

RAFAELA GARCIA CAMARGO

Estudo de patologia em concreto armado e proposta de soluções:
análise de caixa de areia no sistema de tratamento de efluentes em uma cooperativa de
laticínios.

Guaratinguetá

2017

RAFAELA GARCIA CAMARGO

Estudo de patologia em concreto armado e proposta de soluções:

análise de caixa de areia no sistema de tratamento de efluentes em uma cooperativa de laticínios.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Denyse Meirelles Nociti

Co-Orientador: Prof. Dr. Miguel Ángel Ramírez Gil

Guaratinguetá

2017

Camargo, Rafaela Garcia

C172e Estudo de patologia em concreto armado e proposta de soluções:
análise de caixa de areia no sistema de tratamento de efluentes em uma
cooperativa de laticínios / Rafaela Garcia Camargo – Guaratinguetá, 2017.
71 f. : il.
Bibliografia : f. 68-71

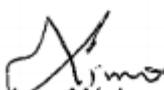
Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.

Orientadora: Profª. Drª. Denyse Meirelles Nociti

Coorientador: Prof. Dr. Miguel Angel Ramírez Gil

1. Patologia de construção. 2. Concreto armado. 3. Construção civil.
I. Título

CDU 624.012.45



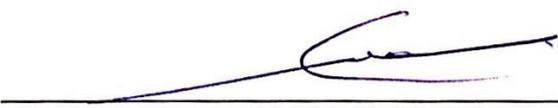
Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

RAFAELA GARCIA CAMARGO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA DA SILVA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dr.ª DENYSE MEIRELLES NOCITI
Orientadora/UNESP-FEG



Prof. Dr. MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ GIL
Co-Orientador/UNESP-FEG



Prof.ª Dr.ª MÁRCIA REGINA DE FREITAS
UNESP-FEG

Novembro de 2017

AGRADECIMENTOS

À minha família, o meu mais profundo e sincero agradecimento por absolutamente tudo o que fizeram e lutaram para que eu pudesse chegar, com sucesso, ao final do meu curso de graduação, e realizar o presente trabalho.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Denyse Meirelles Nociti, que com toda sua doçura e conhecimento me auxiliou, orientou, e tornou possível a realização desse trabalho.

Agradeço à Cooperativa de Laticínios, empresa que permitiu o estudo da manifestação patológica na caixa de areia do sistema de tratamento de efluentes, o que foi determinante para a definição do tema do presente trabalho, com funcionários sempre muito prestativos.

A todos os docentes que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação pessoal e profissional ao longo desses anos, a minha profunda gratidão e respeito.

A todos os meus verdadeiros amigos, pela amizade, apoio, companheirismo, paciência, momentos difíceis superados, e alegrias compartilhadas. Os considero família.

Meus agradecimentos às pessoas que de alguma forma me ajudaram e me acompanharam nesse processo.

CAMARGO, R, G. **Estudo de patologia em concreto armado e proposta de soluções: análise de caixa de areia no sistema de tratamento de efluentes em uma Cooperativa de Laticínios**. 2017. 71 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

RESUMO

Este trabalho objetiva a abordagem de um problema frequentemente enfrentado pelo engenheiro civil: as manifestações patológicas na construção civil. Foi realizado um estudo da origem, causas, e consequências da manifestação patológica em concreto armado. O concreto armado é o material construtivo mais utilizado no mundo. Devido tamanha importância e relevância, foi realizado um estudo mais específico a respeito das estruturas de concreto armado, e a respeito das patologias que acometem esse tipo de estrutura. É apresentado também um estudo de caso de uma manifestação patológica em uma estrutura de concreto armado de uma caixa de areia (ou desarenador), desencadeada por um ataque químico à estrutura. Trata-se de uma estrutura componente do sistema de tratamento de efluentes de uma Cooperativa de Laticínios. No estudo de caso foi adotada uma metodologia específica de diagnóstico e recuperação de manifestações patológicas, com propostas de intervenção e o custo gerado pela intervenção sugerida. O efluente líquido gerado pela Cooperativa de Laticínios percorre constantemente a estrutura de concreto armado, e apresenta uma constituição química bastante específica e agressiva, sendo o principal responsável pela manifestação patológica desencadeada. O apicoamento da estrutura, a aplicação de jatos de água e de jatos de areia, o uso de argamassa epoxídica e a aplicação de manta de fibra de vidro são alternativas de solução detalhadas no trabalho. A realização do estudo de caso é uma tentativa de ampliar os registros existentes e, desta forma, ampliar o conhecimento e o desenvolvimento a respeito da patologia das construções.

PALAVRAS-CHAVE: Patologia. Concreto armado. Manifestação patológica. Caixa de areia. Ataque químico.

CAMARGO, R, G. Study of pathology in reinforced concrete and proposed solutions: sandbox analysis in the effluent treatment system in a Dairy Cooperative.2017. 71 p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

ABSTRACT

This work aims to approach a problem often faced by the civil engineer: the pathological manifestations in civil construction. A study was made of the origin, causes, and consequences of the problem. Reinforced concrete is the most widely used construction material in the world. Due to such importance and relevance, a more specific study was carried out on the structures of reinforced concrete, and on the pathologies that affect this type of structure. Also presented is a case study of a pathological manifestation in a reinforced concrete structure of a sandbox, triggered by a chemical attack on the structure. It is a component structure of the effluent treatment system of a Dairy Cooperative. In the case study, a specific methodology was adopted for the diagnosis and recovery of pathological manifestations, with intervention proposals, as well as the cost generated by the intervention suggested. The liquid effluent generated by the Dairy Cooperative constantly traverses the structure of reinforced concrete, and presents a very specific and aggressive chemical constitution, being the main responsible for the pathological manifestation triggered. The chipping of the structure, the application of water jets and sand jets, the use of epoxy mortar and the application of fiberglass blanket are detailed solution alternatives in the work. The realization of the case study is an attempt to broaden the existing records and, in this way, to increase the knowledge and the development regarding the pathology of the constructions.

KEYWORDS: Pathology. Reinforced concrete. Pathological manifestation. Sandbox. Chemical attack.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Comparação entre a estrutura de uma edificação, e a estrutura do corpo humano (esqueleto)	14
Figura 2	- Fissuras por recalque da fundação	20
Figura 3	- Principais tipos de fissuras e trincas encontradas em uma edificação	21
Figura 4	- Manifestações patológicas causadas pela infiltração	22
Figura 5	- Fissuras em parede devido à movimentação térmica da laje	23
Figura 6	- Corrosão do concreto devido ao ataque químico	24
Figura 7	- Inter-relacionamento entre os conceitos de durabilidade e desempenho	27
Figura 8	- Desgaste superficial por abrasão em pavimento de concreto	32
Figura 9	- Efeito da cavitação em uma bacia de dissipação	33
Figura 10	- Evolução do desgaste superficial por erosão: movimento relativo do líquido, e atrito de partículas suspensas neste contra a superfície de concreto	34
Figura 11	- Descamação da superfície da estrutura de concreto por cristalização de sais nos poros.	35
Figura 12	- Mecanismos de atuação dos ataques químicos	37
Figura 13	- Propagação da carbonatação com o tempo	38
Figura 14	- Pilar de concreto armado deteriorado pela carbonatação e pelo ataque de cloretos	39
Figura 15	- Desenvolvimento da reação álcalis-agregado no concreto	41
Figura 16	- Tipos de corrosão de uma barra de aço segundo sua morfologia	42
Figura 17	- Caixa de areia com canais paralelos	47
Figura 18	- Etapas da metodologia de análise de patologias da construção civil	50
Figura 19	- Fluxograma do sistema de lodo ativado convencional	51
Figura 20	- Projeto da caixa de areia com canais paralelos: planta baixa	52
Figura 21	- Projeto da caixa de areia: Corte A-A	52
Figura 22	- Projeto da caixa de areia: Corte B-B	52
Figura 23	- Caixa de areia com canais paralelos da Cooperativa de Laticínios	53
Figura 24	- Detalhe de estrutura da calha caixa de areia corroída	53
Figura 25	- Desgaste da superfície da estrutura da caixa de areia devido à erosão	58
Figura 26	- Ação do ataque de cloretos e do magnésio na caixa de areia	58
Figura 27	- Ataque de soluções ácidas na calha caixa de areia	59
Figura 28	- Aplicação de jatos de água em superfície de concreto	61
Figura 29	- Ilustração da aplicação de jatos de areia	62
Figura 30	- Estrutura de concreto armado após a aplicação da manta de fibra de vidro	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Evolução do comportamento do concreto em função da elevação da temperatura ambiente.	36
Quadro 2	- Lista de checagem inicial para acompanhar uma primeira vistoria do local	43
Quadro 3	- Operações e processos que geram efluentes líquidos na indústria de laticínios	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis	16
Gráfico 2	- Representação da Lei de Evolução dos custos de Sitter em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção é feita	19
Gráfico 3	- Fases do desempenho de uma estrutura durante a sua vida útil	28
Gráfico 4	- Vida útil das estruturas	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	12
1.2	ESTRUTURA DO TEXTO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES	14
2.1.1	Origem dos problemas patológicos	15
2.1.1.1	Fase de concepção (planejamento, projeto, e materiais)	16
2.1.1.2	Durante a execução (construção)	17
2.1.1.3	Fase de utilização da construção (manutenção)	17
2.1.2	Lei de evolução de custos	18
2.1.3	Tipos de patologias na construção civil	20
2.1.3.1	Recalques na fundação	20
2.1.3.2	Defeitos construtivos (fissuras e trincas)	21
2.1.3.3	Infiltrações	22
2.1.3.4	Movimentação térmica	22
2.1.3.5	Capacidade de carga da estrutura	23
2.1.3.6	Reações químicas	23
2.2	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	24
2.2.1	Durabilidade e Vida Útil	26
2.2.2	Patologias em estruturas de concreto armado	29
2.3	CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO	31
2.3.1	Causas mecânicas	31
2.3.2	Causas físicas	31
2.3.2.1	DESGASTE SUPERFICIAL POR ABRASÃO, CAVITAÇÃO E EROSÃO	32
2.3.2.2	Fissuração	34
2.3.2.3	Ação do fogo	36
2.3.3	Causas químicas	36
2.3.3.2	Ataque por sulfatos	38
2.3.3.3	Ataque por cloretos	38
2.3.3.4	Ataque por ácidos	39
2.3.3.5	Ataque por água pura	40

