DE ESTUDO DE CASO.....	59
3.2	COLETA DE DADOS.....	59
3.3	DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	60
3.3.1	Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).....	60
3.4	MÉTODO PARA LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	62
3.5	CONDUTA PARA RESOLVER O PROBLEMA DE PATOLOGIA.....	63
3.5.1	Reparo no pilar.....	63
3.5.1.1	Procedimento adotado.....	63
3.5.1.2	Procedimento do reparo.....	64

3.5.2	Reparo no brise.....	64
3.5.2.1	Materiais e equipamentos utilizados.....	64
3.5.2.2	Procedimento do reparo.....	64
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	65
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	65
4.1.1	Manifestações Patológicas devido a processo corrosivo em vigas.....	65
4.1.2	Manifestações Patológicas devido a processo corrosivo em pilar.....	71
4.1.3	Manifestações Patológicas devido a processo corrosivo em brise.....	72
4.1.4	Manifestações Patológicas devido à presença de fungos.....	75
4.1.5	Manifestação Patológica ausência de critérios de projeto.....	76
4.1.6	Manifestação Patológica presença de vazios e/ou bicheiras.....	78
4.1.7	Manifestações Patológicas de fissura; lixiviação e/ou eflorações.....	79
5	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	83
6	SUGESTÕES TERAPÊUTICAS PARA AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ANALISADAS.....	85
6.1	Sugestão de terapia a ser adotada para reabilitação de elemento estrutural (pilar, viga ou brise) em início de processo corrosivo.....	85
6.2	Sugestão de terapia a ser adotada para reabilitação de elemento estrutural (brise) acometida por fungos.....	87
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
7.1	RECOMENDAÇÕES.....	90
	REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

O concreto apesar de sua durabilidade inerente e dependente de suas propriedades intrínsecas, quando exposto à intempéries ou a agentes químicos e/ou processos físicos, tem sua durabilidade reduzida. A durabilidade do mesmo esta intrinsecamente dependente da maneira que foi elaborado, desde a fase de projeto até o produto final, seguindo as fases de inspeções e manutenções ao longo da vida útil. A resistência da estrutura de concreto à ação do meio ambiente e ao uso dependerá, no entanto, da resistência do concreto, da resistência da armadura, e da resistência da própria estrutura. Qualquer um que se deteriore, comprometerá a estrutura como um todo (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Os aspectos de durabilidade vinham sendo tratados por órgãos internacionais importantes há longo tempo. Por exemplo, o ACI 201 (1991) já definia durabilidade como a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente. Entretanto, no Brasil, a preocupação com a durabilidade começou a ser formalizada somente a partir de 2003, quando a ABNT NBR 6118:2003 inclui uma classificação de agressividades e, a partir dela estabeleceu prescrições em relação à qualidade do concreto e ao cobrimento de armadura. Portanto, antes desse período as obras projetadas e construídas no Brasil foram concebidas sem a preocupação com os mecanismos de deterioração do concreto. Em decorrência disso, existem muitas obras no Brasil com 20 ou mais anos que irão atingir precocemente a vida útil de projeto e de serviço e que já manifestam patologias severas.

Em função dos crescentes problemas de degradação precoce observados nas estruturas, das novas necessidades competitivas e das exigências de sustentabilidade no setor da Construção Civil, observa-se, nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido (CLIFTON, 1993 apud MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

Atualmente os requisitos de desempenho das construções ampliaram significativamente. Um exemplo disso é que no Brasil foi aprovada a NBR 15575:2013, a qual trata dos requisitos de desempenho a serem atendidos pelas construções habitacionais. A parte 1 trata dos requisitos gerais sendo que no item 14 são estabelecidos os requisitos de Durabilidade e Manutenção. Para a referida norma a durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. Para ela a durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional.

Em face das limitações de projeto e/ou execução e mesmo de manutenção, os investimentos aplicados no reparo e manutenção das estruturas é bastante significativo. Nos países desenvolvidos mais que 40% dos recursos da indústria da construção são aplicados no reparo e manutenção de estruturas já existentes (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

As manifestações patológicas podem ser decorrentes de erros na análise e interpretação das características do solo, quer sejam devido ao número insuficiente de furos e/ou por falta da capacidade de detectar camadas de solo de diferente capacidade resistente ou mesmo devido à escolha incorreta do tipo de fundação. Também podem surgir manifestações patológicas devido aos procedimentos de execução e/ou devido ao fato de não levar em consideração as condições do entorno. Existem ainda possibilidades diversas, tais como erros no projeto e detalhamento estrutural, erros durante a execução da estrutura, além da frequente e praticamente inexistente manutenção das estruturas. Esse conjunto de possibilidades é a fonte de um cenário repleto de possibilidades de manifestações patológicas.

Em determinados casos, é possível se fazer um diagnóstico das patologias apenas através da visualização. Entretanto, em outros casos o problema não é tão simples assim, sendo necessário verificar o projeto; investigar as cargas a que foi submetida à estrutura; analisar detalhadamente a forma como foi executada a obra e, até mesmo, como esta patologia reage diante de determinados estímulos. Dessa forma, é possível identificar a causa destes problemas, corrigindo-os para não se manifestem novamente.

Segundo Machado (2002) a finalidade do estudo das patologias nas estruturas de concreto é encontrar esclarecimentos técnicos e científicos para as irregularidades encontradas no comportamento das estruturas. Essas irregularidades podem ocorrer na fase de projeto, na fase de construção ou execução dos serviços, bem como durante o uso e manutenção, por meio dessas investigações é possível que se determine ou se identifique as principais causas, bem como as prováveis consequências em relação à segurança e à confiabilidade da obra, analisando qual a decisão mais correta e segura quanto à utilização posterior das estruturas em análise. Levando-se em conta sua duração residual, o objetivo da investigação e análise das patologias das estruturas é procurar definir a conveniência da recuperação, do reforço ou mesmo da demolição pura e simples dos elementos ou da estrutura danificada.

Conforme Figueiredo (2005), pesquisas relatam que os problemas de patologias em concreto armado acabam ocorrendo, em aproximadamente 50% dos casos, por falhas de projeto e planejamento das edificações.

O presente trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar as principais patologias encontradas em concreto do bloco administrativo da UTFPR- Campus Pato Branco – PR. Para tanto, serão analisadas, por meio de inspeção visual, todas as superfícies de concreto da estrutura. Com base nos dados obtidos, será realizada uma análise de frequência das patologias. Posteriormente serão sugeridos os procedimentos de recuperação e manutenção. Espera-se ainda, que este trabalho sirva de apoio a equipe do Departamento de Projetos da UTFPR-PR.-Campus Pato Branco.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O estudo limita-se a caracterizar as principais patologias apresentadas nas estruturas em concreto do bloco B - Administrativo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus de Pato Branco, o qual foi construído em 1992, atualmente possui 22 anos.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Estudos tem revelado que um elevado percentual dos problemas patológicos nas edificações, origina-se nas fases de planejamento e projeto. Essas falhas segundo Vitório (2013) são comumente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos. Isso se explica pela falta de investimento dos proprietários, sejam eles públicos ou privados, em projetos mais elaborados e, detalhados, fazendo com que a busca de projetos mais “com custos inferiores” implique muitas vezes na necessidade de adaptações durante a fase de execução e futuramente em problemas de ordens funcional e estrutural.

De acordo com Antoniazzi (2013) toda edificação tem uma determinada vida útil que pode ser maior ou menor, dependendo de vários fatores como, por exemplo, a qualidade dos materiais empregados construção, às condições a que a mesma está exposta e a existência de uma manutenção periódica.

Na visão de Machado (2002, p. 5) para uma completa análise das patologias é indispensável verificar e interpretar “as manifestações patológicas; os vícios construtivos; as origens dos problemas; os agentes causadores dos problemas; o prognóstico para a terapia, os erros de projeto”.

Considerando a importância do tema foi realizado um estudo para identificar as principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas em concreto armado do bloco administrativo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus de Pato Branco, atualmente com 22 anos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar/Caracterizar as diversas patologias apresentadas nas estruturas construídas em concreto armado - no bloco Administrativo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar vistoria *in loco* e caracterizar as manifestações patológicas;
- Quantificar os vários tipos de patologias encontradas;
- Diagnosticar os problemas patológicos baseado no método de Lichtenstein (1985);
- Caracterizar a conduta para resolver o problema de patologia encontrada.

1.4 JUSTIFICATIVA

Com estimativas recentes, a *Federal Highway Administration* dos Estados Unidos, prevê que os gastos com reparos sejam superiores a 102 bilhões de dólares americanos. O Reino Unido consome cerca de 4% do seu Produto Nacional Bruto (PNB) com reparo e manutenção de estruturas. No Brasil, os custos estimados pela revista *Construção São Paulo*, em 1991, são da ordem de 100 bilhões de dólares (REIS, 2001).

Por outro lado, se ações mitigadoras tanto no projeto quanto na execução puderem ser adotadas, estes investimentos podem ser aplicados em outras áreas, tais como na própria educação.

O levantamento das causas das patologias encontradas *in loco*, poderá servir de subsídios para melhor manutenção nas obras desta instituição e com isso diminuir os investimentos na recuperação, reforma e/ou reforço. A falta de manutenção nas obras públicas segundo Antoniazzi (2013) faz com que pequenos problemas, que no início teriam baixo custo de recuperação se manifestem para situações de desempenho insatisfatório com ambientes insalubres, de deficiente aspecto estético, de possível insegurança estrutural e de alto custo de recuperação.

Portanto, a identificação e a caracterização das patologias no bloco administrativo da UFTPR pode servir de subsídios aos gestores na elaboração de um programa de conservação e manutenção. Além disso, pode servir de alerta aos

futuros gestores sobre a necessidade de manter este bem público em condições de segurança.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FATORES A SEREM CONSIDERADOS NO DESEMPENHO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O desempenho de um edifício pode ser entendido representado pelos atributos exigíveis das necessidades humanas, estabelecidos pelos requisitos e critérios de desempenho previstos na norma, onde foi considerado um patamar mínimo (M) a ser atingido por elementos e sistemas da construção. Os principais itens abordados, associados aos requisitos do usuário, podem ser citados, dentre outros: segurança estrutural, segurança contra fogo, segurança no uso e operação, estanqueidade, desempenho térmico, acústico, ambiental (FAGUNDES NETO, 2013).

2.1.1 Segurança

Conforme ABNT NBR 15575:2013, parte 1, as exigências do usuário relativas à segurança são expressas pelos seguintes fatores:

- Segurança estrutural;
- Segurança contra o fogo;
- Segurança no uso e na operação.

2.1.1.1 Segurança estrutural

Em relação à estabilidade estrutural deve-se atender as prescrições da ABNT NBR 6118-2007, em relação aos estados limites de serviço e estados limites últimos.

2.2.1.2 Segurança contra o fogo

Em relação à segurança contra o fogo, deve-se atender as prescrições da ABNT NBR 15200:2012 (Esta Norma estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e a forma de demonstrar o seu atendimento, conforme requisitos de resistência ao fogo estabelecidos na ABNT NBR 14432).

2.1.2 Sustentabilidade

Ainda conforme ABNT NBR 15575:2013, parte 1, as exigências do usuário relativas à sustentabilidade são expressas pelos seguintes fatores:

- Durabilidade;
- Manutenibilidade;
- Impacto ambiental.

2.2 DURABILIDADE

Entende-se como durabilidade a medida em anos da vida útil de uma estrutura ou sistema.

Conforme a ABNT NBR 15575-1, existem internacionalmente diversas e variadas proposições para determinação da Vida Útil de Projeto (*VUP*) do edifício. No entanto, em relação aos edifícios habitacionais, observa-se que elas apresentam notável convergência, situando a *VUP* destes edifícios entre 50 e 60 anos. Define-se Vida Útil DE PROJETO – *VUP*, como o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos pela Norma ABNT NBR 15575 (2013) Edificações Habitacionais – Desempenho.

VUP do edifício habitacional, estabelecida em comum acordo entre os empreendedores e os projetistas, e também os usuários, quando for o caso, ainda na fase de concepção do projeto, propicia seu cumprimento. Porém, para que possa ser atingida é necessário que sejam atendidos simultaneamente todos os seguintes aspectos:

- a. emprego de componentes e materiais de qualidade compatível com a *VUP*;
- b. execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da *VUP*;
- c. cumprimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva;
- d. atendimento aos cuidados preestabelecidos para se fazer um uso correto do edifício;
- e. utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

Os termos vida útil e durabilidade segundo Silva (2011) são tão próximos que, por vezes, são utilizados de maneira errada. A durabilidade é uma qualidade da estrutura e a vida útil é a quantificação desta qualidade.

Nos últimos anos, vários trabalhos têm confirmado a importância econômica da consideração da durabilidade, a partir de pesquisas que demonstram os expressivos gastos com manutenção e reparo de estruturas em países desenvolvidos da Europa, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Gastos em países desenvolvidos com manutenção

país	gastos com construções novas	gastos com manutenção e reparo	gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanhã	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de libras (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

Nota: todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

Verifica-se, pelo quadro acima, que dentre os países da Europa relacionados o que mais está investindo em novas construções é a Alemanha (99,7 Bilhões de Euros) e também em gastos com manutenção e reparo (99,0 Bilhões de Euros). Assim, por conta dos crescentes problemas de degradação precoce verificados nas estruturas,

[...] no setor da Construção Civil, observa-se, nas últimas duas décadas, uma tendência mundial no sentido de privilegiar os aspectos de projeto voltados à durabilidade e à extensão da vida útil das estruturas de concreto armado e protendido. (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011, p 773).

Neville e Brooks (2013) define durabilidade do concreto como sendo a capacidade do concreto de suportar as condições para as quais foi projetado durante a vida da estrutura.

2.2.1 Considerações iniciais referentes aos projetos

Em relação ao desenvolvimento dos projetos, a ABNT NBR 15575:2013, parte 1, estabelece que: “do ponto de vista da segurança e estabilidade ao longo da vida útil da estrutura, devem ser previstas nos projetos considerações sobre as condições de agressividade do solo, do ar e da água na época do projeto, prevenindo-se as proteções aos sistemas estruturais e suas partes”.

Além disso, prescreve que:

“Salvo convenção escrita, é da incumbência do incorporador, de seus prepostos e/ou dos projetistas envolvidos, dentro de suas respectivas competências, e não da empresa construtora, a identificação dos riscos previsíveis na época do projeto, devendo o incorporador, neste caso, providenciar os estudos técnicos requeridos e alimentar os diferentes projetistas com as informações necessárias. Como riscos previsíveis, exemplifica-se: presença de aterro sanitário na área de implantação do empreendimento, contaminação do lençol freático, presença de agentes agressivos no solo e outros riscos ambientais”.