2.3.3.6	Reação álcali-agregado	41
2.3.4	Causas eletroquímicas	41
2.4	METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO E RECUPERAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	42
2.4.1	Levantamento de subsídios	43
2.4.2	Diagnóstico da situação	44
2.4.3	Definição de conduta	45
2.5	CAIXAS DE AREIA	46
3	MÉTODO	49
3.1	LEVANTAMENTO DE SUBSÍDIOS	50
3.1.1	Detalhamento da estrutura da caixa de areia da cooperativa de laticínios	51
3.1.2	Composição química do efluente de uma indústria de laticínios	54
4	DIAGNÓSTICO E DEFINIÇÃO DE CONDUTA	57
4.1	DIAGNÓSTICO	57
4.2	DEFINIÇÃO DE CONDUTA	59
4.2.1	Apicoamento	59
4.2.2	Jatos de água	60
4.2.3	Jatos de areia	61
4.2.4	Aplicação de argamassa epoxídica	62
4.2.5	Aplicação de manta de fibra de vidro	63
4.3	CUSTO TOTAL DAS INTERVENÇÕES PROPOSTAS	65
4.4	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	66
5	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

É necessidade do ser humano ter um abrigo para se instalar e, desde a sua existência, desenvolve e aprimora técnicas, métodos e materiais relacionados à construção civil. Apesar da madeira e a pedra natural terem sido os primeiros materiais utilizados na construção civil, as construções em concreto armado surgiram no século XIX, e atualmente é o material construtivo mais utilizado no mundo, em estruturas como: pontes, rodovias, edifícios, usinas hidrelétricas, usinas nucleares, torres, obras de saneamento, entre outros (BASTOS, 2006).

O concreto é um material constituído de água, cimento, agregado miúdo (areia), e agregado graúdo (brita ou pedra). Alguns aditivos (como sílica, fibras, e pozolanas) são opcionais, e utilizados de acordo com o desempenho desejado para o material. O concreto é formado pela mistura da argamassa (agregado miúdo misturado com a pasta, que é a mistura do cimento com a água) com o agregado graúdo. O material resultante apresenta características como plasticidade, se moldando facilmente em diversas formas construtivas, resistência (inclusive à água) e durabilidade (BASTOS, 2006).

Por apresentar baixa resistência à tração (dez vezes inferior quando comparada à sua resistência à compressão), ao concreto pode ser adicionado um material com elevada resistência à tração, como forma de compensar esse “defeito” do concreto simples, e o aço é material ideal para essa finalidade. O uso de barras de aço no concreto vai conferir ao material a resistência à tração necessária. As barras de aço devem ser perfeitamente aderidas ao concreto, garantindo o desempenho do conjunto, resistindo aos esforços solicitantes (BASTOS, 2006).

Porém, o uso do concreto armado na construção civil ainda apresenta suas limitações, estando suscetível a falhas (mesmo que involuntárias), acidentes, deteriorações, e imperícias que acabam por influenciar no aparecimento de defeitos construtivos, desde os mais comuns e menos graves, até problemas que possam comprometer o desempenho de uma estrutura, e leva-la à ruptura. Existe uma normatização e uma base literária que deve ser seguida por todo projeto, com o intuito de satisfazer as necessidades do usuário, e de evitar ao máximo a ocorrência de manifestações patológicas (SOUZA; RIPPER, 2009).

A área da engenharia civil voltada para a patologia das construções é ainda pouco desenvolvida, com um número limitado de registros de casos. A elaboração e a divulgação de

registros de casos de cada problema patológico são de fundamental importância, para que problemas futuros tenham uma base literária sólida a respeito do conhecimento técnico, científico, dados estatísticos, e eficiência nos tratamentos adotados em cada caso de solução de algum problema patológico (LICHTENSTEIN, 1986).

Desta forma, o presente trabalho irá abordar uma manifestação patológica específica em uma estrutura de concreto armado, com a formulação de um registro de caso, para contribuir com o crescimento e desenvolvimento do conhecimento desta área da engenharia civil.

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo levantar dados que tornem possível identificar as causas de manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado, e adotar uma metodologia de diagnóstico e recuperação de uma manifestação patológica nessa estrutura, em estudo de caso realizado em uma caixa de areia no sistema de tratamento de efluentes de uma Cooperativa de Laticínios.

O presente trabalho também tem como objetivos: identificar quais produtos constituem o efluente, e que passam pela caixa de areia causando danos ao concreto; bem como apresentar novas alternativas de revestimentos para a estrutura em estudo.

1.2 ESTRUTURA DO TEXTO

No primeiro capítulo tem-se a introdução, composta pela contextualização e introdução ao tema do trabalho, objetivo, e estrutura do texto.

No capítulo 2, será apresentada uma revisão bibliográfica, onde será feita a abordagem de temas como: patologias das construções, estruturas de concreto armado, metodologia de diagnóstico e recuperação de manifestações patológicas, e caixas de areia em uma estação de tratamento de efluentes.

No Capítulo 3 será adotada uma metodologia para a resolução da manifestação patológica do estudo de caso apresentado, com a execução da primeira parte desta metodologia: levantamento de subsídios. O Capítulo 4 é uma continuação da metodologia adotada, com a elaboração de um resultado possível de diagnóstico para o estudo de caso

apresentado, seguida das possíveis definições de conduta (resultados) para a resolução do problema.

Por fim, no Capítulo 5 serão realizadas algumas considerações finais, com a síntese das principais análises realizadas ao longo do desenvolvimento do trabalho, avaliando-se o atendimento dos objetivos propostos no item 1.1 do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES

O termo “Patologia”, de origem grega, é definido pelo dicionário Michaelis (2009), como sendo o estudo da origem, sintomas, e desenvolvimento de condições orgânicas anormais. Amplamente utilizado por diversas especialidades médicas na investigação de alterações (funcionais e estruturais) no corpo humano ocasionado por doenças, o termo “Patologia” foi adotado pela engenharia civil que, estabelece uma série de comparações entre uma edificação, e o corpo humano: a estrutura de um edifício com esqueleto humano, conforme representado na Figura 1; a alvenaria com a musculatura; instalações prediais com sistema circulatório; e o sistema de ventilação com o aparelho respiratório. Desta forma, a patologia das construções vai identificar problemas e anomalias das edificações (“doenças”), além de suas possíveis causas, tais como: erros de execução, no uso de matérias de qualidade inferior, ou erros de projeto. Diagnosticado a causa do problema, o devido tratamento poderá ser adotado (SILVA, 2011).

Figura 1: Comparação entre a estrutura de uma edificação, e a estrutura do corpo humano (esqueleto).



Fonte: Silva (2011).

Toda edificação pode estar sujeita a apresentar um desempenho abaixo do mínimo pré-estabelecido. Falhas no sistema podem gerar problemas que, por sua vez, serão evidenciados na forma de manifestação patológica. Nesse ponto, o produto final (edificação) não satisfaz as exigências do usuário, e o nível de qualidade desejada não é atingido. A partir da situação detectada, é necessário entender a origem, o mecanismo de ocorrência, a causa, e consequências do problema. O estudo desses tópicos citados é realizado pela ciência patologia das construções (SABBATINI et al., 2003).

A origem vai identificar o ‘por que’ da manifestação patológica, a razão para o seu surgimento, e sua relação com os processos de produção. O mecanismo de ocorrência mostra se a manifestação patológica é originada de um fenômeno químico, físico, ou biológico. A causa vai descrever o fato ocorrido, a justificativa mais evidente para o problema (SABBATINI et al., 2003).

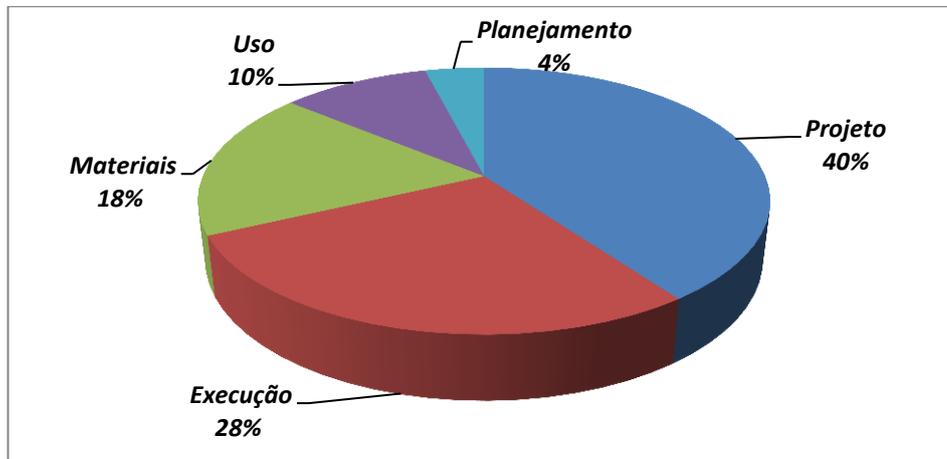
2.1.1 Origem dos problemas patológicos

Conhecer a origem de uma manifestação patológica permite atribuição de culpa, no âmbito judicial, aos responsáveis. Por exemplo, quando o erro se encontra na fase de execução, muito provavelmente houve falha na mão de obra, ou na supervisão do serviço pela construtora responsável; erros na fase de projeto indicam falhas do projetista; quando a qualidade do material é inferior ao especificado, o fabricante deve assumir a responsabilidade (HELENE, 1992).

O processo construtivo pode ser dividido em cinco fases: planejamento, projeto, fabricação de materiais, execução, e uso. Em qualquer uma das fases citadas podem ocorrer patologias, e das mais variadas formas possíveis (HELENE, 1992).

A análise do Gráfico 1 permite identificar que as manifestações patológicas originárias na fase de projeto (40%) e execução (28%) correspondem a grande maioria.

Gráfico 1: Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.



Fonte: Grunau¹ (1988) apud Helene (1992).

2.1.1.1 Fase de concepção (planejamento, projeto, e materiais)

Nessa fase são realizadas todas as definições, toda a base para as fases subsequentes.. Logo, todo processo mal realizado durante essa fase pode comprometer a qualidade de todo o restante.

Durante a fase de concepção são definidos todas as funções da construção, desempenho, materiais, métodos, projetos, e gerenciamento.

A compatibilização de projetos de estrutura, arquitetura, e instalações terão grande influência na qualidade final do serviço, sendo de extrema importância que seus detalhes não sejam prorrogados ou ignorados, para que não seja necessária a adoção de medidas paliativas ao longo da construção (OLIVEIRA, 2013).

É fundamental também que todos os projetos possuam certo nível de detalhamento, de forma que seja possível a fácil interpretação dos mesmos, não deixando margens para leituras e interpretações equivocadas. A especificação dos materiais que serão utilizados permite

¹ Grunau, E, B. **Lesiones en el hormigón, protección y reparación de estructuras de hormigón**. Barcelona: Editora Ceac, 1988. 108 p. apud HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 1992. 119 p. Disponível em : <https://www.passeidireto.com/arquivo/16417604/manual_pratico_para_reparo_e_reforco_de_estruturas_de_concreto_paulo_helene>. Acesso em 13 jul. 2017.

avaliar se o desempenho, durabilidade, e custos irão satisfazer o que foi previamente planejado pelo projetista (OLIVEIRA, 2013).

Erros cometidos durante a fase de concepção costumam ser mais graves do que os cometidos em outras fases. Desta forma, é mais seguro e preferível que se invista mais tempo e recursos nessa fase (que consome de 3% a 10% de todo o orçamento previsto), como forma de evitar a ocorrência de decisões e ações equivocadas (HELENE, 1992).

2.1.1.2 Durante a execução (construção)

Os problemas ocasionados nessa fase são gerados no processo de produção, e na grande maioria relacionados à mão de obra. A baixa qualificação profissional, condições de trabalho insalubres, desmotivação, e ausência de um gerenciamento eficiente, vão gerar falhas que podem refletir até no pós-obra (OLIVEIRA, 2013).

Além da baixa qualificação profissional, o não cumprimento das especificações do projeto devido a erros de interpretação, a utilização de materiais de baixa qualidade, e falhas na utilização dos mesmos, podem gerar problemas patológicos nessa fase como, por exemplo: problemas de caimento, formação de flechas excessivas, desnivelamento de pisos e paredes, infiltrações, qualidade do concreto, montagem de fôrmas, entre outros (PINA, 2013).

Controlar e normatizar as atividades durante a fase de execução é importante para que problemas não sejam desencadeados no futuro. É responsabilidade de profissionais tecnicamente qualificados gerenciar, controlar, e fiscalizar os materiais e serviços em todas as etapas dessa fase, para que os mesmos sigam o mais próximo possível do planejado (considerando uma fase de concepção bem estruturada).

2.1.1.3 Fase de utilização da construção (manutenção)

É recorrente que os problemas patológicos desencadeados nessa fase sejam de responsabilidade do usuário, devido à má utilização ou falta de manutenção da construção. Algumas ações são bastante recorrentes: uso de produtos químicos, ou reagentes bastante agressivos; alterações estruturais em reformas; sobrecargas não previstas durante a fase de concepção; impactos; não realização de manutenções periódicas (PINA, 2013).

Em contrapartida, também é bastante comum que as empresas responsáveis pela concepção e construção não disponibilizem ao usuário manuais que os orientem com relação ao uso e manutenção das construções. A concepção de um manual do proprietário/usuário bem estruturado, que obedecam a modelos internacionais de normatização, é uma ferramenta que vai auxiliar nos cuidados durante a utilização e na realização de manutenções, e que vai afetar diretamente na durabilidade e vida útil da construção (CIBIC, 2013).

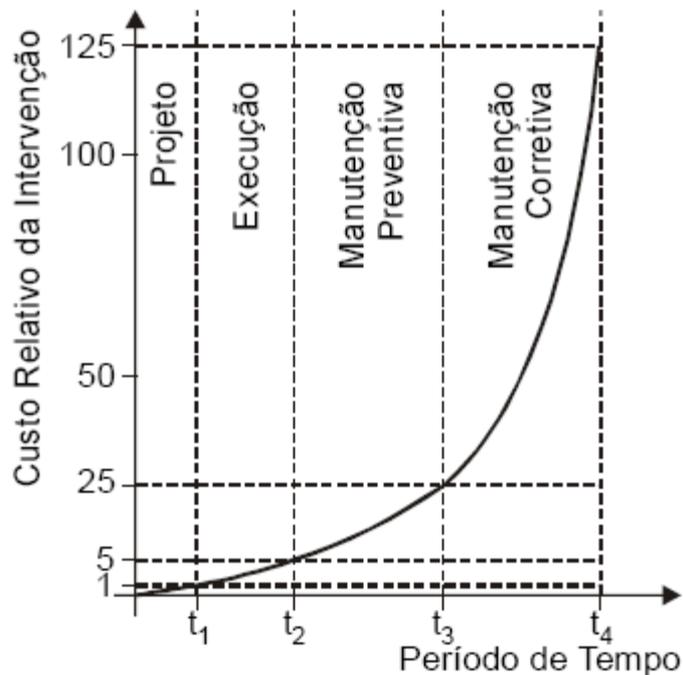
O manual deve ser estruturado de tal forma que seja de fácil entendimento (pelos projetistas, e pelo usuário final), e que abranja as exigências relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) (CIBIC, 2013).

2.1.2 Lei de evolução de custos

Conhecidos todos os tópicos abordados acima (origem e causas do problema), é primordial a adoção de um mecanismo de reparo para resolução da situação, já que as manifestações patológicas, em sua maioria, possuem comportamento evolutivo com o passar do tempo, e podem gerar outros problemas relacionados ao inicial, tomando grandes proporções e maior dificuldade na correção. O ideal é que todas as estruturas possuíssem um programa de manutenção preventiva e periódica, prevenindo-as de uma série de complicações e, por consequência, de gastos desnecessários (HELENE, 1992).

A regra de Sitter, ou ‘lei dos 5’, mostra que quanto mais tardia for a intervenção para a resolução dos problemas patológicos, mais oneroso serão os gastos, com comportamento similar a uma progressão geométrica, conforme a Gráfico 2.

Gráfico 2: Representação da Lei de Evolução dos custos de Sitter em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção é feita.



Fonte: Adaptado de Sitter² (1984) apud Helene (1992).

Analisando o Gráfico 2, é possível verificar que, por exemplo, corrigir algum problema na fase de manutenção corretiva pode ter um custo 125 vezes superior ao que seria gasto se o mesmo problema tivesse sido corrigido na fase de projeto, para um mesmo nível de durabilidade e proteção (HELENE, 1992).

Manter o controle e a qualidade de produção em todas as etapas do processo construtivo é de extrema importância para a redução e até mesmo eliminação das manifestações patológicas, de custos e serviços não previstos, da necessidade de manutenções, além de garantir a satisfação do usuário final (cliente), e extensão da vida útil da construção (OLIVEIRA, 2013).

² SITTER, WR. **Costs for service life optimization**. The “Law of fives”. In: CEBRILEM. Durability of concrete structures. Proceedings of the international workshop held in Copenhagen. Copenhagen. 1984 apud HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 1992. 119 p. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/16417604/manual_pratico_para_reparo_e_reforco_de_estruturas_de_concreto_paulo_helene>. Acesso em 13 jul. 2017.

2.1.3 Tipos de patologias na construção civil

Como visto anteriormente, os problemas patológicos são causados por erros ou falhas cometidas em alguma fase de um projeto: concepção, execução, ou utilização.

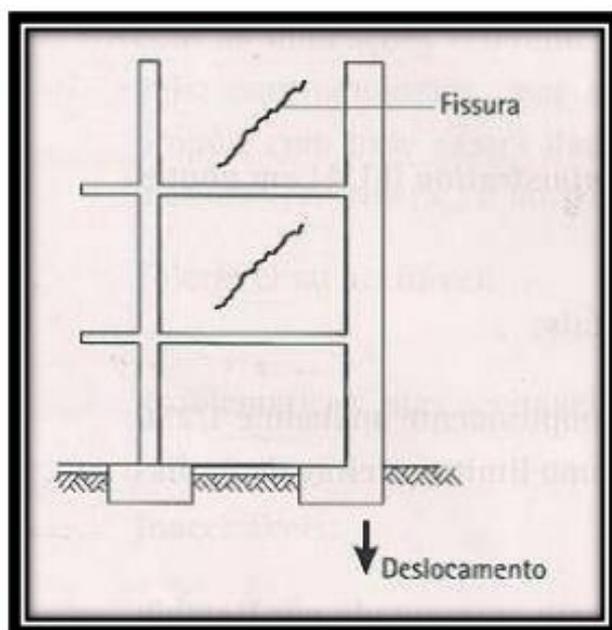
Na ocorrência de alguma falha, algumas das patologias que serão citadas a seguir podem ocorrer.