A ABNT NBR 15575:2013, estabelece que devem ser tomadas precauções com relação à implantação e descreve o seguinte:

“Para edifícios ou conjuntos habitacionais com local de implantação definido, os projetos de arquitetura, da estrutura, das fundações, contenções e outras eventuais obras geotécnicas devem ser desenvolvidos com base nas características do local da obra (topográficas, geológicas etc.), avaliando-se convenientemente os riscos de deslizamentos, enchentes, erosões, vibrações transmitidas por vias férreas, vibrações transmitidas por trabalhos de terraplenagem e compactação do solo, ocorrência de subsidência do solo, presença de crateras em camadas profundas, presença de solos expansíveis ou colapsíveis, presença de camadas profundas deformáveis e outros”.

Há ainda que considerar as condições do entorno durante a realização dos projetos, conforme determina ABNT NBR 15575:2013, parte 1. “Os projetos devem

ainda prever as interações entre construções próximas, considerando-se convenientemente as eventuais sobreposições de bulbos de pressão, efeitos de grupo de estacas, rebaixamento do lençol freático e desconfinamento do solo em função do corte do terreno”.

A durabilidade das estruturas de concreto, conforme a NBR 6118:2007, item 5.1.2 é “A 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”.

De acordo com Medeiros, Andrade e Helene (2011, p. 786) para evitar envelhecimento precoce e satisfazer às exigências de durabilidade devem ser observados os seguintes critérios de projeto:

- Prever drenagem eficiente;
- Evitar formas arquitetônicas estruturais inadequadas;
- Garantir concreto de qualidade apropriada, particularmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais;
- Garantir cobrimentos de concreto apropriados para proteção às armaduras;
- Detalhar adequadamente as armaduras.

Para Medeiros, Andrade e Helene (2011, p. 786) o que é levado mais em conta é a “resistência da estrutura ao meio ambiente e esta depende não só da qualidade do concreto, mas também da execução, do uso correto e de critérios adequados de projeto”.

Lima (2011) apresenta, de forma bastante didática, a caracterização dos diferentes ambientes em contato com as estruturas, de tal forma que é possível identificar, de forma apropriada, as interações entre o meio ambiente e as estruturas.

A Figura 1 apresenta as interações entre o ambiente marinho e as estruturas de concreto distante do mar, com os efeitos produzidos.

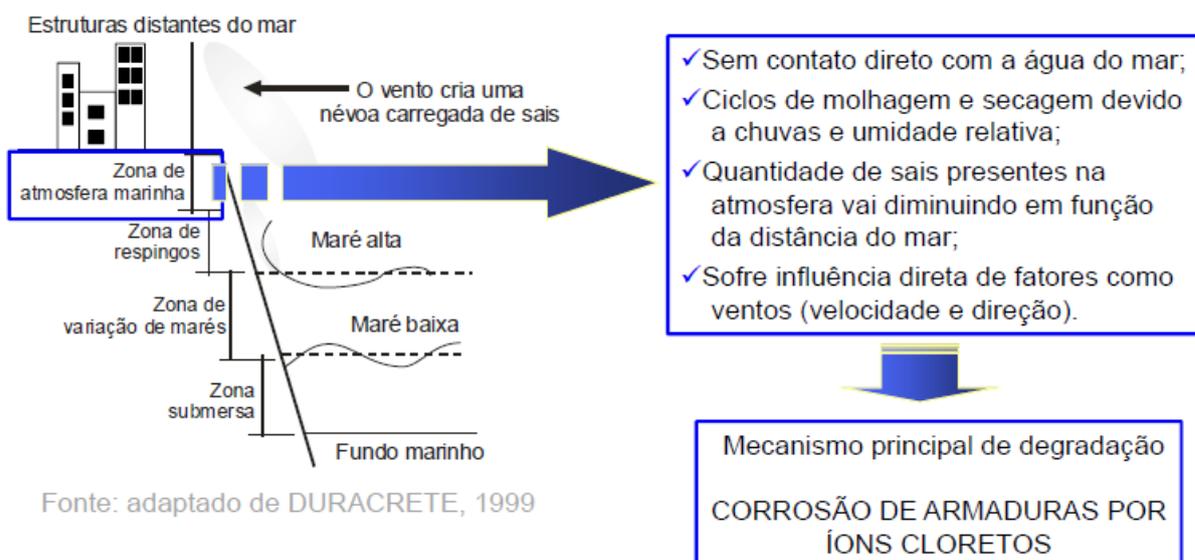


Figura 1 - Interação entre zona de atmosfera marinha e estruturas de concreto armado distantes do mar

A Figura 2 apresenta a vinculação entre zona de respingos e os mecanismos de degradação da estrutura de concreto armado.

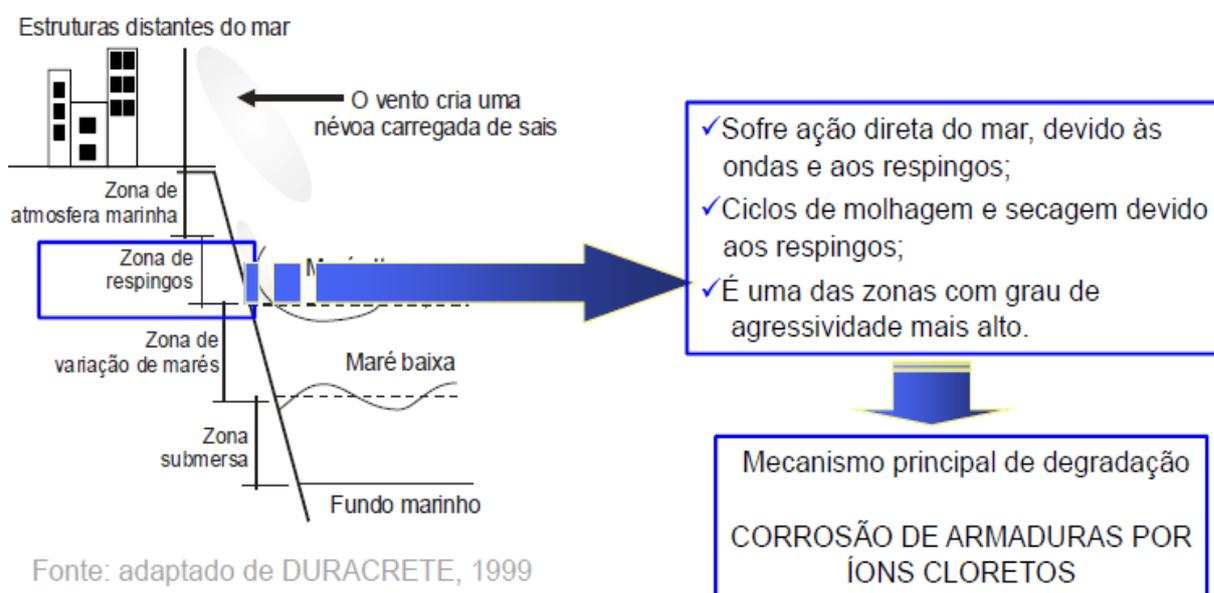


Figura 2 - Vinculação entre zona de respingos e os mecanismos de degradação das estruturas de concreto armado

A Figura 3 apresenta a íntima relação entre variação das zonas das marés e os mecanismos de degradação do concreto.

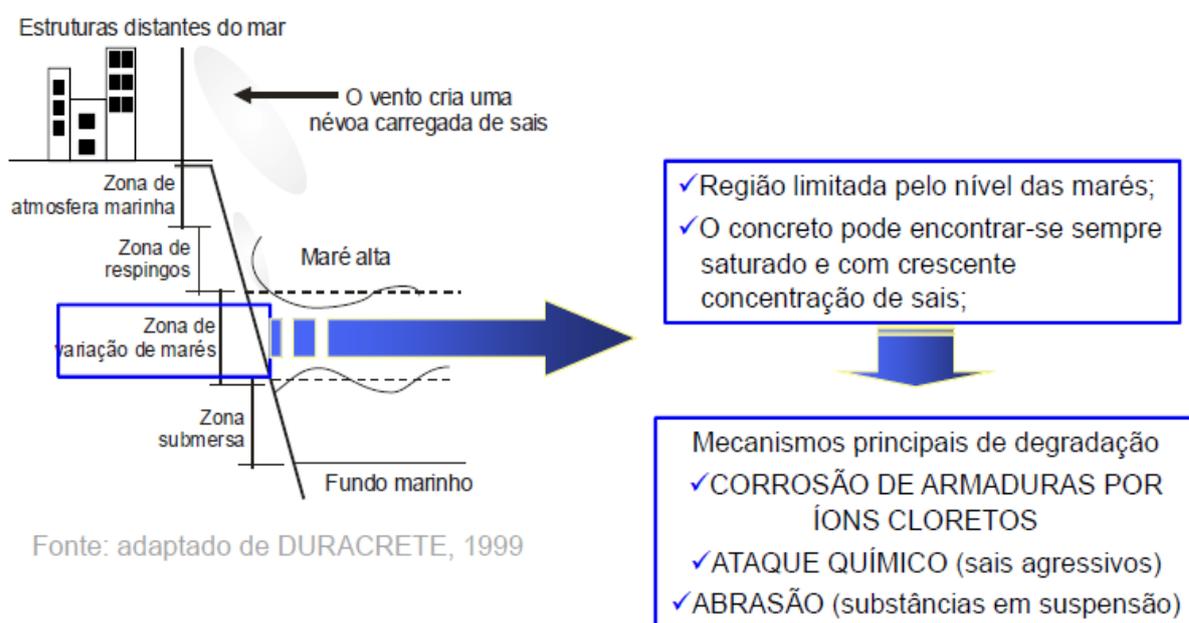


Figura 3 - Relação entre zona de variação de marés e os mecanismos principais de degradação do concreto

Figura 4 apresenta-se a relação de causa e efeito em que a estrutura encontra-se submersa e os mecanismos de deterioração do concreto.

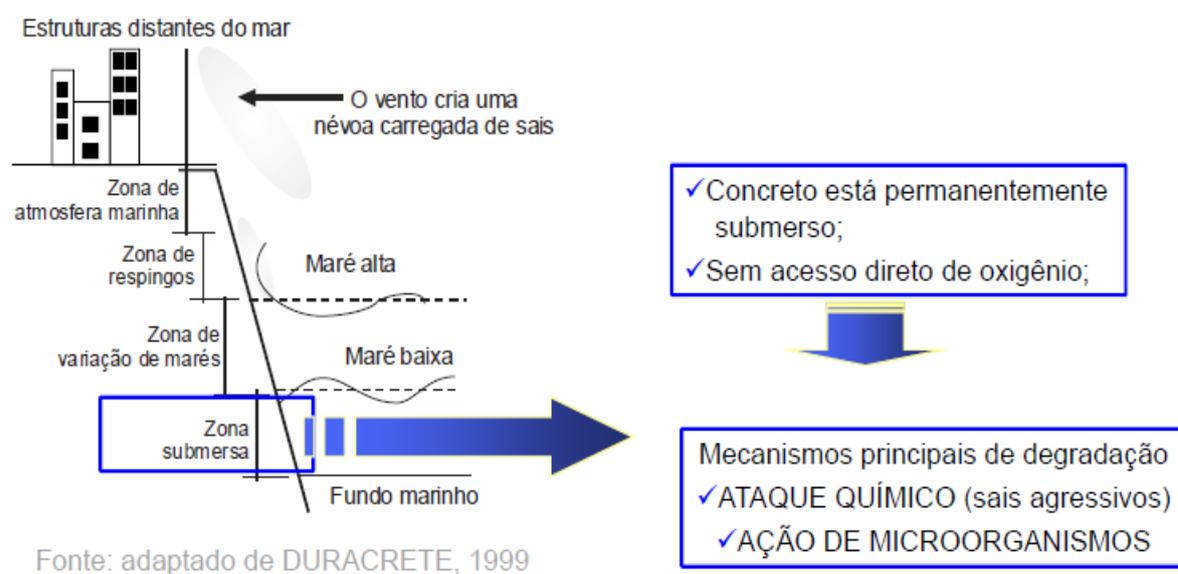


Figura 4 - Estruturas submersas e principais mecanismos de degradação do concreto

Faz-se necessário considerar, ainda na etapa de projeto, climas e ambientes específicos, que conforme Lima (2011) podem ser apresentados esquematicamente, conforme Figura 5.

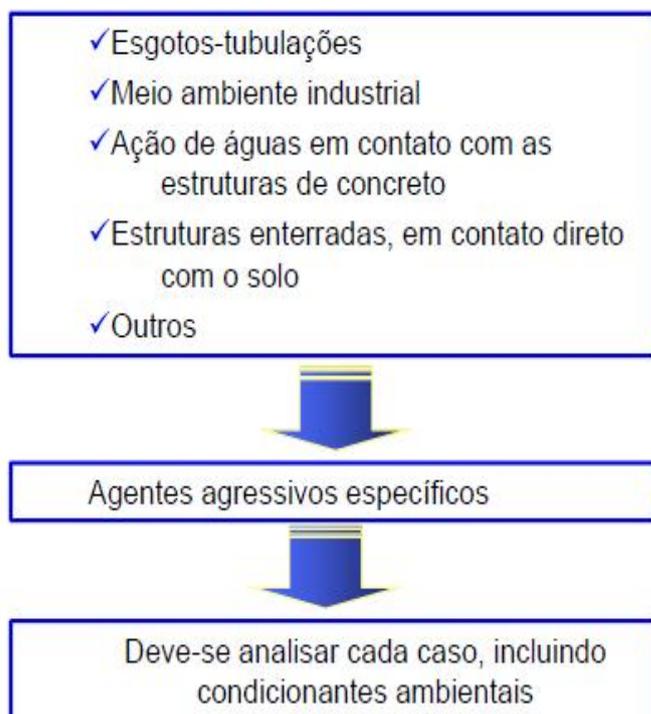


Figura 26 – Degradação apresentada em pilar de estrutura em contato com produtos químicos para fabricação de fertilizantes

Foto: Maryangela Geimba de Lima, 1991

Figura 5 Relação entre climas e ambientes específicos e mecanismos de degradação do concreto

A seguir, apresenta-se na figura 6 fluxograma proposto por Lima (2011), o qual auxilia no entendimento dos procedimentos propostos pela ABNT NBR 6118:2007 para a definição da classe de concreto, cobrimento de armadura e tipo de cimento, cujo objetivo é garantir a vida útil de projeto.