2.1.3.1 Recalques na fundação

É comum que determinados solos, ao serem carregados, alterem seu volume, sofram deformações e causem deslocamentos das fundações (recalques). Porém, a existência de um projeto que não faça as previsões adequadas do comportamento do solo, podem desencadear manifestações patológicas (CONSOLI; MILITITSKY; SHNAID, 2006).

Execução falha dos serviços e incorreta previsão de esforços que vão atuar na estrutura e no solo podem desencadear: danos estruturais, como as trincas e fissuras (Figura 2); danos funcionais, afetando o desempenho da estrutura; e danos estruturais, que afetam a durabilidade e estabilidade da construção (MACEDO, 2017).

Figura 2: Fissuras por recalque da fundação.



Fonte: Consoli; Milititsky; Shnaid (2006).

2.1.3.2 Defeitos construtivos (fissuras e trincas)

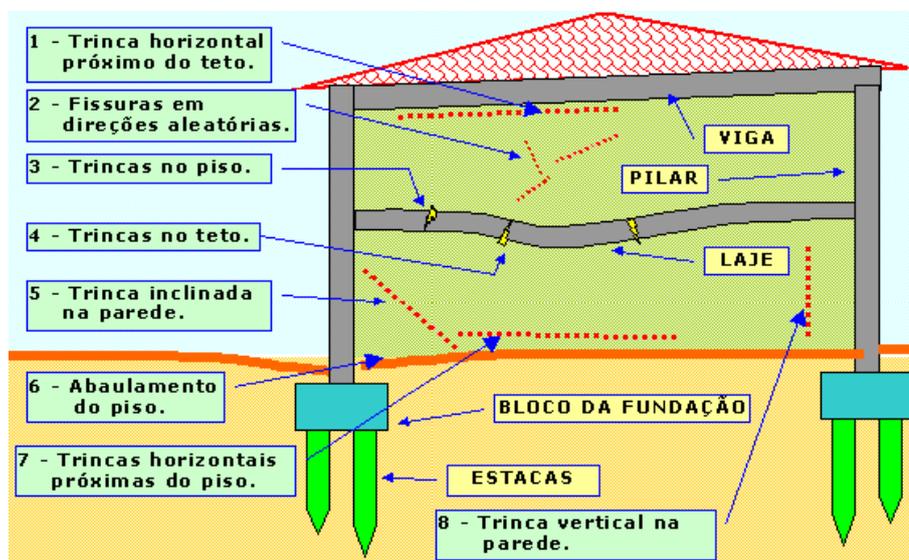
As fissuras e trincas são muito comuns na maioria das construções, principalmente em alvenarias de vedações, e geralmente surgem devido a falhas no serviço de execução, ou devido ao uso de materiais fora das especificações previstas no projeto (SOUSA, 2014).

As trincas diferenciam-se das fissuras pela abertura da ruptura sofrida pelo material. As trincas possuem aberturas, devido ao rompimento do material, acima de 0,5mm; e aberturas inferiores a 0,5mm recebem o nome de fissuras, e representam um risco muito baixo de comprometer a segurança da estrutura (TAGUCHI, 2010).

Além de prejudicar a arquitetura de uma estrutura, as fissuras e trincas favorecem a infiltração da água, acarretando no aparecimento de manchas de umidade que, por sua vez, podem causar descolamentos dos revestimentos (SOUSA, 2014).

As localizações mais frequentes de fissuras e trincas nas edificações são ilustradas na Figura 3.

Figura 3: Principais tipos de fissuras e trincas encontradas em uma edificação.



Fonte: Ebatanaw (2001).

2.1.3.3 Infiltrações

Muito comum nas construções, a infiltração de água, além de prejudicar a arquitetura, causa manchas, corrosão, fungos, bolor, surgimento de algas, eflorescências, fissuras, e mudança de coloração dos revestimentos (TAGUCHI, 2010).

A Figura 4 revela os danos à arquitetura da edificação, descolamento da pintura, bolor e eflorescências causados pela infiltração.

Figura 4: Manifestações patológicas causadas pela infiltração.



Fonte: Fibersals (2017).

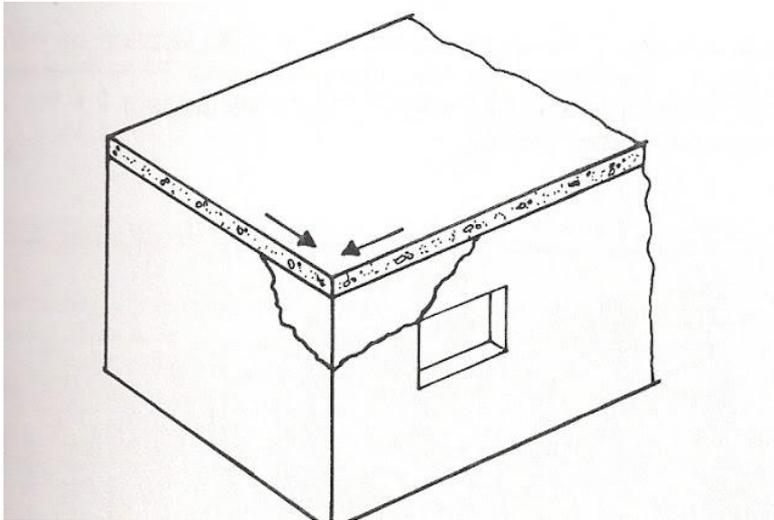
A absorção da água responsável pela infiltração pode ter as seguintes origens: absorção capilar de água, absorção por condensação, por condensação capilar, água de infiltração, e absorção higroscópica da água (TAGUCHI, 2010).

2.1.3.4 Movimentação térmica

A variação diária e constante de temperatura do ambiente provocam movimentos de contração e dilatação dos materiais que formam uma estrutura. O local onde existe o engaste entre os materiais vai gerar uma dificuldade para que esses movimentos ocorram, gerando tensões que provocam fissuras e trincas, como pode ser visualizado na Figura 5. As

propriedades físicas do material e a amplitude térmica vão definir a intensidade das movimentações térmicas (SOUSA, 2014).

Figura 5: Fissuras em parede devido à movimentação térmica da laje.



Fonte: Pereira (2015).

2.1.3.5 Capacidade de carga da estrutura

Cada estrutura é projetada para suportar até um limite determinado de carga. Caso esse limite seja excedido por reformas que tenham sido realizadas ou por mudanças no uso da estrutura, a mudança de carregamento pode gerar trincas e fissuras que podem comprometer a estrutura (SOUSA, 2014).

2.1.3.6 Reações químicas

O ataque químico às estruturas é ocasionado devido à má execução dos serviços, utilização incorreta dos materiais, falhas no projeto, ou devido a não realização de manutenções periódicas previstas. Os ataques químicos mais recorrentes são: carbonatação, maresia ou água do mar, chuva ácida, corrosão, ataque de ácidos, águas brandas, e resíduos industriais (MEDEIROS, 2010).

Geralmente, as portas de entradas para que o ataque químico ocorra são: estruturas com elevada porosidade, trincas e fissuras, e cobertura insuficiente da armadura. E a manifestação do problema se dá pelo surgimento de eflorescências, corrosão, carbonatação, ataque por sulfatos, desagregação, lixiviação, manchas, entre outros (MEDEIROS, 2010).

A Figura 6 mostra uma caixa de areia que sofreu ataque químico, culminando na corrosão do concreto da estrutura.

Figura 6: Corrosão do concreto devido ao ataque químico.



Fonte: Produção do próprio autor (2017).

2.2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Historicamente, no Brasil, o concreto armado passou a ser utilizado na construção civil no começo do século XX. Em 1908 foram construídas as primeiras estruturas de concreto armado: a primeira ponte de concreto armado no Rio de Janeiro, por Hennebique; a construção do edifício A Noite, no Rio de Janeiro; e a construção de uma ponte em Santa Catarina, por Emílio Baumgart (CLÍMACO, 2008).

Uma estrutura de concreto armado é definida como sendo uma associação entre o concreto e uma armadura passiva, formando um sólido único (do ponto de vista mecânico), e a aderência entre eles é o que vai definir o comportamento estrutural, e que vai conferir resistência aos esforços a que estão submetidas. A armadura passiva são barras de aço que devem resistir às tensões das ações que atuam sobre a peça, sem que nenhum esforço seja adicionado (CLÍMACO, 2008).

Segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2007), toda estrutura de concreto (durante sua construção e vida útil) deve atender a três requisitos mínimos de qualidade: capacidade resistente, desempenho em serviço, e durabilidade. A capacidade resistente vai garantir a segurança da estrutura em relação à ruptura; o desempenho em serviço deve garantir que a estrutura permaneça em condições de utilização, sem apresentar danos que possam comprometê-la (em parte ou totalmente); e a durabilidade define a capacidade da estrutura em resistir às influências externas que estão previstas desde o projeto.

O concreto armado, quando utilizado estruturalmente, possui vantagens e desvantagens em relação a outros materiais. Pinheiro (2007) lista as seguintes vantagens e desvantagens:

- Vantagens

- Baixo gasto com manutenção quando a estrutura é bem projetada e executada;
- Baixo custo de mão de obra, já que não exige técnicas de execução muito complexas;
- Elevada resistência às solicitações;
- Economicamente viável, com baixo custo dos materiais;
- Material durável e resistente ao fogo (quando comparado ao aço e à madeira, por exemplo);
- Elevada resistência a choques, vibrações, desgastes mecânicos, efeitos térmicos e atmosféricos.