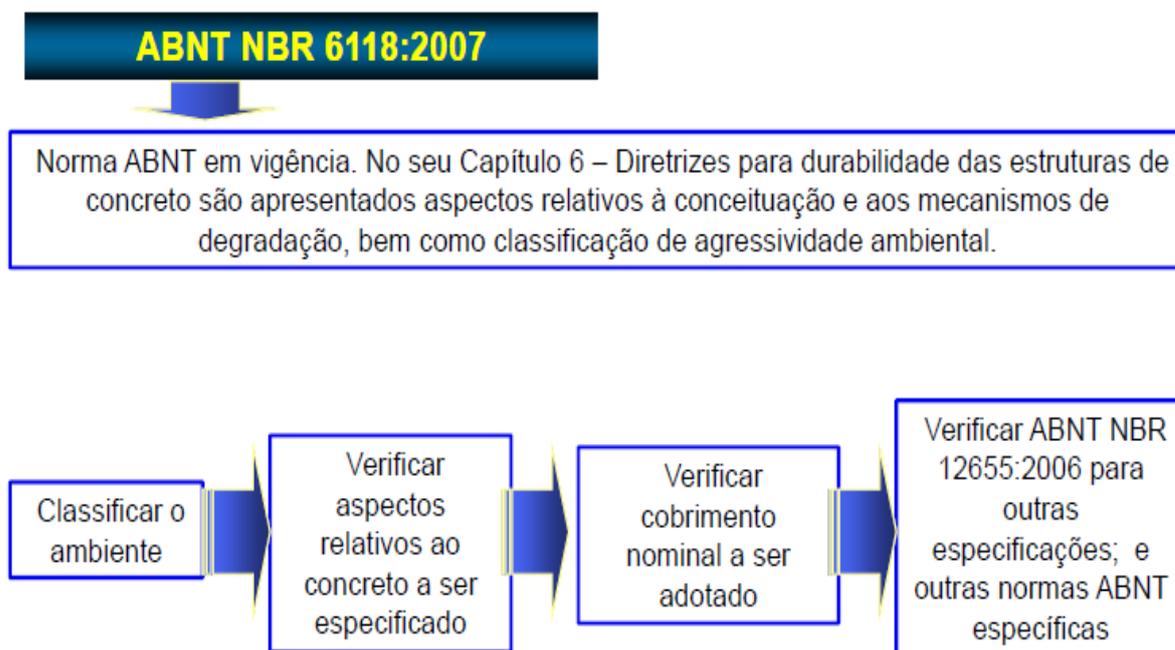


Figura 6 - Fluxograma de procedimentos a serem adotados quando da escolha classe de concreto, relação água/cimento, cobrimento nominal de armadura e tipo de cimento

A tabela 2 estabelece a relação entre a classe de agressividade ambiental, o tipo de ambiente, a agressividade e o risco de deterioração. Com base nessa tabela é possível definir em projeto a classe de resistência, a relação água/cimento mais apropriada, o adequado cobrimento de armadura e o mais apropriado tipo de cimento.

Tabela 2- Classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118:2007)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ¹⁾²⁾	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ¹⁾³⁾	
IV	Muito forte	Industrial ¹⁾³⁾	Elevado
		Respingos de maré	

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

A Tabela 3 apresenta a relação entre classe de agressividade ambiental, relação água/cimento e classe de resistência do concreto.

Tabela 3 - Relação entre classe de agressividade ambiental, relação água/cimento e classe de resistência, conforme ABNT NBR 6118:2007

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤0,65	≤0,60	≤0,55	≤0,45
	CP	≤0,60	≤0,55	≤0,50	≤0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	CP	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40
NOTAS					
1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655					
2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.					
3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

A Tabela 4 apresenta a relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento de armadura.

Tabela 4 - Relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento de armadura.

Tipo de estrutura	Componente e ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV ³⁾
Cobrimento nominal (mm)					
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

1) Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

2) Para face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências da tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5¹⁾, respeitando um cobrimento nominal ≥15mm.

3) Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensivamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥45mm.

2.2.2 Considerações sobre os procedimentos de execução e controle

A ABNT NBR 14931:2001 estabelece os requisitos gerais para a execução de estruturas de concreto. Em particular, esta Norma define requisitos detalhados para a execução de obras de concreto, cujos projetos foram elaborados de acordo com a ABNT NBR 6118:2007.

A seguir apresentam-se alguns procedimentos de execução que influenciam a durabilidade das estruturas de concreto armado.

2.2.2.1 Procedimento de lançamento e adensamento (segregação; exsudação)

Para Neville e Brooks (2013) as operações de lançamento e adensamento possibilitam obter um concreto com características de resistência, impermeabilidade e durabilidade.

a) Lançamento

A atividade de lançamento deve seguir um planejamento em que o objetivo principal seja depositar o concreto o mais próximo possível de sua destinação final, prevenindo-se da segregação e da possibilitando o adensamento (NEVILLE; BROOKS, 1997).

Lançamento consiste na etapa que abrange a colocação do concreto para a moldagem da peça. É fundamental estar atento para o lançamento em peças com grandes alturas (exemplo: pilares com mais de 2 m de altura), “cuja execução deve ser realizada de forma cuidadosa, para evitar a segregação dos agregados graúdos nas regiões inferiores, originando vazios ou bicheiras” (ANDRADE; SILVA, 2005, p. 964).

A manifestação de bicheiras em elementos de concreto caracterizam falhas de concretagem e o serviço de reparo deve ser realizado localmente (MONTEIRO 2005).

O concreto pré-misturado após chegar ao canteiro de obras, deve ser lançado mais próximo possível de seu destino final. Destaque-se que para minimizar

a segregação, o concreto não deve ser transportado à longa distância enquanto está sendo lançado em fôrmas e lajes.

Em grande parte das vezes o concreto é depositado em camadas horizontais de espessura uniforme, e cada camada é inteiramente adensada antes da próxima ser lançada. Segundo Metha e Monteiro (1994, p. 342) “a velocidade de lançamento deve ser rápida o suficiente pra que a última camada adensada esteja ainda plástica quando a nova camada for lançada”.

Neville e Brooks (1997) estabelecem que para obter um bom acabamento em pilares e paredes, à velocidade de preenchimento das fôrmas deve ser de no mínimo 2 m por hora, evitando-se retardos, e conseqüentemente a formação de juntas frias. Caso se verifique a formação de juntas de concretagem Monteiro (2005) especifica que as mesmas deveram ser desbastadas e reparadas.

b) Adensamento

Adensamento é o processo de moldagem do concreto nas fôrmas e em redor das peças embutidas com a finalidade de expulsar os bolsões de ar retidos. Vibração, tanto interna quanto externa, é o método mais usado para adensar o concreto. O atrito entre as partículas de agregado graúdo é reduzido na vibração; por conseguinte, a mistura começa a fluir facilitando o adensamento. Um dos objetivos de utilizar vibradores internos é forçar a saída do ar aprisionado no concreto, pela introdução rápida do vibrador na mistura e retirada vagarosamente, com movimentos curtos para cima e para baixo, com isso ajudando o ar a sair. Quando o vibrador é removido lentamente, as bolhas de ar sobem à superfície (METHA; MONTEIRO, 1994).

Portanto, todo o concreto deve ser adensado com a finalidade de remover a “maior quantidade possível de ar aprisionado, de modo que o concreto endurecido tenha um mínimo de vazios e, conseqüentemente, seja resistente, durável e de baixa permeabilidade” (NEVILLE; BROOKS, 1997, p.134).

A vibração tem o efeito de:

Fluidificar o componente argamassa da mistura diminuindo o atrito interno e acomodando o agregado graúdo. A forma da partícula do agregado graúdo tem grande importância no que diz respeito à consecução de uma arrumação mais compacta. (NEVILLE; BROOKS, 1997, p. 237).

Para Neville e Books (2013) o procedimento de vibração, possibilita a obtenção de um concreto monolítico, sem possíveis fissuras por assentamento plástico, e sem planos de fraqueza na união entre as camadas.

A vibração deve ser aplicada de maneira uniforme em toda a massa do concreto, porque de outra maneira, partes estariam pouco adensadas e outras poderiam estar segregadas devido ao excesso de vibração.

b.1) Segregação

A segregação consiste na separação dos componentes do concreto fresco de tal maneira que a sua distribuição não é mais uniforme.

Neville e Brooks (2013) define a segregação como sendo:

A separação dos constituintes de uma mistura heterogênea de modo que sua distribuição deixe de ser uniforme. Todavia em se tratando de concreto, as diferenças de tamanho das partículas e das massas específicas dos constituintes da mistura são as causas primárias da segregação, que podem ser controladas por uma granulometria adequada e por cuidados no manuseio. (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 214).

Segundo Neville e Brooks (2013), o risco de segregação será menor se o concreto não necessitar ser transportado a grandes distâncias e puder ser transferido diretamente da betoneira ou da caçamba para a posição final na forma. Em contrapartida, deixando o concreto cair de grandes alturas, ou passar por calhas, principalmente com mudança de direção, ou descarregando-o contra obstáculos, favorece a segregação e, nesses casos, deve-se usar uma mistura de forma coerente. Com métodos corretos de manuseio, transporte e lançamento, a possibilidade de segregação pode ser reduzida.

b.2) Exsudação

Exsudação pode ser definida nos seguintes termos:

É a separação de parte da água de mistura do concreto, a qual tende a subir para a superfície do concreto recém-adensado. Parte dessa água acumula-se na parte inferior dos agregados graúdos e das barras de aço, prejudicando a aderência e a resistência final do concreto. Portanto, no sentido horizontal, há formação de um caminho preferencial de agentes de ataque e diminuição da resistência a compressão nesse sentido. (GUIMARÃES, 2005, p. 490).

Para Guimarães (2005) o deslocamento de água até a superfície do concreto pode carregar uma quantidade de partículas de cimento, formando uma nata com alta relação água/cimento, resultando com baixa resistência e aderência.

A exsudação ainda pode ser definida como sendo:

Um fenômeno cuja manifestação externa é o aparecimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém antes de ocorrer a sua pega (ou seja, quando a sedimentação não pode mais ocorrer). A água é o componente mais leve da mistura de concreto; conseqüentemente, a exsudação é uma forma de segregação, porque os sólidos em suspensão tendem a se sedimentar sob a ação da força da gravidade. (METHA; MONTEIRO, 1994, p. 357).

Conforme Metha e Monteiro (1994) é importante reduzir a tendência à segregação na mistura de concreto, porque a compactação total, que é essencial para atingir o potencial máximo de resistência, não será possível após o concreto ter segregado.

A exsudação é também conhecida como separação de água, ou seja:

É uma forma de segregação em que parte da água da mistura tende a subir para a superfície de um concreto recém-aplicado. É resultado do fato de que os constituintes sólidos da mistura serem incapazes de reter a água quando tendem a descer, pois, de todos os constituintes, a água é que tem a menor massa específica. (NEVILLE e BROOKS, 2013, p. 214).

De fato, um pouco de exsudação não tem como evitar. Mas, segundo Neville e Brooks (2013, p. 216) “em peças altas, como pilares ou paredes, com a ascensão da água, reduz-se a relação água/cimento das partes inferiores”, mas a água

aprisionada nas partes superiores do concreto, resulta em maior relação água/cimento nessas partes e, assim, menor resistência.

2.2.2.2 Cura e qualidade do cobrimento das armaduras

a) Cura

Em qualquer das situações, a finalidade primordial da cura é impedir a perda prematura da água em excesso nos primeiros dias, momento em que o concreto ainda não tem resistência à tração suficiente para aguentar os esforços resultantes dessa retração. As fissuras provocadas devido à deficiência na etapa de cura abrem espaço para a penetração de agentes agressivos, diminuindo, com isso, a durabilidade da estrutura. (ANDRADE; SILVA, 2005).

Em se tratando de cura de concreto com água é necessário considerar que:

É o meio mais efetivo de prevenir fissuração prematura e desenvolvimento adequado das reações de hidratação nas primeiras idades. A manutenção da superfície do concreto saturada com água previne a sua difusão do interior para o meio ambiente e, portanto, impede o aparecimento de retração plástica ou retarda a retração hidráulica, fornecendo a microestrutura da pasta tempo suficiente para resistir aos esforços de tração dela provenientes (ISAIA, 2011, p. 328).

Portanto, a cura do concreto evita o aparecimento de retração plástica ou ainda delonga a retração hidráulica, fornecendo a microestrutura da pasta, tempo suficiente para resistir aos esforços de tração dela originadas.

b) Cobrimento da armadura

A camada superficial de uma peça de concreto, segundo Silva (2011, p. 828) “é responsável por uma boa parte de sua durabilidade. A sua qualidade frente ao ingresso de agentes deletérios é fortemente influenciada pelo tratamento dado nas primeiras idades, principalmente a cura”. Portanto, durante a etapa de projeto é indispensável ser capaz de identificar a classe de agressividade ambiental para assim especificar adequadamente o cobrimento de armadura. Todavia é ainda mais importante garantir o cobrimento de armadura através da adoção de espaçadores.

2.2.3 Procedimentos para uso e manutenção de edifícios conforme ABNT NBR 5674:2012

Esta Norma estabelece os requisitos para a gestão do sistema de manutenção de edificações. A gestão do sistema de manutenção inclui meios para: a) preservar as características originais da edificação; b) prevenir a perda de desempenho decorrente da degradação dos seus sistemas, elementos ou componentes; Edificações existentes antes da vigência desta Norma devem se adequar ou criar os seus programas de manutenção atendendo ao apresentado nesta Norma. Os anexos desta Norma apresentam exemplos de modelos não restritivos ou exaustivos a serem adaptados em função das características específicas da edificação.

O item 7.8 da ABNT NBR 6118:2007 entende que o conjunto de projetos relativos uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da obra e que deve ser produzido um Manual de Manutenção da estrutura conforme *item 25.4*: dependendo do porte da construção e da agressividade do meio e de posse das informações dos projetos, dos materiais e produtos utilizados e da execução da obra, esse Manual deve ser produzido por profissional habilitado, devidamente contratado pelo Proprietário da obra.

Esse Manual deve explicitar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura conforme indicado na ABNT NBR 5674:2012.

O item 3.4 da ABNT NBR 5674 define Manual de Operação, Uso e Manutenção como o documento que reúne apropriadamente todas as informações necessárias para orientar essas atividades. Deve ser elaborado em conformidade com a ABNT NBR 14037:2011 Manual de operação, uso e manutenção das edificações. Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação.

Resumindo pode-se afirmar que vida útil deve sempre ser analisada de um ponto de vista amplo que envolve o projeto, a execução, os materiais, o uso, operação e a manutenção sob um enfoque de desempenho, qualidade e sustentabilidade.

2.2.4 Mecanismos de deterioração das estruturas de concreto

Os mecanismos mais importantes e frequentes de envelhecimento e de deterioração das estruturas de concreto estão descritos nas ABNT NBR 6118:2007 e ABNT NBR 12655:2006 e listados a seguir.

2.2.4.1 Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto

Os mecanismos preponderantes de deterioração do concreto são os seguintes:

- Lixiviação (águas puras e ácidas);
- Expansão (*sulfatos, magnésio*) e *expansão* (reação álcali-agregado);
- Reações deletérias (superficiais tipo eflorescências).

a) Lixiviação

Para Neville e Brooks (2013) a lixiviação excessiva do hidróxido de cálcio aumenta a porosidade do concreto tornando-o mais fraco e propenso a ataques químicos.

b) Expansão

b.1) Ataque por sulfatos e magnésios

A expansão é um fenômeno característico das reações de cal livre, magnésio e sulfato de cálcio que sofrem um aumento de volume. Porém é essencial que após a pega a pasta de cimento não sofra alteração significativa de volume, caso contrário, isso pode causar a desagregação da pasta de cimento endurecida (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O fenômeno da expansão inicia-se com a penetração de íons sulfato pela porosidade do concreto, e ao reagir com os compostos hidratados do cimento, dentre eles os aluminatos tricálcicos (C_3A) e o hidróxido de cálcio $\{Ca(OH)_2\}$ formam-se compostos expansivos como a etringita e a gipsita, capazes de gerar o

tensionamento da matriz, sua fragilização e fissuração. (LINHARES; DAL MOLIN, 2010).

Na expansão pela penetração de magnésio (MgO), também observamos uma reação deletéria originando expansibilidade (NEVILLE; BROOKS,2013).

b.2) Reação álcalis-agregado

A expansão álcali-agregado no concreto caracteriza-se por ser uma reação química entre a sílica reativa, constituinte dos agregados, e os álcalis no cimento, podendo ocasionar a desagregação do concreto. Dentre as formas de sílica reativa destacamos opala (amorfa), calcedônia (criptocristalina fibrosa) e tridimita (cristalina) (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A expansão da pasta de cimento parece ser causada pela pressão hidráulica gerada pela osmose, devido ao taque dos materiais silicosos dos agregados pelos hidróxidos alcalinos derivados dos álcalis do cimento (Na_2O e K_2O), mas também pode ser gerada pela pressão da expansão dos produtos, ainda em estado sólido, da reação álcali-silica (NEVILLE; BROOKS,2013).

2.2.4.2 Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura (Corrosão)

Dentre as várias definições encontradas para corrosão, Helene (1992) a define como sendo “uma interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica.” Entendendo-se por corrosão propriamente dita o ataque de natureza preponderantemente eletroquímico, que ocorre em meio aquoso.

A corrosão do aço isolado ocorre em função das diferenças entre o potencial eletroquímico na superfície, que formam regiões anódicas e catódicas conectadas pelo eletrólito na forma de solução salina no cimento hidratado. “A corrosão é um processo eletroquímico que ocorre quando estão disponíveis água e oxigênio” (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 268).

Helene e Pereira (2007, p. 40) definem corrosão das armaduras como sendo “um processo eletroquímico de degradação (oxidação) do aço no elemento de concreto” e os fatores que a condicionam estão relacionados principalmente com as características do concreto, do meio ambiente e da disposição das armaduras nos elementos estruturais afetados.

Para Neville e Brooks (2013) a corrosão da armadura, pode ser decorrente dos processos de carbonatação da camada de cobrimento ou de penetração de cloretos até atingir a armadura. Sendo que ambos os processos estão relacionados com a permeabilidade do concreto. Para que se manifeste o processo corrosivo é preciso que haja uma diferença entre dois pontos da armadura, possibilitando o fluxo de elétrons; o concreto esteja úmido garantindo a existência de um eletrólito; o oxigênio esteja presente, possibilitando a reação catódica; ocorra o rompimento da camada passivadora da armadura, podendo ser pela ação de íons cloreto ou pela carbonatação do concreto.

a) Corrosão devida à carbonatação

Para Amorim (2010, p. 50), a Carbonatação “Ocorre quando o dióxido de carbono presente na atmosfera reage com umidade existente no interior dos poros de concreto transformando o hidróxido de cálcio com pH elevado, em carbonato de cálcio que tem um pH mais neutro” (Figura 7).

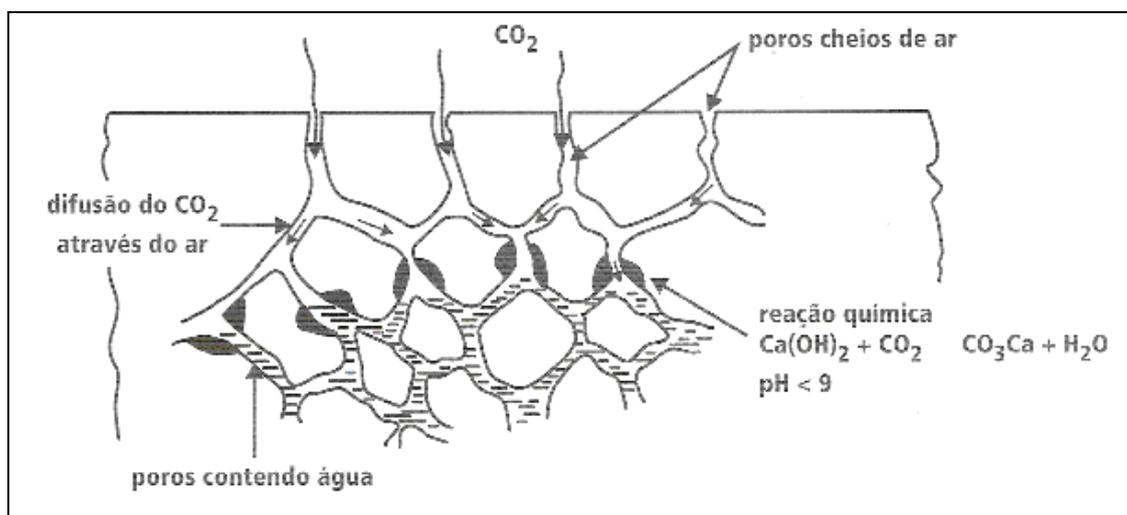


Figura 7- Representação esquemática da reação de Carbonatação do hidróxido

Fonte: Fusco (2008 apud AMORIM, 2010).

Em conformidade com Neville e Brooks (2013) o dióxido de carbono “CO₂” presente na atmosfera em conjunto com umidade e ou água “H₂O” forma ácido carbônico “H₂CO₃”, este reage com o hidróxido de cálcio “Ca (OH)₂” formando carbonato de cálcio “CaCO₃”. Essas reações neutralizam a natureza alcalina da pasta de cimento hidratada e a proteção do aço contra corrosão é prejudicada.

No caso da carbonatação ocorre a depassivação da camada protetora na superfície do metal e inicia-se a formação da ferrugem.

A umidade e a presença de vapor de água nos poros do concreto também influem no ingresso de agentes agressivos, principalmente o gás carbônico, que tem como mecanismo de penetração no concreto a difusão, que atravessando os poros com ar e também com água pode levar a depassivação da armadura, ou seja processo conhecido por carbonatação (SATO; AGOPYAN, 2014).

b) Corrosão por elevado teor de íon cloro (cloreto)

Conforme especifica Helene (1992) a corrosão pode ter sua manifestação acelerada por agentes agressivos (íons Cloretos, Sulfetos, óxidos de enxofre) contidos ou absorvidos pelo concreto. Onde os mesmos não permitem a formação ou quebram a película já existente de passivação do aço. Os íons cloreto ao penetrar no concreto em presença de água e oxigênio, formam ácido clorídrico gerando a depassivação da armadura (NEVILLE; BROOKS, 2013). Sendo que os íons cloretos podem ser provenientes da água do mar em contato com o concreto, da atmosfera marinha ou industrial ou mesmo da lavagem de fachadas e pisos com ácido muriático (HELENE, 1993).

2.2.4.3 Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita

Ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas (fadiga), deformação lenta (fluência), relaxação, e outros considerados em qualquer norma ou código regional, nacional ou internacional, mas que não fazem parte de uma análise de vida útil e durabilidade tradicional.

2.2.4.4 Mecanismos de transporte de massa os principais fatores que regem o ingresso de agentes agressivos no concreto.

O estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado tem evoluído graças ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e gases agressivos nos meios porosos, como o concreto. Sendo que o transporte destes líquidos e/ou agentes agressivos para o interior do concreto se caracterizam por mecanismos de:

- a) **Permeabilidade x Porosidade x Penetrabilidade**
- b) **Difusão**
- c) **Absorção**
- d) **Migração**

O desempenho do concreto, enquanto barreira para diminuição do transporte de agentes potencialmente causadores de corrosão das armaduras, está relacionado com a sua porosidade.

“A porosidade do concreto é uma das partes constituintes do concreto que pode ser manipulada de forma a proporcionar a este concreto um maior desempenho ao longo do tempo, obtendo-se uma maior durabilidade” (GREGOLI et al., 2001).

Para Neville (1997) os poros têm origem no espaço deixado pela água de amassamento após a hidratação do cimento, que, com o volume maior do que o cimento anidro que passa a ocupar parte do volume preenchido pela água, deixando uma quantidade de vazios. Caracterizando desta forma um concreto permeável.

Por permeabilidade, define-se como sendo a facilidade com a qual líquidos ou gases podem se movimentar através do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Neville e Brooks (2013) observam que a realização de um curto período de cura úmida, em um concreto com baixa relação água/cimento permite a segmentação dos poros e conseqüentemente redução da permeabilidade.

Sendo que a intercomunicabilidade entre os poros é fator essencial para aumentar a permeabilidade (HELENE, 1993).

Dentre as substâncias agressivas Helene (1992) destacam os íons cloretos, sulfetos, óxidos de enxofre e gás carbônico.

O transporte destes agentes agressivos para o interior do concreto se dá principalmente por mecanismos de absorção capilar, permeabilidade e difusão, podendo ainda ocorrer migração iônica no caso da penetração de cloretos (SATO; AGOPYAN, 2014).

2.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

A seguir apresentam-se as origens e causas das manifestações patológicas nas estruturas de concreto, sendo este o tema norteador da pesquisa ora em estudo.

De acordo com Helene (1992), patologia é parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

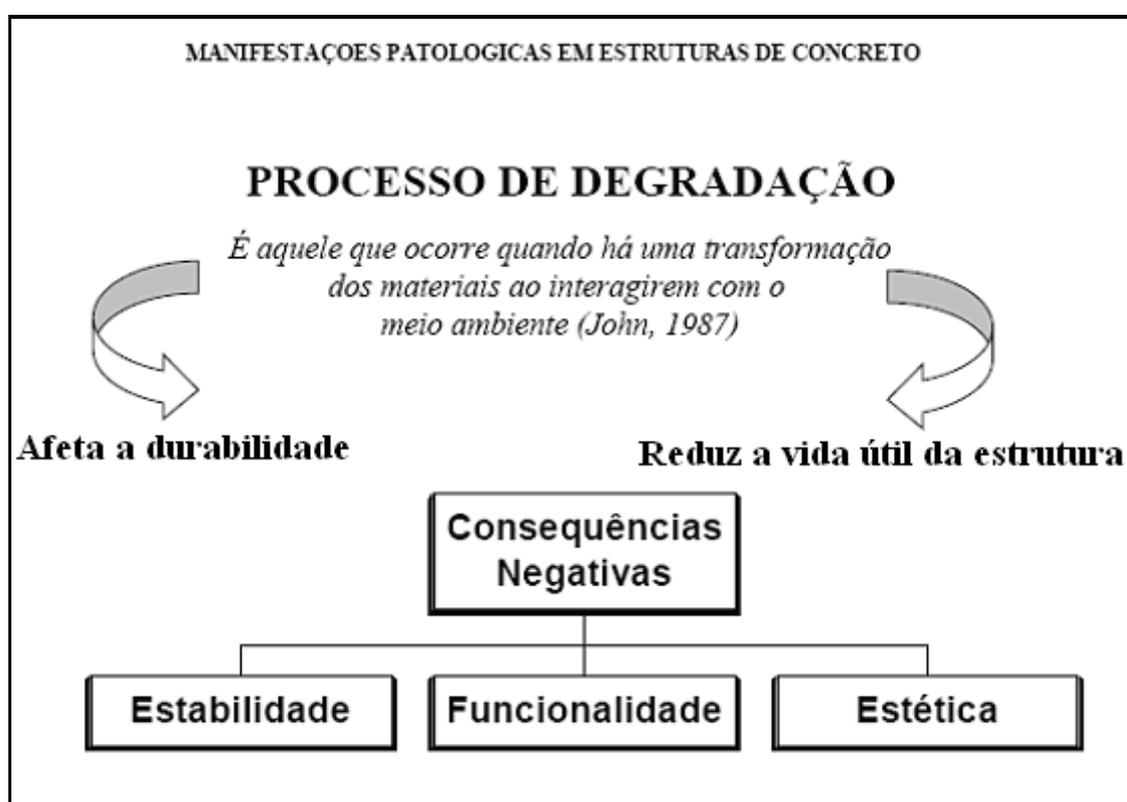


Figura 8 - Processo de degradação patológico
Fonte: Monteiro (2014).

Verifica-se (Figura 8) que o processo de degradação das patologias acaba afetando a estabilidade, funcionalidade e estética da obra.

As origens das patologias podem ser de ordem congênicas, construtivas, adquiridas e acidentais como demonstra a Figura 9:



Figura 9 - Origens das patologias em estrutura de concreto

Fonte: Monteiro (2014).

Conforme Almeida (2014) o campo das patologias das estruturas é uma área da Engenharia Civil que apresenta grande diversidade e complexidade, em decorrência da abrangência de aspectos em análise, que podem advir (Figura 9), tais como: de erros de projetos, erro de execução, agressividade do meio ambiente, má escolha de materiais, entre outros fenômenos atípicos.

A seguir apresentam-se as principais patologias encontradas em estruturas de concreto.

2.3.1 Patologias provenientes de erros de projetos

2.3.1.1 Projetos de fundação

Para fins de projeto de fundações, as investigações do terreno de fundação constituído por solo, rocha, mistura de ambos ou rejeitos compreendem procedimentos de investigações de campo e de laboratório. Sendo que as possíveis causas de patologias relativas a projeto de fundação são relacionadas a seguir:

- a) Ausência de investigação ou investigação insuficiente;
- b) Investigação com falhas;
- c) Interpretação inadequada dos dados.