- Desvantagens

- O peso próprio elevado limita o uso do concreto armado em determinadas situações;
- Apresenta baixo isolamento térmico e acústico;
- É necessário o uso de fôrmas para moldagem da estrutura, o que eleva o custo total;
- Quando a armadura não é bem protegida, a estrutura fica sujeita a corrosão;
- Fissuração.

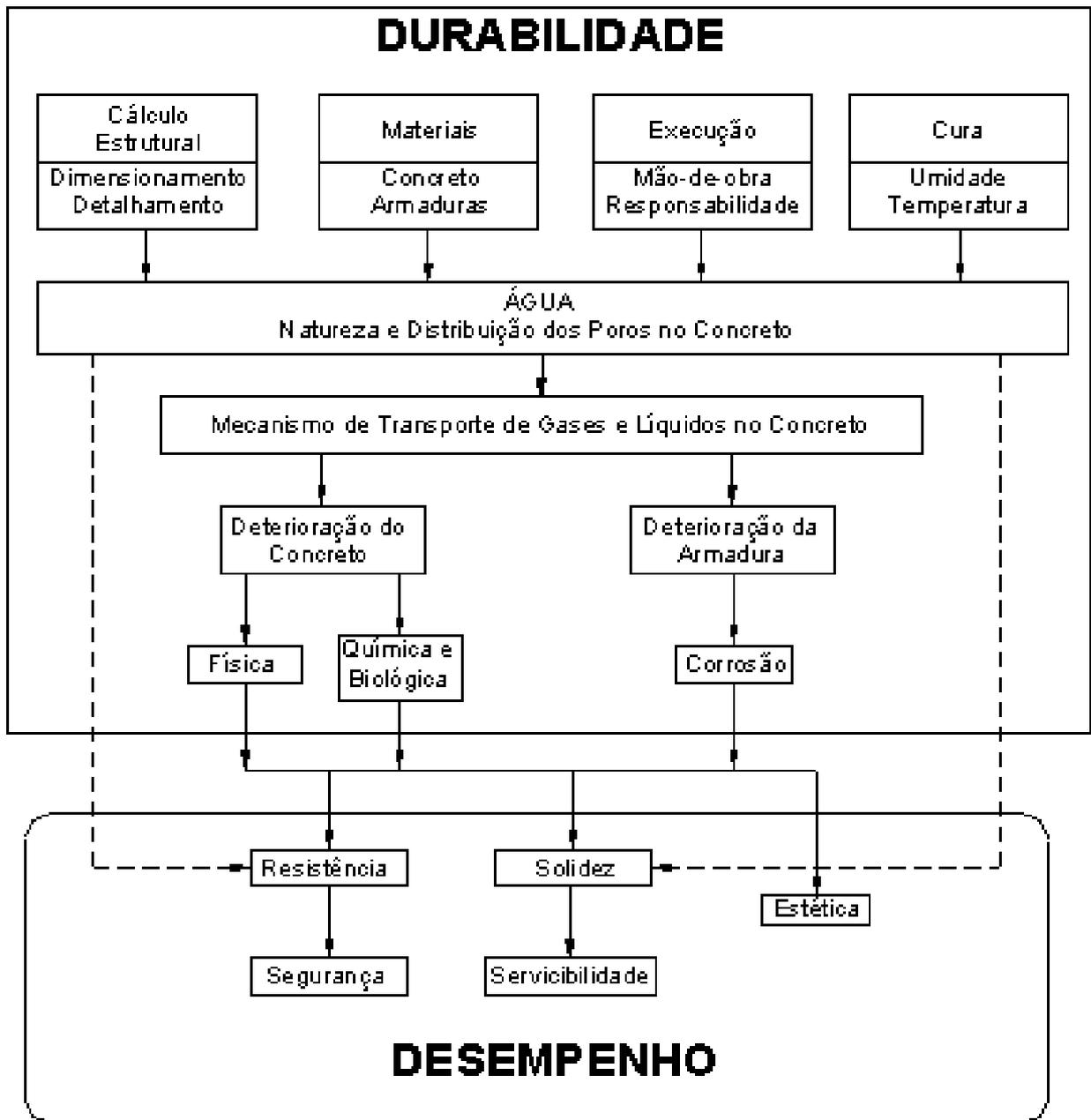
2.2.1 Durabilidade e Vida Útil

É muito comum o uso equivocado dos termos ‘durabilidade’ e ‘vida útil’ devido à proximidade entre os conceitos.

Durabilidade é definida como sendo a capacidade de uma estrutura de apresentar o desempenho previsto em projeto durante um período, frente aos fatores de degradação ambiental, como o intemperismo, ataque químico, abrasão, entre outros. Desta forma, um concreto durável é aquele que mantém suas funções de resistência e utilidade durante um determinado período (SOUZA; RIPPER, 2009).

Os fatores que vão influenciar no desempenho de uma estrutura (como corrosão da armadura e ataque químico), e a interdependência entre eles, será determinante para a relação durabilidade versus desempenho. A Figura 7 mostra justamente essa interdependência entre os fatores que vão afetar a durabilidade de uma estrutura, e revela também que são variadas as causas para as manifestações patológicas que podem surgir no concreto armado.

Figura 7: Inter-relacionamento entre os conceitos de durabilidade e desempenho.

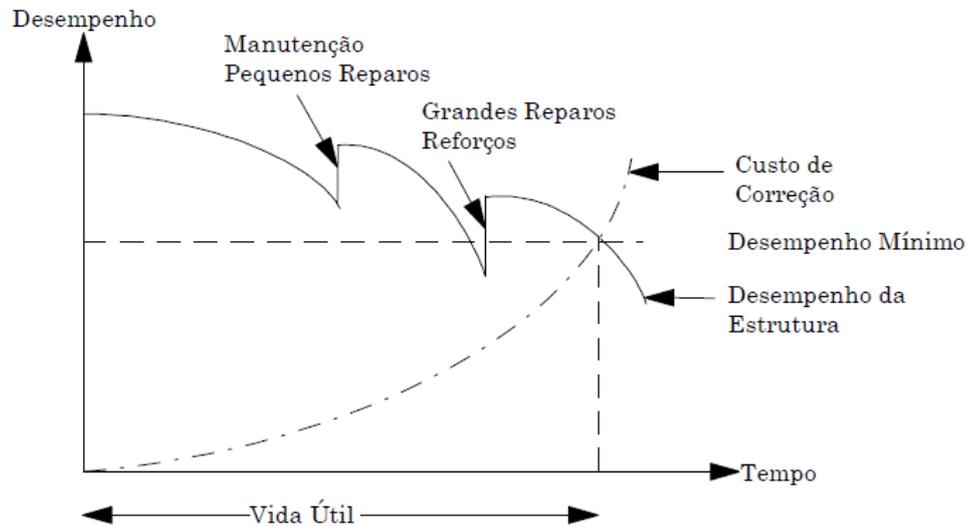


Fonte: Adaptado de CEB Boletim nº 183 (1992).

O que torna uma estrutura de concreto durável é o fato de a mesma permanecer com sua funcionalidade inalterada, mantendo seu desempenho mínimo previsto em projeto, pelo tempo para o qual também foi projetada (vida útil). Ou seja, um determinado concreto pode ser durável para a estrutura de uma residência, e não durável quando utilizado na estrutura de uma ponte. Cada concreto possui sua especificidade e características de acordo com cada projeto de desempenho e vida útil desejados (NEVILLE, 2001).

O Gráfico 3 revela o comportamento de uma estrutura com relação ao desempenho, ao longo do tempo. Essa relação desempenho versus vida útil revela a durabilidade da estrutura.

Gráfico 3: Fases do desempenho de uma estrutura durante a sua vida útil.



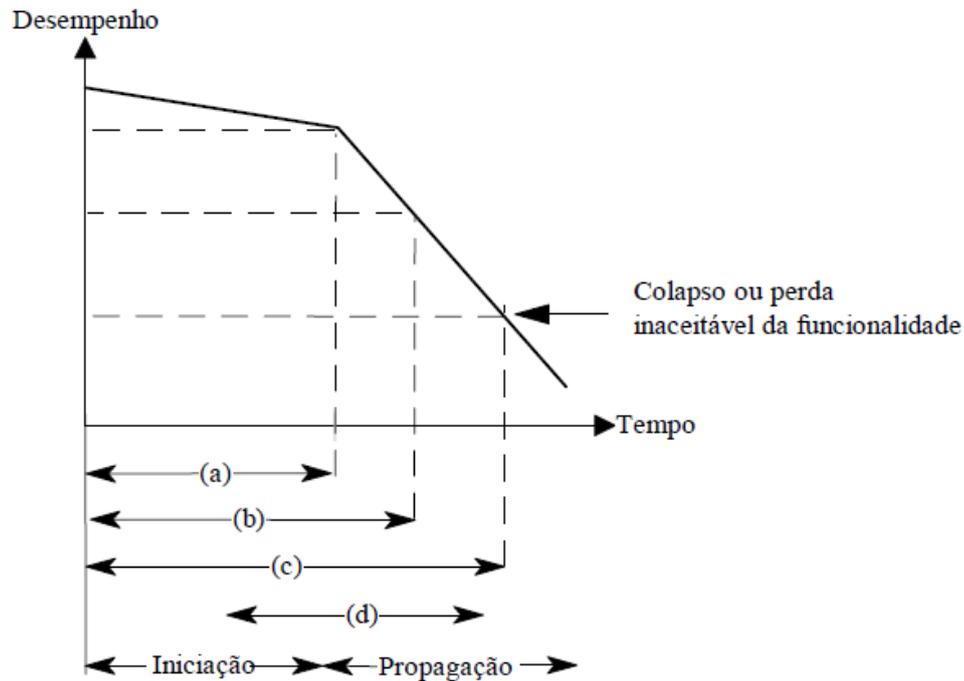
Fonte: Helene (1992) adaptado de CEB (1993).