2.3.1.2 Projeto estrutural

Para fins de projeto estrutural, a solução estrutural adotada em projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

Sendo que as possíveis causas de patologias relativas a projeto estrutural são relacionadas a seguir:

- a) Escolha inadequada ou equivocada da classe de agressividade ambiental na qual a estrutura ficará exposta, ou seja, classe de resistência e cobrimento de armadura insuficientes para garantir a vida útil de projeto.
- b) Escolha inadequada do tipo de cimento;
- c) Escolha inadequada da dimensão máxima característica do agregado graúdo com conseqüentes dificuldades de lançamento e adensamento e mesmo segregação;

- d) Escolha equivocada da combinação mais desfavorável de solicitações;
- e) Não realizar ensaios em tuneis de vento;
- f) Desconsiderar a necessidade do desenvolver manual de uso e manutenção da estrutura.

Na Tabela 5 citam-se os principais erros de projeto, conforme Blevot, apud Cánovas (1988):

Tabela 5 - Principais erros de projeto conforme (BLEVOT (...) apud CÁNOVAS 1988).

Erros de concepção geral	3,5 %
Erros nas hipótese de cálculo, erros de materiais e ausência de estudos	8,5%
Falhas resultantes de deformações excessivas	19,7%
Falhas resultantes de variações dimensionais (Terraços, balcões, elementos externos à edificação =26,5%)	43,7%

Fonte: (BLEVOT apud CÁNOVAS 1988).

2.3.2 Defeitos de execução

2.3.2.1 Erros de armação

São bastante comuns erros de ancoragem, ementas, transpasses, cobrimento de armadura e espaçamento entre barras.

2.3.2.2 Erros de concretagem

Dentre os principais erros de concretagem destacam-se a dosagem deficiente, controle de aceitação inexistente, lançamento de grandes alturas, adensamento excessivo ou insuficiente, cura inexistente ou deficiente.

2.3.2.3 Formas

Não são incomuns erros devido ao escoramento vertical ou horizontal que acabam por produzir deformações excessivas, falta de verticalidade. Existem situações em que as formas não produzem estanqueidade suficiente, gerando perda de pasta ou mesmo argamassa.

2.3.2.4 Juntas de concretagem

As juntas de concretagem, bem como plano de concretagem devem ser previstos antes do início da concretagem para evitar situações em que as juntas são feitas de forma inadequadas.

A seguir será realizado um estudo das fissuras presentes nas estruturas de concreto armado.

2.3.3 Fissuras

Conforme o item 13.4.1 da NBR 6118 (2007), a fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto à tração; mesmo sob as ações de serviço (utilização), valores críticos de tensões de tração são atingidos.

Para Neville e Brooks (2013) as fissuras plásticas, fissuras térmicas e fissuras de retração por secagem são aquelas intrínsecas ao concreto.

Segundo Thomaz (1989) a ocorrência de fissuras são de fundamental importância, pois podem caracterizar três aspectos: o aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura, o comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, etc.), e o constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre seus usuários.

2.3.3.1 Fissuras do concreto no estado plástico

a) Fissuras por retração plástica

Sendo que as fissuras plásticas se formam antes do concreto se endurecer e são originadas por retração plástica ou assentamento plástico. As fissuras por retração plástica são aquelas que ocorrem devido à ocorrência de uma contração volumétrica na pasta do cimento, devido à perda de água por evaporação da superfície do concreto ou pela sucção da água pelo concreto seco situado abaixo. Onde o processo de contração volumétrica induz tensões de tração nas camadas superficiais devido a elas estarem restringidas pelo concreto interno, não passível de retração, originando fissuras na superfície do concreto em estado plástico.

Segundo Neville e Brooks (2013) as fissuras de retração por secagem se originam com a saída de água do concreto endurecido mantido ao ar não saturado. E podem estar relacionadas com restrição interna em seções de grandes dimensões, originadas por retração diferencial entre a superfície e o interior do concreto induzidas por tensões de tração ou com restrição externa ao movimento proporcionada por outra parte da estrutura ou pelo subleito. Uma forma relacionada de fissuração por retração por secagem é a fissuração mapeada (mapeamento superficial) em paredes e lajes, que ocorrem quando a superfície do concreto tem um teor de água mais elevado que o interior.

b) Fissuras por assentamento plástico

As fissuras por assentamento plástico surgem quando do assentamento do concreto na exsudação é desigual devido à presença de obstáculos.

c) Fissuras por retração térmica

Em conformidade com Neville e Brooks (2013) definem-se fissuras térmicas como sendo um fenômeno provocado pela restrição da retração, causada pelo resfriamento do concreto a partir de uma temperatura inicial desnecessariamente elevada, para tal, especificam que o concreto deve ser protegido da ação do sol caso tenhamos uma noite fria subsequente. As mesmas também são observadas em grandes volumes de concretos não armados, devido à retração no resfriamento a partir de uma temperatura de pico causada pela hidratação do cimento. Desta forma para evitar este tipo de fissuração, devemos minimizar a diferença entre o pico de temperatura do concreto e a temperatura ambiente ou minimizar a restrição.

2.3.3.2 Fissuras no concreto no estado endurecido

Para Helene (1992) a ocorrência de fissuras pode estar relacionada com: (sobrecarga; armadura e/ou estribo insuficiente ou mal posicionado; má aderência entre concreto e armadura; seção de concreto insuficiente; cura e/ou adensamento inadequado; variação térmica diária ou sazonal).

De acordo com Helene e Pereira (2007) as fissuras de flexão tem ocorrência mais frequentes e apresentam características de iniciarem na armadura e progredirem até a fibra neutra. As fissuras de flexão são diagnosticadas por sobrecargas não previstas, armadura insuficiente e/ou mal posicionada no projeto ou execução e ancoragem insuficiente.

As fissuras de retração hidráulica ou de movimentação térmica são originadas devido à cura inadequada do concreto e ou contração térmica devido a gradientes de temperatura diários ou sazonais.

De acordo com Almeida (2014) atualmente é comum se deparar com residências, edifícios, ou qualquer tipo de construção, nos quais alguns tipos de fissura estão presentes. Um dos fatores em destaque no Brasil é o fator climático, porquanto em cada região a temperatura varia intensamente durante vários meses do ano. Devido a isso as obras de pequeno, médio ou grande porte apresentam fissurações com o tempo.

Fissuras longitudinais no sentido da armadura são originadas pela corrosão da armadura devido à ação da carbonatação da espessura de cobrimento em conjunto com o ingresso de umidade e de oxigênio (NEVILLE; BROOKS, 2013, p. 236).

2.3.4 Efeitos da corrosão das armaduras

Conforme o item 7.6.1 da NBR 6118 (2007), o risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura.

De uma maneira específica Helene e Pereira (2007) estabelecem que a corrosão das armaduras em elementos de concreto armado, tem como consequência a diminuição da seção transversal das armaduras, e se manifestam por meio de manchas de óxidos na superfície, fissuras paralelas na direção das armaduras, deslocamento e/ou desprendimentos de material de cobrimento. Sendo que Silva (1995) também destaca como efeito da corrosão o surgimento de fissuras no cobrimento do concreto com direção paralela a armadura, além de provável lascamento da camada de superfície ou do cobrimento, o mesmo quadro sintomatológico é observado por Cascudo (1997).

2.3.5 Biodeterioração do concreto

O concreto, devido as suas características de porosidade e rugosidade combinada com condições ambientais como a presença de água, temperatura e luminosidade, é considerado um material bioreceptivo, ou seja, apresenta capacidade de ser colonizado por um ou mais grupos de organismos vivos.

Sendo que estes organismos vivos e/ou microorganismos, podem vir a promover ações deletérias no material interferindo na microestrutura comprometendo sua integridade. E ou apenas interferir no seu aspecto estético (SILVA; PINHEIRO, 2005).

Silva e Pinheiro (2005) definem biodeterioração como sendo uma mudança indesejada nas propriedades de um material. Especificamente no concreto, os microorganismos que a originam são as algas, os fungos, as bactérias e os líquens.

O termo bolor ou mofo é entendido como a colonização por diversas populações de fungos filamentosos sobre vários tipos de substrato, citando-se inclusive as argamassas inorgânicas. O desenvolvimento de fungos em revestimentos internos ou de fachadas causa alteração estética de tetos e paredes, formando manchas escuras indesejáveis em tonalidades preta, marrom e verde, ou ocasionalmente, manchas claras esbranquiçadas ou amareladas (SILVA; PINHEIRO; 2005).

O processo de biodeterioração do concreto se manifesta conforme o mecanismo a seguir:

Depois de instalado na superfície do concreto, o biofilme favorece a fixação e o desenvolvimento de novos microorganismos, que podem ser responsáveis pela deterioração bioquímica do material, a qual, além de modificar sua superfície, pode vir a causar sérios danos à estrutura interna do concreto, solubilizando seus componentes, promovendo o descolamento de placas das estruturas e deixando o material suscetível ao desenvolvimento de outros mecanismos de deterioração. (SILVA; PINHEIRO, 2005, p. 876).

2.3.6 Reações deletérias superficiais do tipo eflorescências.

Eflorescência são formações salinas nas superfícies das paredes, trazidas de seu interior pela umidade. Apresenta-se com aspecto esbranquiçado à superfície da pintura ou reboco; Criptoflorescência: formação de cristais no interior da parede ou estrutura pela ação de sais. Causam rachaduras e até a queda da parede; Gelividade: Ação da água depositada nos poros e canais capilares dos materiais que ao se congelar podem causar a desagregação dos mesmos devido ao seu aumento de volume (SILVA; PINHEIRO, 2005).

Neville e Brooks (2013), define eflorescência como um depósito esbranquiçado de carbonato de cálcio " CaCO_3 ".

Quando ocorre a percolação da água em concretos muito permeáveis observa-se a lixiviação do hidróxido de cálcio " Ca(OH)_2 ". Este reage com o dióxido de carbono " CO_2 " após a evaporação da água da superfície ocasionando à eflorescência. Este fenômeno é observado quando ocorre percolação da água em um concreto mal compactado, através de fissuras ou por juntas mal executas e quando a evaporação pode ocorrer na superfície do concreto Neville e Brooks (2013).

Logo, grande parte das eflorescências pode ser retirada por processos simples, tais como: escovação com escova dura e seca, escovação com escova e água, saturar a alvenaria com água, e em seguida, lavar com solução clorídrica a 10%, finalizando com água abundante (UEMOTO, 1988).

2.3.7 Disgregação (Desplacamento ou Esfoliação)

A disgregação, deslocamento ou esfoliação caracteriza-se pela:

Pela ruptura e destacamento do concreto superficial, principalmente das partes salientes da peça. O fenômeno ocorre em função do surgimento de tensões de tração acima da resistência do concreto. (PIANCASTELLI, 2014, p. 12).

Em conformidade com Piancastelli (2014) a disgregação é normalmente provocada:

- Pela expansão provocada pela corrosão das armaduras;
- Pelas deformações provocadas por cargas excessivas, normalmente pontuais;
- Pelo congelamento de águas retidas;
- Por desagregações internas (como na reação álcali-agregado ⇒ expansão do agregado-caso perigoso);
- Impactos;
- Cavitação; expansão resultante da reação álcali-agregado.

2.3.8 Cobrimento

Conforme o item 7.4.1 da NBR 6118 (2007 p.17), a durabilidade das estruturas de concreto armado é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto de cobrimento da armadura.

Para Helene (1992), uma das grandes vantagens do concreto armado é que ele pode, por sua natureza e desde que bem executado, proteger a armadura da corrosão. Essa proteção baseia-se no impedimento da formação de células eletroquímicas, através de proteção física e proteção química. A proteção física dá-se com o cobrimento das armaduras, com um concreto de alta compactidade, sem “ninhos”, com teor de argamassa adequado e homogêneo, garante, por impermeabilidade, a proteção do aço ao ataque de agentes agressivos externos.

2.4 PROCEDIMENTOS PARA A RECUPERAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

2.4.1 Tratamento de fissuras

Para tratamento de fissuras Helene (1992), especifica que deve ser feito uma verificação da condição do estado da fissura, se a mesma apresenta variação de suas dimensões fissura ativa, ou não apresenta variação fissura passiva.

O objetivo do tratamento da fissura “é garantir que o elemento estrutural volte a funcionar como um todo, monoliticamente, através do fechamento da fissura. Assim as fissuras ativas devem ser estabilizadas, e desta forma as fissuras passivas serem fechadas com injeção de resina epóxi” (MOREIRA; RIPPER 1998, p. 121).

O que vem em conformidade com Machado (2002) que prescreve como procedimento para recuperação de fissuras passivas o tratamento convencional de injeção de epóxi sob pressão na região fissurada.

Para Thomaz (1989) o procedimento de recuperação de fissuras de retração em vigas de coberturas aparentes, se dá com a proteção da peça com pinturas flexíveis, incorporando-se à pintura, sempre que possível tela de náilon ou de polipropileno.

2.4.2 Tratamento da corrosão

Para Helene (1992) é passível o diagnóstico de corrosão em armaduras em elementos de concreto que apresentam: alta permeabilidade e/ou elevada porosidade; Cobrimento Insuficiente e/ou má execução.

Como método de reabilitação da corrosão Monteiro (2005) especifica que a proteção física da armadura pode ser restaurada com a utilização de revestimentos

epóxi, de maneira que quando aplicados no aço de forma contínua, sem poros e ou fissuras formam uma barreira física.

Para Tateoka (2011) o procedimento de recuperação da armadura em processo de corrosão inicia-se com a abertura de uma área de corte no concreto e limpeza das armaduras, para posterior aplicação de argamassa polimérica ou graute compatível com a estrutura. Sendo que a área de reparo deve ter profundidade uniforme e paredes em ângulos retos, para melhorar a ancoragem do material e evitar a fissuração do graute.

Para Helene (1992) deve-se remover cuidadosamente o concreto afetado e os produtos da corrosão por lixamento ou escovação, caso necessário recompõem-se à seção da armadura original. Posteriormente deve ser aplicado na armadura inibidor de corrosão (primer epóxi, rico em zinco) e o concreto deve ser recomposto com argamassa base cimento ou epóxi garantindo assim proteção da armadura e o cobrimento adequado.

Da mesma forma Machado (2002) especifica que em caso de corrosão das armaduras deve ser realizado procedimento de recuperação e passivação das barras de aço afetadas e posterior recomposição da superfície de concreto. Porém enfatiza que as causas que induzem a oxidação da armadura devem ser verificadas e tratadas.

2.4.3 Garantia do cobrimento

Helene e Pereira (2007) uma das formas de se manter o cobrimento mínimo durante o procedimento de montagem das armaduras e concretagem dos elementos estruturais é através da utilização de espaçadores plásticos e ou distanciadores. Para vigas e pilares usam-se os modelos circulares e para lajes os tipos cadeirinhas. Como solução para aumentar a espessura de cobrimento das armaduras. Moreira e Ripper (1998) especifica que deve ser retirada da camada mais externa de concreto das peças estruturais através de apicoamento, para posterior complementação com uma camada adicional de revestimento, em concreto ou argamassa. Podendo-se utilizar como material de restauro o Grout base mineral ou epóxi, que se caracteriza

por ser uma argamassa industrializada com características de fácil aplicação, elevada resistência mecânica e ausência de retração.