Desta forma, a vida útil de uma estrutura é a quantificação da durabilidade, ou seja, o tempo em que uma estrutura de concreto armado cumpre sua função de desempenho e utilidade, conforme previstos em projeto, e sem gerar grandes gastos de manutenção.

É usual a adoção de um período de vida útil de 50 anos para as estruturas de concreto armado convencionais, e de cerca de 100 anos para pontes, e de 200 anos para barragens. Uma estrutura atinge sua vida útil, quando a continuidade de sua utilização pode comprometer a segurança dos usuários, ou se torna inviável economicamente (ANDRADE, 1997).

Pode ser considerado que uma estrutura de concreto armado apresenta quatro tipos de vida útil. O Gráfico 4 revela que durante a vida útil de projeto (a), os agentes agressivos ainda não afetam a funcionalidade da estrutura; na vida útil de serviço ou de utilização (b) os agentes agressivos começam a se propagar (como a fissuração por ataque químico, ou manchas devido à corrosão da armadura), e o tempo que cada estrutura suporta essas agressões é muito variável; o período de vida útil total (c) é atingido quando a estrutura sofre ruptura parcial ou total; e a vida útil residual (d) corresponde ao período que uma estrutura, após sofrer intervenção (vistoria e manutenção), é capaz de manter suas funções de maneira segura (HELENE, 1992).

Gráfico 4: Vida útil das estruturas.



Fonte: Helene (1992) adaptado de CEB (1993).

É de extrema importância, portanto, ter o conhecimento mais profundo sobre as causas da deterioração de uma estrutura de concreto armado, assim como mecanismos e técnicas de recuperação das mesmas, a fim de não comprometer a durabilidade, vida útil, estética, e segurança da estrutura; além de evitar problemas gerados pela formação de patologias (ARIVABENE, 2015).

2.2.2 Patologias em estruturas de concreto armado

É bastante recorrente que uma estrutura de concreto armado sofra algum processo de degradação, que se manifesta na forma de patologias. Conhecer as causas das manifestações patológicas é essencial para orientar as ações corretivas, e garantir a segurança da estrutura. Os agentes causadores das patologias podem ser do tipo intrínseco, ou extrínseco (SOUZA; RIPPER, 2009).

As causas intrínsecas são as responsáveis pelas manifestações patológicas que surgem no próprio material (inerentes a ele), ou na peça toda, durante execução e/ou utilização da

estrutura, e que podem ser divididas em: falhas humanas; deficiência de concretagem, seja no lançamento, transporte, no adensamento, na cura, ou nas juntas de concretagem; inadequação de fôrmas e escoramentos; deficiências nas armaduras, como erros de leitura do projeto, mau posicionamentos das armaduras, dobramento inadequados das barras, deficiências nas ancoragens e nas emendas, entre outros; uso incorreto dos materiais, como a utilização de materiais diferentes do especificado em projeto, dosagem incorreta do concreto, e solo com características diferentes do esperado; ausência de um controle de qualidade eficiente; falhas humanas durante o período de utilização da estrutura, como a ausência de manutenção da estrutura; causas químicas, como a presença de cloretos, ácidos, sais, água, anidrido carbônico, e elevação da temperatura interna do concreto; causas físicas como a insolação, o vento, precipitação, e variações de temperatura; e causas biológicas (SOUZA; RIPPER, 2009).

Já as causas extrínsecas são agentes que deterioram a estrutura e que independem da constituição do material, do processo de execução, ou da composição do concreto. As causas extrínsecas são: falhas humanas durante a fase de projeto (concepção), como erros na previsão de cargas, na interação solo-estrutura, na consideração de juntas de dilatação, incorreta modelização da estrutura, e detalhamento de projeto incorreto ou insuficiente; utilização incorreta da estrutura, como sobrecargas exageradas, alteração das condições do terreno, ou alterações estruturais não previstas; ações mecânicas, como choques de veículos, recalque da fundação, ou acidentes imprevisíveis; ações físicas, como a variação de temperatura, insolação e ação da água; ações químicas; e ações biológicas (SOUZA; RIPPER, 2009).

Todas as causas citadas acima (causas intrínsecas, e extrínsecas) geram as seguintes manifestações patológicas (sintomas) mais recorrentes: fissuras e trincas; desagregação do concreto e eflorescências; manchas na superfície; segregação dos materiais constituintes do concreto; infiltrações; flechas e rotações excessivas (deformações); degradação química da estrutura; elevada porosidade e permeabilidade; calcinação; e perda de aderência nas juntas de concretagem (MACHADO, 2002).

Identificada alguma das manifestações patológicas citadas acima, é necessária a realização de uma inspeção da estrutura (diagnóstico), e o estabelecimento de um plano de ação para a correção do problema (metodologia).

2.3 CAUSAS DA DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO

Antes de qualquer ação para o reparo da manifestação patológica estudada, é imprescindível que ter o conhecimento das causas da deterioração do concreto, para que a melhor solução possa ser adotada. As principais causas de deterioração do concreto são: mecânicas, físicas, químicas, e eletroquímicas.

Antes de aprofundar sobre cada causa de deterioração do concreto, vale lembrar que a água atua como agente de deterioração, presente na maioria dos fenômenos químicos, físicos e eletroquímicos. Portanto, é muito importante que qualquer estrutura de concreto evite ao máximo, quando possível, o contato direto com a água, como forma de evitar a deterioração (SOUZA; RIPPER, 2009).

2.3.1 Causas mecânicas

O impacto gerado por uma solicitação mecânica pode expor tanto o concreto quanto a armadura a agentes agressivos que deterioram e podem comprometer a resistência de toda a estrutura. As solicitações mecânicas podem ser geradas por recalque diferencial da fundação; choques e impactos; e agentes que são imprevisíveis, como explosões, abalos sísmicos, tempestades e inundações (SOUZA; RIPPER, 2009).

A fissuração e o lascamento do concreto são os principais sintomas gerados pelas causas mecânicas.

É inviável que as estruturas de concreto armado sejam construídas de tal forma que suporte ações mecânicas imprevisíveis como inundações, batidas de carros, explosões, entre outros. Porém medidas preventivas podem e dever ser adotadas, a exemplo de proteções de borrachas para estruturas com elevada probabilidade de choques de veículos, como os pilares de uma garagem.

2.3.2 Causas físicas

As causas físicas de deterioração de estruturas de concreto são consideradas por SOUZA e RIPPER (2009) como causas intrínsecas e resultado da ação do vento, da amplitude térmica extrema, da água (sob a forma de gelo, chuva e umidade), da insolação, e do fogo. Os

danos gerados pelos agentes físicos podem causar as seguintes manifestações: desgaste superficial (por abrasão, cavitação ou erosão), fissuração (pela cristalização de sais nos poros; gradientes de temperatura e umidade, ou pelo carregamento estrutural), e efeitos da ação do fogo e do gelo (que não será estudado devido a não ocorrência em zonas tropicais).

2.3.2.1 Desgaste superficial por abrasão, cavitação e erosão.

O desgaste superficial por abrasão ocorre devido ao enrolamento, fricção, ou escorregamento constante sobre a superfície de uma estrutura de concreto, somado de um ambiente seco, resultando no descolamento dos agregados da superfície da estrutura de concreto. Esse desgaste da estrutura, ocorre devido ao atrito seco de agentes como pessoas, tráfego, vento, entre outros. Pisos industriais, pontes, calçadas, pavimentos de rodovias e estacionamentos são algumas das estruturas que estão constantemente sujeitas a sofrer desgaste superficial por abrasão (Figura 8) (SOUZA; RIPPER, 2009).

A qualidade do material utilizado na produção do concreto armado, que vão lhe conferir resistência superficial, dureza e resistência à compressão, são características que vão determinar a resistência da estrutura à abrasão. Desta forma, para um concreto ser mais resistente à abrasão, o mesmo deve maior dureza e reduzida porosidade (SANTOS, 2012).

Figura 8: Desgaste superficial por abrasão em pavimento de concreto.



Fonte: Aguiar (2006).

No desgaste superficial por cavitação, a superfície do concreto é degradada devido à implosão de bolha de vapor de água, que ocorre quando o líquido que escoar pela estrutura sofre uma mudança brusca de velocidade ou de direção de escoamento. No momento em que essas bolhas se rompem contra a superfície de concreto, a pressão gerada é elevada, para uma pequena área, e a repetição desses eventos é capaz de degradar a estrutura de concreto, conforme pode ser visto na Figura 9 (FREITAS JÚNIOR, 2013).

Figura 9: Efeito da cavitação em uma bacia de dissipação.



Fonte: Freitas Júnior (2013).

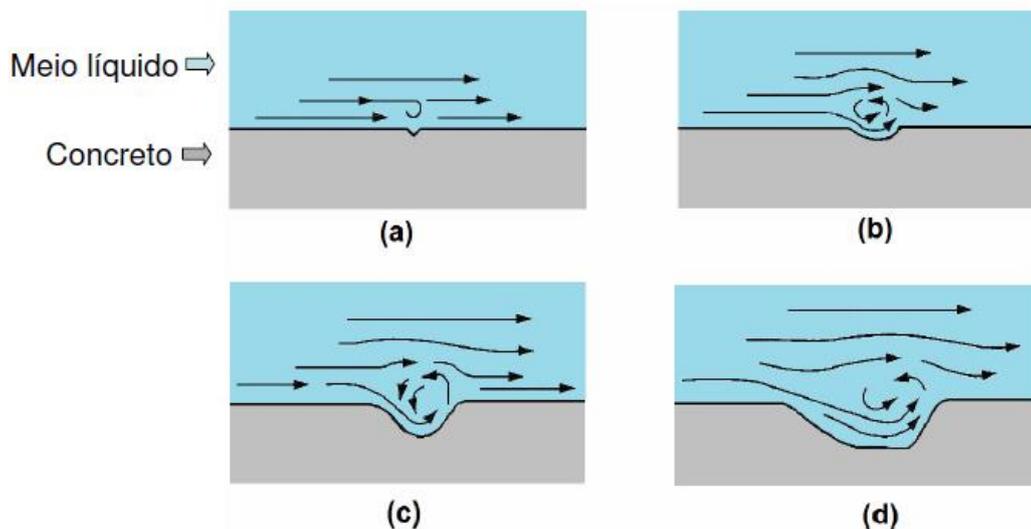
Bacias de dissipação, conduto forçado, vertedouro e outras estruturas que estão em contato constante com a água e com velocidades elevadas, com alterações bruscas de direção do escoamento, são as que estão sujeitas ao desgaste por cavitação. A forma de evitar esse problema seria utilização de concreto específico para tal situação, além da eliminação de irregularidades na superfície e suavizar possíveis mudanças de direção de escoamento (SANTOS, 2012).

Por fim, o desgaste superficial por erosão se diferencia da abrasão por se tratar de um desgaste abrasivo, porém em ambientes molhados, causado por fluidos que contêm partículas sólidas em suspensão (Figura 10). Essas partículas sólidas, quando carregadas junto com o fluxo líquido que escoar pela superfície de concreto, provoca o desgaste por colisão, escorregamento ou rolagem (VILASBOAS, 2004).

A intensidade do desgaste vai depender da velocidade de escoamento do líquido, qualidade do concreto, e características das partículas suspensas, como a dureza, forma, e

quantidade, por exemplo. Canais, galerias, dutos, pilares de pontes e vertedouros são estruturas sujeitas ao desgaste superficial por erosão. Para que o concreto seja resistente à erosão, é indicado que o material apresente elevada dureza, uso de agregados de diâmetro maior, e o uso de uma pasta de cimento com baixo fator água/cimento (FREITAS JÚNIOR, 2013).

Figura 10: Evolução do desgaste superficial por erosão: movimento relativo do líquido, e atrito de partículas suspensas neste contra a superfície de concreto.



Fonte: Freitas Júnior (2013).

2.3.2.2 Fissuração

A deterioração da superfície de uma estrutura de concreto armado por fissuração pode ocorrer devido aos seguintes eventos: pela cristalização de sais nos poros, pelo gradiente de temperatura e umidade, ou devido ao carregamento estrutural.

A cristalização de sais nos poros ocorre quando soluções que contêm substâncias como sulfatos, cloretos, nitratos, entre outros, atingem os poros existentes na estrutura de concreto. Quando a água dos poros evapora, os sais permanecem e se cristalizam, aumentando de volume, e geram uma pressão interna suficiente para fissurar a superfície da estrutura. Os concretos mais porosos e permeáveis (com elevada relação água/cimento) são os que estão mais vulneráveis à ação física da cristalização de sais nos poros (VILASBOAS, 2004).

Além da fissuração, a cristalização de sais nos poros pode causar a descamação por sal, na superfície da estrutura (Figura 11).

Figura 11: Descamação da superfície da estrutura de concreto por cristalização de sais nos poros.



Fonte: Freitas Júnior (2013).

O efeito do gradiente de temperatura e umidade são os responsáveis pela retração e pela dilatação térmicas, e geralmente ocorrem em estruturas de grandes dimensões, como barragens e pavimentos.

O efeito de retração térmica ocorre quando a massa de concreto no estado fresco inicia as reações de hidratação do cimento, que tem a característica de elevar consideravelmente a temperatura da massa de concreto, que ao interagir com a temperatura ambiente, vai sofrer uma grande redução de temperatura e como consequência, a redução de volume. Quando a estrutura sofre contração, as tensões térmicas vão tracionar a estrutura, podendo desencadear a fissuração (EMMONS³, 1993 apud SANTOS, 2012).

Já o efeito da dilatação térmica ocorre com a estrutura de concreto em seu estado endurecido. Quando a temperatura ambiental apresenta elevada variação térmica, pode fazer com que a estrutura de concreto sofra expansão, quando ocorre aumento da temperatura, ou retração quando a temperatura for reduzida. Esse movimento de retração ou dilatação é o responsável por criar fissurações na estrutura de concreto armado (EMMONS³, 1993 apud SANTOS, 2012).

Por fim, a fissuração do concreto devido ao carregamento estrutural ocorre quando a estrutura é submetida a uma sobrecarga ou impacto que não estavam previstos em projeto, ou quando a estrutura não é executada como o previsto, ou até mesmo devido a falhas do próprio projeto.

³ EMMONS, Peter H. **Concrete repair and maintenance illustrated**. Kingston: R. S. Means Company, 1993. 295p. apud SANTOS, M. R. G. **Deterioração das estruturas de concreto armado**: estudo de caso. 2012. 109 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

2.3.2.3 Ação do fogo

As estruturas de concreto armado possuem a característica de ser bastante resistente ao fogo. Porém, quando submetido a elevadas temperaturas por um longo período de tempo, o concreto apresenta perda de resistência. No momento do ataque pelo fogo, a estrutura absorve calor, causando expansão da mesma, que por sua vez prejudica a aderência entre o aço e o concreto, e as tensões internas geradas desagregam o concreto, fratura a estrutura, e expõe o aço à ação do fogo. O concreto começa a ser degradado quando atinge temperaturas superiores a, em média, 600 graus Celsius. A evolução do comportamento do concreto juntamente com o aumento da temperatura, pode ser observada no Quadro 1 (SOUZA; RIPPER, 2009).

Quadro 1: Evolução do comportamento do concreto em função da elevação da temperatura ambiente.

Temperatura em °C	Cor do Concreto	Perda de Resistência
0 a 200	Cinza	0%
300 a 600	Rosa	≤40%
600 a 900	Rosa a vermelho	70%
900 a 1200	Cinza avermelhado	100%
>1200	Amarelo	100%

Fonte: Adaptado de Bauer (2008).

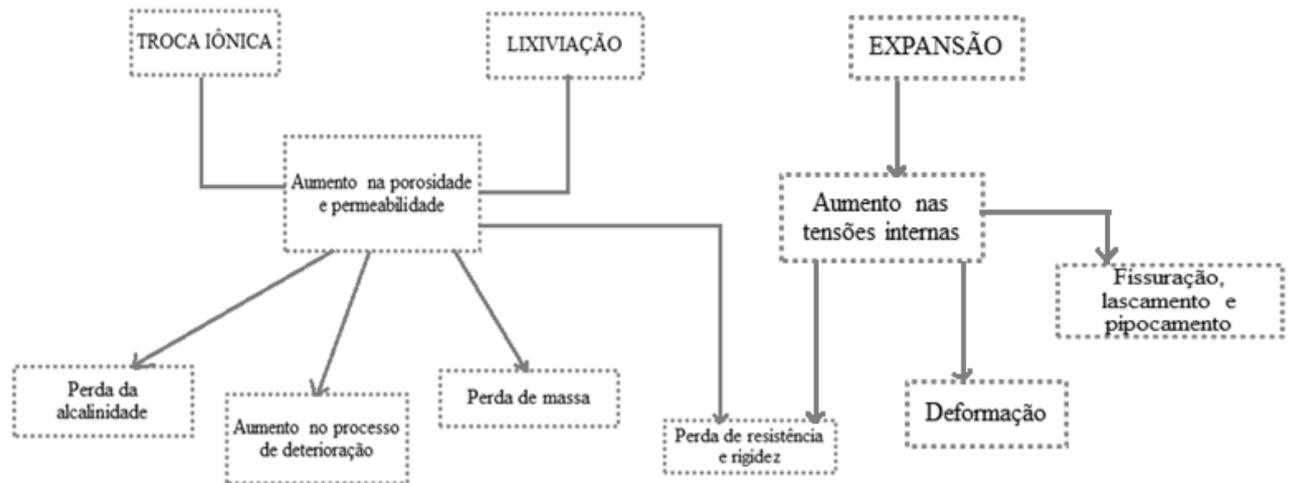
O uso de aço resistente ao fogo; a adoção de uma espessura maior para o cobrimento do concreto, que vai conferir maior proteção à armadura; e o uso de uma camada de gesso de cerca 3 cm de espessura, são ações que podem ser adotadas visando proteção adicional da estrutura contra a ação do fogo (BAUER, 2008).

2.3.3 Causas químicas

Na maioria dos casos a degradação do concreto devido às causas químicas ocorre após algum evento de degradação de causa física, visto que a degradação de causa física torna a estrutura mais frágil, mais suscetível ao ataque químico. Carbonatação; ataque por sulfatos,

por cloretos, ácidos, e por água pura; e reação álcali-agregado são algumas das causas químicas para a deterioração de uma estrutura de concreto armado. E os mecanismos de atuação (Figura 12) desses ataques químicos podem ser por: lixiviação, expansão, ou por reação iônica (SANTOS, 2012).

Figura 12: Mecanismos de atuação dos ataques químicos.