2.4.4 Tratamento do concreto sujeito a biodegradação

A biodeterioração do concreto pode ser reduzida com a execução e a manutenção das superfícies de concretos o mais lisa possível, e os elementos de concreto devem ser projetados visando o mínimo contato com água e/ou providas de inclinação adequada, bem como árvores próximas devem ser cortadas e o solo drenado (SILVA; PINHEIRO, 2005).

Como método de tratamento das superfícies se indica a limpeza do concreto, para a retirada de poeira, fuligem, biofilmes e crostas superficiais, para tal pode ser realizado serviços de lavagem com pressão, raspagem e ou escovação. (SILVA; PINHEIRO, 2005).

Para Silva (1995), as machas provenientes de fungos ou bolor, deverão ser eliminadas com a aplicação de uma solução composta por 30g de detergente caseiro para roupa, 90g de fosfato trisódico, 0,25g de lixívia e 0,75g de água. Para tal procedimento utiliza-se de trincha pra aplicar a solução e segue com posterior lavagem.

Segundo o item 7.7 da NBR 6118 (2007), elementos de concreto em condições de exposição adversas devem ter suas superfícies protegidas e conservadas através da aplicação de hidrofugantes e/ou pinturas impermeabilizantes.

Após ser realizada a limpeza da superfície do concreto, deve ser feito um tratamento superficial com hidrofugante à base de silicone, com o objetivo de proteger o concreto aparente contra a umidade sem modificar sua aparência natural (CICHINELLI, 2011).

Conforme prescreve a NBR 13245 (1995) para executar o tratamento superficial de pintura deve-se garantir que a superfície esteja limpa, seca, curada, lisa e nivelada, isenta de partículas soltas, óleos, ceras, graxas, mofo ou qualquer outra sujidade.

Em conformidade com Vedacit Impermeabilizantes (2014), o tratamento superficial em concreto aparente, também pode ser realizado com verniz acrílico. Inicialmente aplica-se o selador de forma a uniformizar o substrato, evitando desta forma manchas e posteriormente realiza-se a pintura acrílica.

Deve-se considerar que caso o substrato esteja muito poroso, primeiramente deve-se realizar procedimento de estucamento com pasta de cimento polímero e posterior lixamento.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O presente capítulo pretende apresentar os procedimentos, ferramentas e estratégias para o desenvolvimento do trabalho. Serão descritos o método de estudo, os instrumentos de coleta e de análise de dados.

3.1 MÉTODO DE ESTUDO DE CASO

O presente trabalho classifica-se como um estudo de caso. Este método consiste em uma pesquisa sobre um fenômeno dentro do seu contexto real, na qual se fundamenta em fontes de evidências para que favoreçam o desenvolvimento das suposições teóricas conduzindo-as para a coleta e análise de dados. Para realizar um estudo de caso de qualidade são fundamentais três fontes de evidências: os registros em arquivos; a observação direta, e os artefatos físicos (YIN, 2005).

3.2 COLETA DE DADOS

Para atender os objetivos propostos, empregou-se uma coleta de dados através de vistoria *in loco* no bloco administrativo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no município de Pato Branco-PR, realizada em novembro de 2013.

Durante a coleta de dados observou-se minuciosamente cada uma das manifestações patológicas, para levantamento do maior número de dados possível. Também foram efetuados registros fotográficos das patologias detectadas, pesquisa bibliográfica relacionada a cada um dos problemas encontrados e documentos em arquivos para verificação do histórico de intervenções realizadas na edificação.

Após o levantamento dos dados, dividiu-se a análise das manifestações patológicas por elemento estrutural.

3.3 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O trabalho foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no município de Pato Branco-PR, mais precisamente no Bloco de Administrativo.

Optou-se por essa instituição devido ao número expressivo de patologias encontradas. Além disso, por estar localizado na cidade de Pato Branco, PR, facilitando o acesso do estudo.

Foram vistoriados todos os espaços isoladamente, porém apenas no bloco de administração as patologias foram estudadas, sobretudo por ser à entrada da Universidade, e onde se encontram os setores (Diretoria; Ouvidoria; Assessorias; Diretorias; Coordenadorias de gestão; conselho de campus) que recebem personalidades brasileiras e internacionais. Com isso, entendeu-se que essas patologias precisam de reparos para não comprometer a imagem da Instituição.

3.3.1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Em 1990, o Programa de Expansão e Melhoria do Ensino Técnico fez com que o CEFET-PR se expandisse para o interior do Paraná, onde implantou unidades. Com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDBE), de 1996, que não permitia mais a oferta dos cursos técnicos integrados, a Instituição, tradicional na oferta desses cursos, decidiu implantar o Ensino Médio e cursos de Tecnologia. Em 1998, em virtude das legislações complementares à LDBE, a diretoria do então CEFET-PR tomou uma decisão ainda mais ousada: criou um projeto de transformação da Instituição em Universidade Tecnológica.

Após sete anos de preparo e o aval do governo federal, o projeto tornou-se lei no dia 7 de outubro de 2005. O CEFET-PR, então, passou a ser a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) a primeira especializada do Brasil. Atualmente, a Universidade Tecnológica conta com 13 campus, distribuídos nas cidades de Apucarana, Campo Mourão, Cornélio Procópio, Curitiba, Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Guarapuava, Londrina, Medianeira, Pato Branco, Ponta Grossa, Santa Helena e Toledo.

Em 1992, obteve-se a autorização de funcionamento, pelo Ministério da Educação, da Unidade Descentralizada de Pato Branco, através da Portaria 1.534 de 19 de outubro de 1992.

Campus Pato Branco esta situado no Km 1 - Pato Branco - PR – Brasil.



Figura 10 - Localização da Universidade Federal Tecnológica do Paraná
Fonte: <http://maps.google.com.br> (2014)



Figura 11 - Fachada (Bloco B) Administrativo da UTFPR
Fonte: Pesquisador (2013).

3.4 MÉTODO PARA LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para diagnosticar os problemas patológicos no presente estudo de caso foi utilizado em partes o método de *Lichtenstein*. Foi escolhido esse método porque é disponível e conhecido, além de possuir vários exemplos práticos para pesquisa. Ele tem seu desenvolvimento explicado na Figura 15.

A identificação das patologias e a vinculação de suas causas tem o objetivo de aplicar o método em estudo e possivelmente contribuir para uma correção na trajetória de busca de durabilidade nas construções.

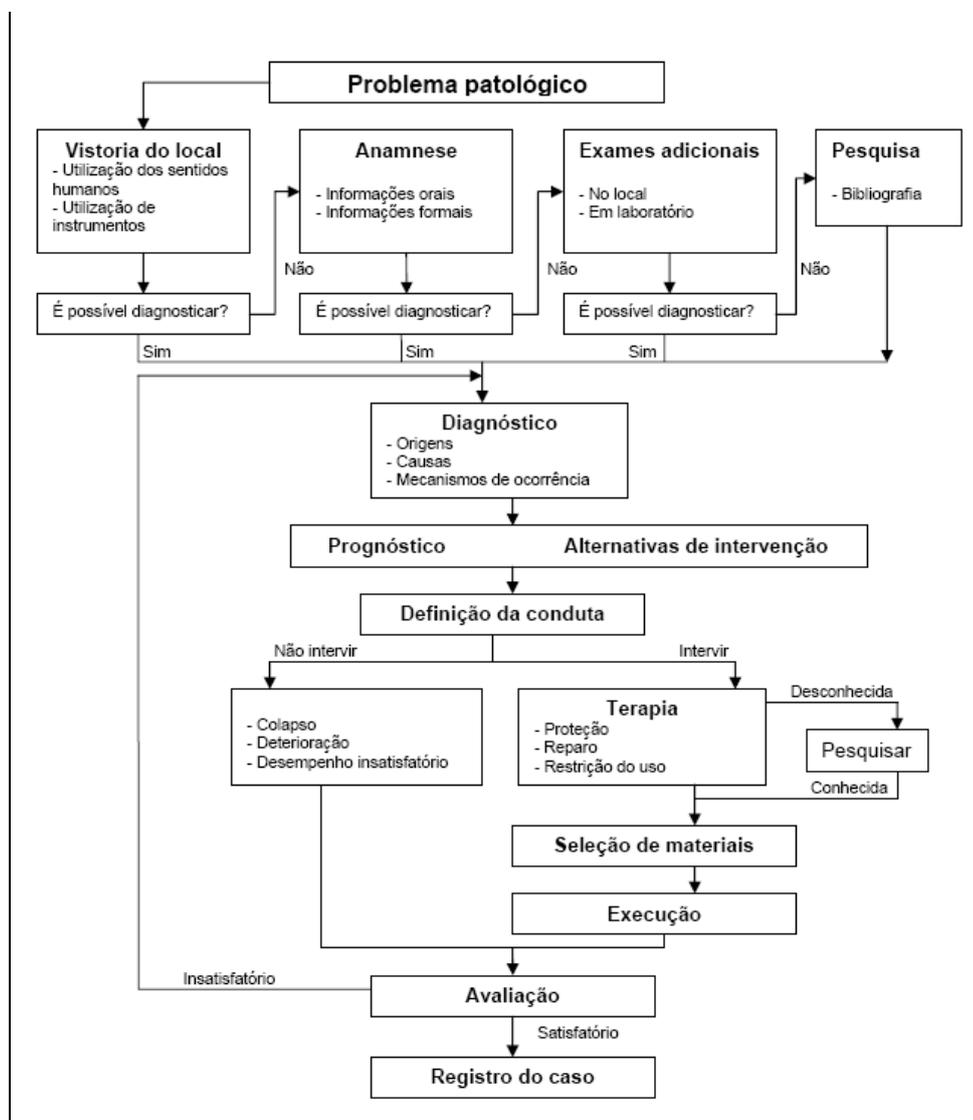


Figura 12 - Método Lichtenstein

Fonte: Lichtenstein (1985)

Lichtenstein no ano de 1985 propôs uma estrutura para a análise de problemas patológicos que consiste em uma sequência de três etapas:

Primeira fase: consiste no levantamento de subsídios, fazendo parte desta, a vistoria do local, o levantamento da história do problema e do edifício (*anamnese do caso*), ensaios complementares e pesquisa. Entendido o caso, parte-se então para a segunda fase.

Segunda fase: que é a elaboração do diagnóstico da situação, que compreende entender “os porquês e os comos” a partir de dados conhecidos.

Terceira fase: caracteriza-se por ser a definição de conduta. Na presente pesquisa não será realizado estudo das alternativas de intervenção.

3.5 CONDUTA PARA RESOLVER O PROBLEMA DE PATOLOGIA

3.5.1 Reparo no pilar

O procedimento sugerido para reabilitação do pilar está demonstrado no item 6.1 da página 85.

3.5.1.1 Procedimento adotado

a) Materiais e equipamentos utilizados:

- Rompedor;
- Escova de aço rotativa;
- Lixa;
- Revestimento inibidor de corrosão;
- Resina epóxi;
- Argamassa.

3.5.1.2 Procedimento do reparo

1º etapa: delimitou-se a área comprometida pela corrosão da armadura;

2º etapa: removeu-se o concreto afetado pelos produtos da corrosão;

3º etapa: realizou-se a limpeza das armaduras;

4º etapa: verificou-se a seção da armadura em comparação com a de projeto;

5º etapa: aplicou-se inibidor de corrosão sob a superfície da armadura;

6º etapa: aplicou-se resina epóxi sob a superfície da armadura;

7º etapa: reconstituiu-se o concreto removido com argamassa base epóxi.

3.5.2 Reparo no brise

O procedimento sugerido para reabilitação do brise está demonstrado no item 6.2 da página 87.

3.5.2.1 Materiais e equipamentos utilizados

- Lavadora de alta pressão;
- Rolo de pintura;
- Impermeabilizante acrílico.

3.5.2.2 Procedimento do reparo

1º etapa: foi realizada lavagem da superfície comprometida com fungos;

2º etapa: tratamento superficial do concreto.

4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS

A seguir apresentam-se as principais patologias encontradas nas superfícies de vigas, pilares e brises. Para melhor identificá-las, fez-se registro fotográfico em cada um dos elementos analisados. Na sequência apresentam-se as vistorias, os diagnósticos e as definições de procedimentos, os quais são referenciados. Para auxiliar o entendimento, dividiram-se as manifestações por tipo de patologia. Apresentando-se as seguintes manifestações patológicas: a) processos corrosivos da armadura, b) fungos, c) ausência de critérios de projeto, d) vazios e/ou bicheiras, e) lixiviação / eflorescência.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Após vistoria, registro e análise foram possíveis diagnosticar as patologias *in loco* que serão demonstradas em forma de figuras.

4.1.1 Manifestações patológicas devido a processo corrosivo em vigas

As Figuras (13 a 46) revelam espessura de cobertura insuficiente e corrosão de armadura:



Figura 13 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 14 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 15 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 16 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 17 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 18 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 19 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 20 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 21 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 22 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 23 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 24 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 25 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 26 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 27 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 28 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 29 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 30 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 31 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 32 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 33 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa

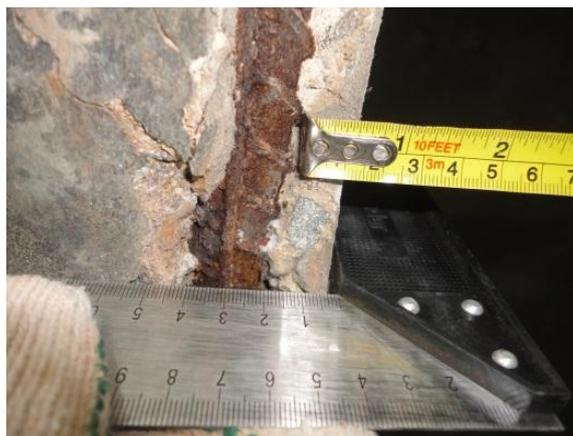


Figura 34 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 35 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 36 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 37 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 38 - Espessura de cobertura insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 39 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 40 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 41 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 42 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em borda de viga externa



Figura 43 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa



Figura 44 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa



Figura 45 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa



Figura 46 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura na lateral de viga externa

4.1.2 Manifestações Patológicas devido a processo corrosivo em pilar

As Figuras (47 a 49) revelam espessura de cobrimento insuficiente e corrosão da armadura em pilar externo:



Figura 47- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em pilar externo



Figura 48 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em pilar externo



Figura 49 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em pilar externo

4.1.3 Manifestações patológicas devido a processo corrosivo em brise externo

As Figuras (50 a 57) revelam espessura de cobrimento insuficiente e corrosão da armadura em brise externo:



Figura 50 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo



Figura 51 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo



Figura 52 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo



Figura 53 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo



Figura 54 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo



Figura 55 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo



Figura 56- Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo



Figura 57 - Espessura de cobrimento insuficiente, corrosão da armadura em brise externo

Os resultados apresentados, por meio das figuras, indicam elevada frequência de pontos onde é possível constatar início de processo corrosivo nas armaduras, sejam elas de vigas, pilares ou brises.

A seguir apresenta-se, um dos possíveis procedimentos a serem adotados durante a inspeção e avaliação das estruturas de concreto armado. Esse procedimento foi proposto por *Lichtenstein* (1985).

O Quadro 1 descreve a vistoria, diagnóstico e sugestão de procedimento terapêutico para sanar a manifestação patológica (início de processo corrosivo)

INÍCIO DE PROCESSO CORROSIVO EM ARMADURAS	
Vistoria	Nas vigas e pilares externos do bloco administrativo de uma forma em geral, percebem-se cobrimento insuficiente e a corrosão da armadura, como mostram respectivamente as Figuras 13 a 49. Em brises do bloco administrativo, percebem-se cobrimento insuficiente e a corrosão da armadura, como mostram respectivamente as Figuras 50 a 57.
Diagnóstico	Nas vigas, pilares e brises, percebem-se cobrimento insuficiente e a corrosão da armadura. De acordo com as classes de agressividade do ambiente, especificado na tabela 6.1 da NBR 6118 (2007) tem-se caracterizado um ambiente urbano com agressividade moderada, classe II, desta forma a espessura de cobrimento para os elementos vigas e pilar em conformidade com a tabela 7.2 da NBR 6118 (2007) deve ser de 30 mm. Nos elementos estruturais analisados de uma forma em geral não foi respeitado o cobrimento mínimo especificado na tabela 7.2 da NBR 6118 (2007), verificando-se em alguns trechos que a armadura estava com cobrimento de 7 mm ou até mesmo exposta Figuras 36 e 39. Assim, a desconformidade da camada de cobrimento, deixou a armadura suscetível a agressividades ambientais, ocasionando principalmente a corrosão do aço, comprometendo a durabilidade da estrutura. Observou-se deslocamento de concreto na superfície devido expansão provocada pela corrosão da armadura (PIANCASTELLI, 2014).
Sugestão de procedimento de reabilitação	Devem ser realizados os procedimentos de reabilitação da estrutura conforme etapas descritas a seguir: <ul style="list-style-type: none"> • Delimitar a área afetada comprometida pela corrosão da armadura devido ao cobrimento insuficiente; Remover o concreto afetado e os produtos da corrosão por lixamento ou escovação, e verificar a seção da armadura original Helene (1992); Aplicar na armadura inibidor de corrosão Helene (1995) e resina epóxi de forma contínua Monteiro (2005). Recompôr o concreto com argamassa base epóxi Helene (1992). A remoção do concreto deu-se com a utilização de rompedor e a limpeza das armaduras com escova de aço rotativa e lixa.

Quadro 1 - Manifestação da espessura de cobrimento insuficiente e corrosão da armadura

4.1.4 Manifestações patológicas devido à presença de fungos e/ou microorganismos

As Figuras 58; 59; 60 revelam superfície dos elementos de fachada em concreto armado “brises” sofrendo ação de biodeterioração:



Figura 58- Fungos em brises



Figura 59 - Fungos em brises fachada face oeste



Figura 60 - Fungos em brises fachada face sul

Os resultados apresentados, por meio das figuras, indicam a manifestação de fungos na superfície do concreto aparente, principalmente no elemento de fachada brises.

A seguir apresenta-se, um dos possíveis procedimentos a serem adotados durante a inspeção e avaliação das estruturas de concreto armado. Esse procedimento foi proposto por *Lichtenstein* (1985).

O Quadro 2 descreve a vistoria, diagnóstico e sugestão de procedimento terapêutico para sanar a manifestação patológica (manifestação de fungos)

MANIFESTAÇÃO DE FUNGOS	
Vistoria	Nos brises posicionados nas fachadas percebem-se a manifestação de micro organismos, bolor e fungos como mostram respectivamente as Figuras 58; 59; 60. No brise que apresenta “bicheira” percebe-se a maior incidência de bolor e fungos, como mostra a figura 58.
Diagnóstico	De acordo com Silva e Pinheiro (2005), observa-se alteração do aspecto estético da estrutura, pela manifestação de manchas escuras indesejáveis em tonalidades preta, marrom e verde nas fachadas externas da estrutura.
Sugestão de procedimento de reabilitação	Devem ser realizados os procedimentos de reabilitação da estrutura conforme etapas descritas a seguir: <ul style="list-style-type: none"> • Realizar a limpeza da superfície de concreto aparente com água sob pressão, de forma a eliminar poeira, fuligem, biofilmes, fungos e microorganismos (SILVA; PINHEIRO, 2005). • Verificar a limpeza da superfície NBR 13245 (1995). • Executar tratamento superficial com a aplicação de verniz acrílico VEDACIT Impermeabilizantes (2014).

Quadro 2 - Manifestação de fungos

4.1.5 Manifestações patológicas ausência de critérios de projeto

As Figuras (61 a 67) revelam a ausência de critérios de projeto, elemento estrutural em desacordo com o item 7.2 Drenagem da NBR 6118 (2007), ausência de rufo ou pingadeira.



Figura 61 - Ausência de Rufo Brises



Figura 62 - Ausência de Pingadeira Vigas



Figura 63 - Ausência de Pingadeira Viga e Brise



Figura 64 - Ausência de Pingadeira Viga e Brise



Figura 65 - Ausência de Pingadeira Viga e Brise



Figura 66 - Ausência de Pingadeira Brise



Figura 67 - Ausência de Pingadeira Viga e Brise

Os resultados apresentados, por meio das figuras, indicam a inobservância de critérios de projetos, principalmente a ausência de rufos e contra rufos.

A seguir apresenta-se, um dos possíveis procedimentos a serem adotados durante a inspeção e avaliação das estruturas de concreto armado. Esse procedimento foi proposto por *Lichtenstein* (1985).

O Quadro 3 descreve a vistoria, diagnóstico e sugestão de procedimento terapêutico para sanar a manifestação patológica (ausência de critérios de projeto)

MANIFESTAÇÃO DE AUSENCIA DE CRITÉRIOS DE PROJETO	
Vistoria	Nos brises e nas vigas do elemento fachada, percebem-se a ausência de mecanismos de drenagem de água, como mostram respectivamente as Figuras 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67.
Diagnóstico	Na parte superior dos brises observa-se a ausência de rufo e ou pingadeira, e ou não possui inclinação adequada de forma que a água não drene sobre o concreto. NBR 6118 (2007) Na parte inferior das vigas expostas, não se observa pingadeira, ou mecanismo que impossibilite que a água penetre na parte de baixo da viga. NBR 6118 (2007)
Sugestão de procedimento para reabilitação	Devem ser realizados os procedimentos de reabilitação da estrutura conforme etapas descritas a seguir: Instalar rufos, chapins ou pingadeiras sobre a superfície horizontal superior das brises; NBR 6118 (2007); Instalar dispositivo de pingadeira na parte inferior de vigas expostas. NBR 6118 (2007)

Quadro 3 - Manifestação de ausência de critérios de projeto

4.1.6 Manifestações patológicas de vazios ou bicheiras

As Figuras 68 a 71 revelam os vazios ou bicheiras:



Figura 68 - Vazios ou Bicheiras em Brise

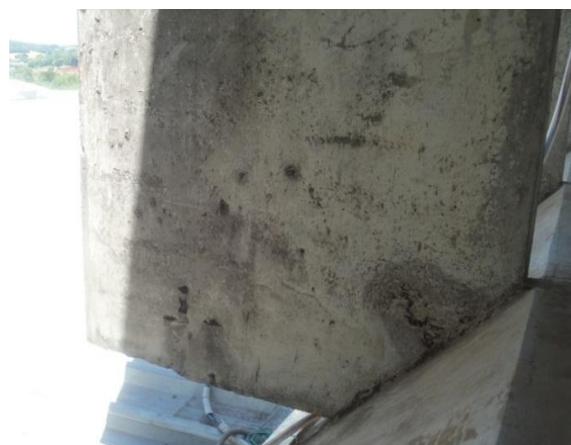


Figura 69 - Vazios ou Bicheiras em Brise



Figura 70 - Vazios ou bicheiras em Viga



Figura 71 - Vazios ou bicheiras em Viga

Os resultados apresentados, por meio das figuras, indicam a manifestação de vazios e/ou bicheiras na superfície do concreto aparente.

A seguir apresenta-se, um dos possíveis procedimentos a serem adotados durante a inspeção e avaliação das estruturas de concreto armado. Esse procedimento foi proposto por *Lichtenstein* (1985).

O Quadro 4 descreve a vistoria, diagnóstico e definição de conduta nas manifestações de vazios ou bicheiras:

MANIFESTAÇÃO DE VAZIOS OU BICHEIRAS	
Vistoria	Nas vigas e em Brises, percebem-se vazios ou bicheiras, como mostram respectivamente as Figuras 68, 69, 70, 71.
Diagnóstico	Vazios ou Bicheiras originadas provavelmente por ineficiência no processo de transporte ou lançamento do concreto (ANDRADE; SILVA, 2005)
Sugestão de procedimento para reabilitação	Devem ser realizados os procedimentos de reabilitação da estrutura conforme etapas descritas a seguir: O serviço de reparo deve ser realizado localmente, através de desbaste e reparo (MONTEIRO 2005).

Quadro 4 - Manifestação de vazios ou bicheiras

4.1.7 Manifestações patológicas de fissura por retração térmica, lixiviação e/ou eflorescência.

As Figuras (72 a 85) revelam fissura por retração térmica e eflorescência:

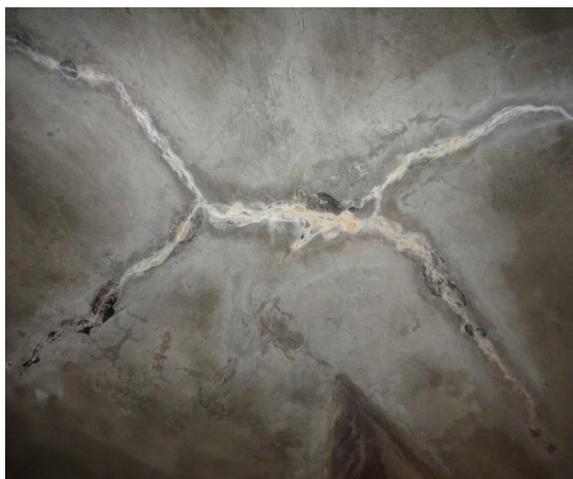


Figura 72 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 73 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 74 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 75 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 76 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 77 - Fissura / Eflorescência viga calha

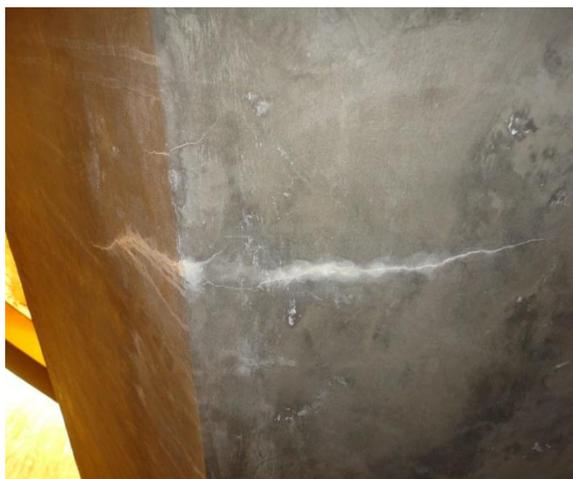


Figura 78 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 79 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 80 - Fissura / Eflorescência viga calha

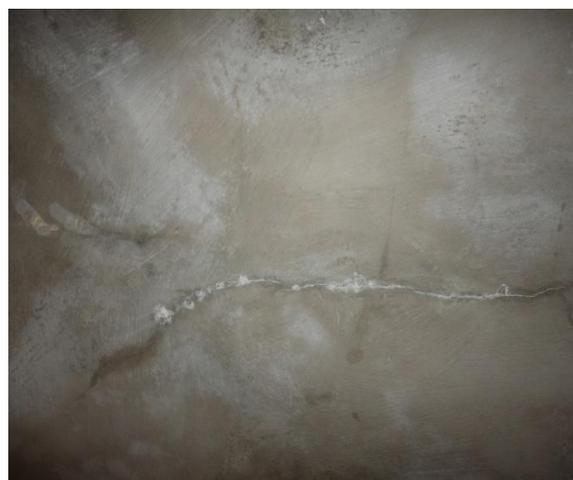


Figura 81 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 82 - Fissura / Eflorescência viga calha

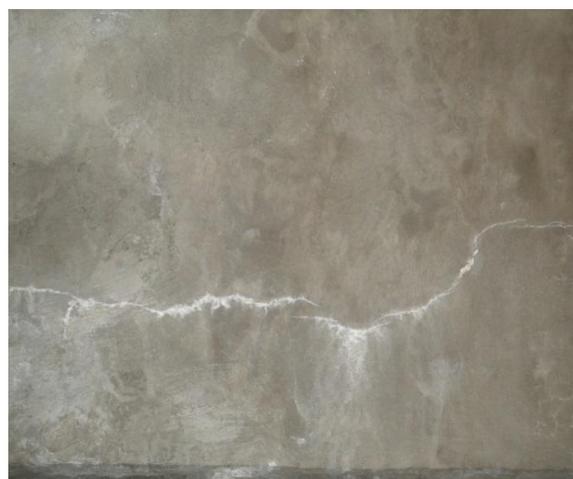


Figura 83 - Fissura / Eflorescência viga calha



Figura 84 - Fissura / Eflorescência viga calha

Figura 85 - Fissura / Eflorescência viga calha

Os resultados apresentados, por meio das figuras, indicam a fissuração, infiltração, lixiviação e/ou eflorescência.

A seguir apresenta-se, um dos possíveis procedimentos a serem adotados durante a inspeção e avaliação das estruturas de concreto armado. Esse procedimento foi proposto por *Lichtenstein* (1985).

O Quadro 5 apresenta a descrição da vistoria, diagnóstico e definição de conduta das manifestações de fissura, infiltração, lixiviação e eflorescência:

MANIFESTAÇÃO DE FISSURA POR RETRAÇÃO TÉRMICA; INFILTRAÇÃO; LIXIFIAÇÃO E EFLORESCÊNCIA	
Vistoria	Nas vigas calha do bloco administrativo de uma forma em geral, percebem-se fissuras, infiltração, lixiviação e a formação de eflorescência, como mostram respectivamente as Figuras 72 , 73 , 74 , 75 , 76 , 77 , 78 , 79 , 80 , 81 , 82, 83 , 84 , 85. As vigas calhas apresentam dimensões longitudinais da ordem de 15m.
Diagnóstico	Observamos no elemento estrutural viga calha fissuras originadas por variação térmica diária ou sazonal (HELENE, 1992). A ocorrência de infiltração ou percolação da água no concreto através das fissuras vem a ocasionar a lixiviação do hidróxido de cálcio, que reage com o dióxido de carbono induzindo a formação de eflorescência quando a água da superfície evapora (NEVILLE; BROOKS, 2013).
Sugestão de procedimento de reabilitação	Devem ser realizados os procedimentos de reabilitação da estrutura conforme etapas descritas a seguir: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Devemos garantir que o elemento estrutural viga calha volte a funcionar monoliticamente através do fechamento da fissura passiva com injeção de resina epóxi (MOREIRA; RIPPER, 1998, p.121). ➤ As fissuras devem de origem térmica nas vigas de coberturas aparentes devem ser recuperadas com tratamento superficial de pintura flexível em conjunto com tela de náilon ou de polipropileno (THOMAZ, 1989). ➤ As eflorescências devem ser removidas por processos de lavagem, inicialmente deve-se saturar o concreto com água e proceder à lavagem com solução clorídrica a 10% e finalizar com água. (UEMOTO, 1988).

Quadro 5 - Manifestação de fissura por retração térmica; infiltração; lixifiação e eflorescência

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Identificaram-se nos elementos de concreto aparente diversas patologias, dentre as quais destacamos conforme Tabela 6.

Tabela 6- Caracterização da incidência das manifestações patológicas

Manifestação Patológica	N° de incidências	% de incidência
Armadura exposta e corrosão.	45	62 %
Eflorescências causadas por lixiviação	14	19 %
Presença de fungos.	3	4%
Ausência de Critérios de Projeto	7	10%
Vazios ou Bicheiras.	4	5 %
Total de manifestações	73	100%

Uma das constatações foi o elevado grau de manifestações patológicas decorrentes do cobrimento de armadura insuficiente, em conjunto com processos ineficientes de adensamento do concreto.

A exposição da armadura e/ou cobrimento em desacordo com a norma vigente na época foi à patologia que mais se destacou, sendo que ambos os fatores são decorrentes da não utilização de espaçadores plásticos. Destaco que a NBR 14931 que trata da execução das estruturas de concreto armado entrou em vigor apenas em 2003. Patologia presente nos elementos viga, pilar e brise.

A corrosão da armadura desenvolveu-se de uma forma em geral na estrutura, devido à exposição do aço a agentes agressivos. Devemos considerar que o cobrimento prescrito na época de projeto não protege a armadura de agentes agressivos e que processos inadequados de cura também favorecem a penetração de agentes deletérios. Patologia presente nos elementos viga, pilar e brise, sendo que na parte inferior das vigas expostas, não se observa mecanismo que impossibilite que o agente água penetre.

Outra manifestação patológica presente foi à fissuração por movimentação térmica, decorrentes da contração térmica do concreto. Essas surgiram devido à exposição da estrutura viga calha a gradientes de temperaturas diários ou sazonais.

Constatou-se também a manifestação patológica eflorescências, decorrentes da lixiviação dos produtos da hidratação. Essas surgiram, possivelmente, devido ao término da vida útil dos produtos da impermeabilização. Pode-se ainda levantar a hipótese de inclinação insuficiente das vigas calhas.

Também se destacou com menor índice a manifestação de fungos, decorrentes da exposição da superfície do concreto a presença de umidade, temperatura e luminosidade. Essas surgiram, possivelmente, devido à falta de pintura impermeabilizante na superfície de fachada da brise e devido à inexistência de rufo e/ou inclinação na parte superior da brise que possibilite a drenagem da água. Devemos considerar que a porosidade do concreto também contribui para o desenvolvimento de fungos.

Constatou-se também a ocorrência de vazios e/ou bicheiras originadas provavelmente por ineficiência no processo de transporte ou lançamento do concreto. No caso das brises pode-se levantar a hipótese que utilizou-se agregado graúdo com dimensão incompatível com a largura do brise, gerando dificuldade de lançamento. Para os brises e para as vigas também podemos considerar que não foi elaborado um plano de concretagem.

O processo de reabilitação das armaduras em processo de corrosão caracteriza-se por ser um procedimento oneroso operacionalmente, pois temos que realizar um serviço pontual nas áreas afetadas do elemento estrutural, buscando não só apenas reparar o elemento, mas sim eliminar as causas que originou a manifestação patológica. No entanto tais procedimentos são essenciais para ampliarmos a vida útil da estrutura e garantirmos segurança estrutural.

O processo de reabilitação da superfície do concreto acometida por fungos caracterizou-se por ser um procedimento simples, onde a superfície foi higienizada com jato de água e posteriormente aplicada resina acrílica. O tratamento das superfícies de concreto aparente com a utilização de resinas acrílicas proporciona as estruturas maior proteção a ações do tempo, permitindo as estruturas maior durabilidade.

6 SUGESTÕES TERAPEUTICAS PARA AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ANALISADAS

6.1 Sugestão de terapia a ser adotada para reabilitação de elementos estruturais (pilar, viga, ou brise) em início de processo corrosivo.

Após ter-se identificado os inúmeros pontos de início de corrosão, surgiu o anseio de encontrar soluções capazes de mitigar o processo corrosivo. Assim sendo, fez-se pesquisa quanto aos possíveis procedimentos a serem adotados no processo de reabilitação. Nesse trabalho realizou-se reabilitação em um dos pilares do bloco administrativo, seguindo os procedimentos sugeridos por Helene (1992) e Helene (1995), (quadro 1 – página 74).

Nas figuras (86 a 94) observam-se os serviços realizados na reabilitação do elemento pilar correspondente a patologia descrita na figura 48 – página 71.



Figura 86 - Delimitação da área a ser reparada



Figura 87 – Abertura de área de corte



Figura 88 - Remoção de componentes da corrosão com escova de aço



Figura 89- Limpeza das armaduras com processo abrasivo, lixamento



Figura 90 - Observação da área de aço comprometida pela corrosão



Figura 91 - Aplicação de revestimento Inibidor de corrosão na armadura Emaco P22 - BASF



Figura 92 - Aplicação de adesivo estrutural a base de resina epóxi na armadura, Sikadur 32



Figura 93 - Realização de reparo estrutural com argamassa cimentícia com fibra sintética e inibidor de corrosão, Emaco S 88-CI - BASF



Figura 94 - Aspecto do pilar rehabilitado

6.2 Sugestão de terapia a ser adotada para reabilitação de elemento estrutural (brise) acometida por fungos

Após ter-se identificado a manifestação de fungos na superfície de concreto aparente, surgiu o anseio de encontrar soluções capazes de mitigar o processo de biodegradação. Assim sendo, fez-se pesquisa quanto aos possíveis procedimentos a serem adotados no processo de reabilitação. Nesse trabalho realizou-se reabilitação em uma das brises do bloco administrativo, seguindo os procedimentos sugeridos por Silva e Pinheiro (2005), ABNT NBR 13245 (1995) e VEDACIT Impermeabilizantes (2014), (quadro 2 – página 76). Nas Figuras 95, 96, 97 e 98 observam-se os serviços realizados na reabilitação do elemento brise:



Figura 95 - Limpeza inicial da brise com lavagem sob pressão



Figura 96 - Limpeza final da brise com lavagem sob pressão



Figura 97- Aplicação de Resina acrílica



Figura 98- Aspecto da Brise reabilitada

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados mostrou que a maioria das manifestações patológicas foram decorrentes das inadequações dos critérios de projeto estabelecidos em Norma na época em que os projetos foram desenvolvidos, isto é concreto com resistência característica de 15 MPa e cobrimento de armadura de 15mm. Isso porque o concreto com essa resistência característica (especificado no projeto) é incapaz de minimizar o impacto produzido pelos mecanismos de transporte nas estruturas de concreto. Além disso, foram negligentes as ações adotadas para garantir o cobrimento de armadura especificado em projeto, isso porque nas inspeções realizadas foram detectados vários locais onde o cobrimento da armadura não passava de 5 mm. Além disso, na época da construção ainda não eram vigentes as seguintes normas da ABNT, NBR 12655 que trata do controle e recebimento do concreto, a qual só entrou em vigor em 1996, NBR 14931 que trata da execução das estruturas de concreto armado, a qual só entrou em vigor em 2003 e após a construção foi negligenciado a gestão da manutenção que só passou a entrar em vigor a partir de 2012 com a publicação da NBR 5674.

Considerando-se a vigência das NBR 14931:2004, NBR 12655:2006, NBR 6118: 2007, NBR 15575:2013 e NBR 5674:2012 pode-se concluir que nesses últimos 10 anos houve significativa melhoria em relação ao desempenho das estruturas, dado que se espera maior durabilidade, menor manutenção e maior sustentabilidade das estruturas de concreto armado.

O serviço desenvolvido para reverter o processo corrosivo se apresentou de forma mais trabalhosa, pois diversas etapas deveriam ser cumpridas na execução da reabilitação, porém, por ser um procedimento pontual, seus custos não foram elevados.

O procedimento de reabilitação da superfície de concreto aparente acometida pela manifestação de fungos, caracterizou-se por ser um serviço simples onde à reabilitação deu-se apenas com a remoção dos fungos com processo de lavagem com água sob pressão e tratamento superficial de pintura com resina acrílica.

7.1 RECOMENDAÇÕES

Recomendam-se para estudos futuros que se estude mais blocos, para que se obtenha dados ainda mais abrangentes para então servir de subsídios aos gestores na elaboração de um programa de conservação e manutenção.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rodrigo Ribeiro de. **Fissuras de flexão em vigas de concreto armado**. Universidade Católica de Salvador. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/58240575/fissuras-de-flexao-em-vigas-de-concreto-armado>>. Acesso em: abr. 2014.

AMORIM, Anderson Anacleto de. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. F.74. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2010.

ANDRADE, Tibério; SILVA, Angelo Just da Costa e. Patologia das estruturas. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

ANTONIAZZI, J. P. **Patologia da construção: abordagem e diagnóstico**. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <[tp://www.ufsm.br/engcivil/TCC/PROJETO_TCC_JULIANA.pdf](http://www.ufsm.br/engcivil/TCC/PROJETO_TCC_JULIANA.pdf)>. Acesso em 13 out. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 (2007)**. Projetos de estrutura de concreto – Procedimento (atualizada).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575 (2010)**. Impermeabilização – Seleção e projeto

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13245 (1995)**. Execução de pinturas em edificações não industriais – Procedimento.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931 (2001)**. Execução de estruturas de concreto – Procedimento.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 (2013)**. Edificações Habitacionais – Desempenho.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 (1996)**. Concreto – Preparo, controle e recebimento.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674 (2012)**. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.

BATLOUNI NETO, Jorge. Diretrizes do Projeto de estrutura para garantia do desempenho e custo. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino pesquisa e realizações**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2005.

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

CICHINELLI, Gisele. **Hidrofugante para concreto**. Construção passo a passo, v.3. São Paulo: Pini, 2011.

FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral Pereira. Vida útil e desempenho das edificações na ABNT: NBR 15575/13. **Revista CONCRETO – IBRACON**, Ano XLI, nº 70, 2013. Disponível em: <<http://ie.org.br/site/ieadm/arquivos/arqnot7715.pdf>>. Acesso em: abr. 2014.

FERNÁNDES CÁNOVAS, M. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de M. Celeste Marcondes, Carlos Wagner Fernandes dos Santos, Beatriz Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.

FIGUEIREDO, Enio Pazini. Efeitos da Carbonatação e de cloreto no concreto. . In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

GUIMARÃES, André Tavares da Cunha. **Propriedades do concreto fresco**. In. ISAIA, Geraldo (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2005.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29, mai/jun, 1995.

GRIGOLI, A. S et al. **Porosidade dos concretos**. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica Departamento de Estrutura e Fundações, ago. 2001.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo, Pini, 1986.

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

HELENE, Paulo; PEREIRA, Fernanda. **Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto**. São Paulo: SIKA, 2007.

ISAIA, Geraldo Cechella. A água no concreto. In. ISAIA, Geraldo (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à**

recuperação de edificações: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1985.

LIMA, Maryangela Geimba de. Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. v.1. São Paulo: Ibracon, 2011.

MACHADO, A. de P. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In. ISAIA, Geraldo (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Estrutura propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MONTEIRO, Eliana Barreto. Reabilitação de estruturas de concreto. In. ISAIA, Geraldo (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

MONTEIRO, Eliana Barreto. **Manifestações patológicas em estrutura de concreto**. Disponível em: <http://www.pec.poli.br/conteudo/aulas/drec_manifesta%e7%f5es%20patol%3gicas%20-%20introdu%e7%e3o.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

MOREIRA, Vicente C; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Atlas, 1998.

NEPOMUCENO, Antonio Alberto. Mecanismo de transporte de fluidos no concreto. In. ISAIA, Geraldo (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

NEVILLE, A. M. BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

PIANCASTELLI, Elvino Mosci. **Patologia e terapia das estruturas: Sintomas e causas das enfermidades**. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.demc.ufmg.br/elvio/2sintoma.pdf>>. Acesso em: abr. 2014.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado**. 114 fls. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/pdf>>. Acesso em: mai. 2014.

SATO, Neide Matiko Nakata; AGOPYAN, Vahan. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. Disponível em: http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00216.pdf.

SILVA, Moema Ribas; PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. Biodeterioração do concreto. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005.

SILVA, Paulo Fernando Araújo. **Durabilidade das estruturas de concreto Aparente em Atmosfera Urbana**. São Paulo: Editora Pini, 1995.

SILVA, Turibio J. Da. Mecanismos de transporte de massa de concreto. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2011

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

TATEOKA, Thays. **Reparos de estruturas de concreto. Construção passo a passo**, v.2. São Paulo: Pini, 2011.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo. Pini, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1989.

THOMAZ, Ercio. Execução, controle e desempenho das estruturas de concreto. In. ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**, v. 1. São Paulo: IBRACON, 2005.

UEMOTO, K. L. **Patologia: Danos causados por eflorescência**. Tecnologia de Edificações, São Paulo. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT. 1988.

VEDACIT. **Manual técnico: Impermeabilização de estruturas**, 2014.

VERÇOSA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Disponível em: <http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos_Patologia_Estruturas_Pericias_Engenharia.pdf>. Acesso em: out. 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.