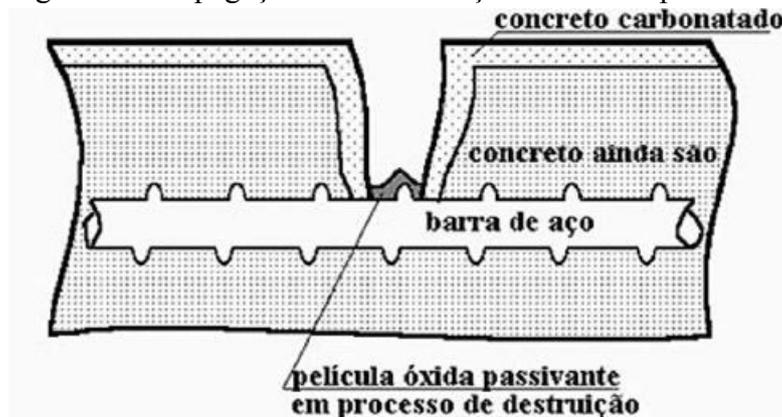


Fonte: Adaptado de Mehta; Monteiro (1994).

2.3.3.1 Carbonatação

A carbonatação ocorre quando o gás carbônico presente na atmosfera, penetra nos poros do concreto e reage com o hidróxido de cálcio, um dos constituintes da pasta de cimento. A redução do hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento acarreta na diminuição do pH do concreto (valores inferiores a 9), ocasionando o fenômeno da carbonatação. O fenômeno ocorre de maneira lenta, mas a depender da porosidade, permeabilidade, umidade relativa do ar, composição do concreto, condições de cura, e concentração de dióxido de carbono na atmosfera, a carbonatação pode atingir além da camada de cobrimento do concreto, podendo atingir a armadura (Figura 13), iniciando o processo de corrosão (SOUZA; RIPPER, 2009).

Figura 13: Propagação da carbonatação com o tempo.



Fonte: Souza; Ripper (2009).

2.3.3.2 Ataque por sulfatos

Os sulfatos são elementos extremamente agressivos para uma estrutura de concreto, e podem estar presentes em locais como: solo, águas naturais, águas agrícolas, e nos efluentes sanitários e industriais. Os sulfatos reagem facilmente com dois componentes da pasta de cimento: com o hidróxido de cálcio, formando a gipsita; e com o aluminato tricálcico, formando a etringita (ou também conhecida como “sal de Candlot”). Os dois produtos formados são expansivos e, portanto, capazes de gerar pressões internas suficientes para fissurar e romper a estrutura de concreto (SOUZA; RIPPER, 2009).

Quando uma estrutura sofre o ataque por sulfatos, tende a exibir manchas esbranquiçadas, seguidas de fissuração e deslocamento.

2.3.3.3 Ataque por cloretos

Líquidos cuja concentração de cloretos seja elevada (segundo a norma NP EN 206 em uma concentração superior a 0,4% em peso com relação ao teor de cimento do concreto), quando em contato direto e constante com estruturas de concreto armado (como a maresia, efluentes industriais, ambientes marinhos, entre outros), apresenta elevado potencial corrosivo das armaduras, além de ser responsável pelo surgimento de manchas e eflorescências na superfície do concreto. O motivo dessas manifestações patológicas se deve pelo fato de que o cloreto conserva umidade, o que vai favorecer a corrosão do aço da armadura. A intensidade

do problema vai depender da concentração de cloretos, e de características como uso de aditivos, porosidade e permeabilidade do concreto (METHA; MONTEIRO, 1994).

A NBR 6118 (ABNT, 2007), não permite a utilização de aditivos que apresentem cloretos em sua composição, para a produção de estruturas de concreto armado e concreto protendido. A Figura 14 ilustra o resultado de uma estrutura sujeita ao ataque prolongado de cloretos.

Figura 14: Pilar de concreto armado deteriorado pela carbonatação e pelo ataque de cloretos.



Fonte: Aguiar (2006).

2.3.3.4 Ataque por ácidos

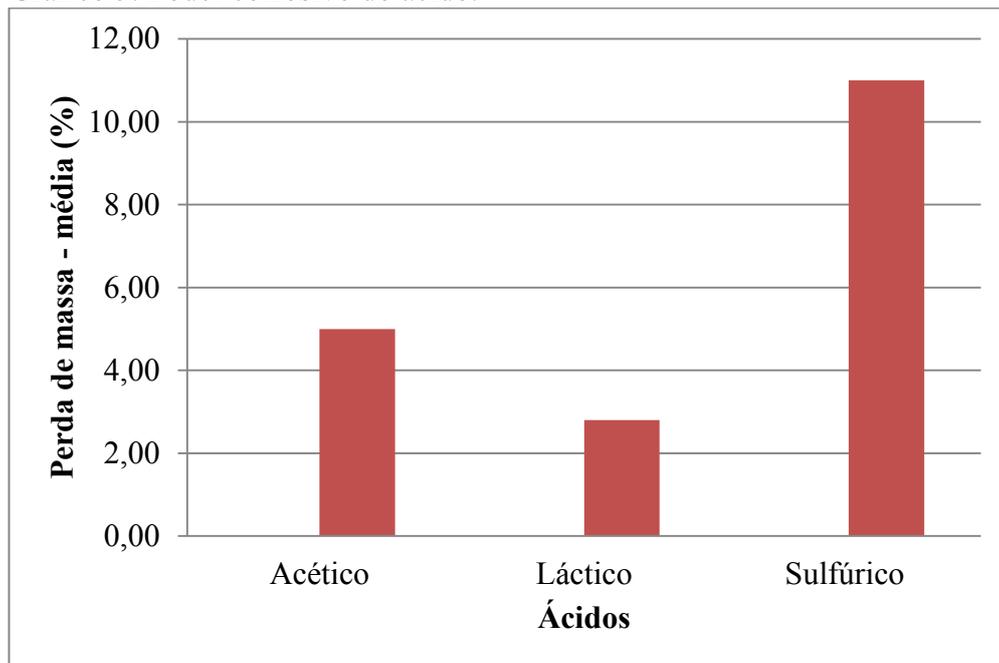
Os ácidos, de forma geral, orgânicos e inorgânicos são prejudiciais ao concreto, visto que o íon hidrogênio produz compostos solúveis que, em contato com o interior do concreto, deteriora a estrutura. A concentração e solubilidade do ácido do sal de cálcio resultante é que vão determinar o grau de intensidade da reação do ácido com o concreto (SOUZA; RIPPER, 2009).

O ácido que atinge a estrutura reage com o hidróxido de cálcio (responsável pela coesão do concreto) presente na massa de cimento endurecido, formando um sal solúvel em água, que é lixiviado (arrastado) (SOUZA; RIPPER, 2009).

A perda do hidróxido de cálcio eleva a porosidade do concreto, reduz a resistência mecânica da estrutura, além de tornar mais permeável à entrada de gases e líquidos

agressivos, ficando mais suscetível à desintegração do material. Uma sintomatologia bastante comum é a exposição dos agregados da estrutura. Os ácidos com ação mais corrosiva são: ácido acético, ácido láctico, e ácido sulfúrico. O poder corrosivo desses ácidos pode ser observado no Gráfico 5.

Gráfico 5: Poder corrosivo do ácido.



Fonte: Gaier (2005).

2.3.3.5 Ataque por água pura

A água pura (seja da chuva, rios, lagos, lençol freático, degelo, condensação de vapores industriais, ou água destilada) penetra no concreto que apresenta fissuras ou elevada porosidade, e provoca a lixiviação do hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento. Ao atingir a superfície da estrutura de concreto, o hidróxido de cálcio lixiviado poderá causar eflorescências esbranquiçadas, que quando acumuladas, podem formar estalactites e estalagmites (MOREIRA, 2006).

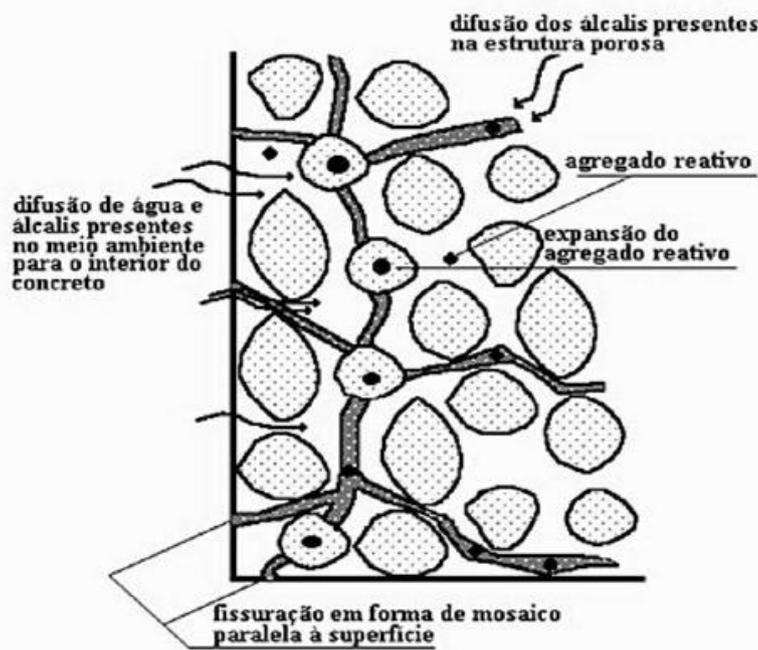
As consequências do ataque de água pura no concreto são: diminuição da durabilidade da estrutura, já que o concreto se torna mais poroso e, portanto, mais suscetível ao ataque de outros agentes agressivos; depreciação estética; e redução da resistência mecânica da estrutura, visto que a água também reage com o silicato de cálcio hidratado, que confere resistência mecânica ao concreto (SANTOS, 2012).

2.3.3.6 Reação álcali-agregado

Por fim, a reação álcali-agregado, é uma reação expansiva, que ocorre no interior do concreto, onde alguns constituintes do agregado vão reagir com hidróxidos alcalinos existentes nos poros. Essa reação resulta na formação de um gel de comportamento expansivo, que causa a fissuração da estrutura e deslocamentos, que podem comprometer a estrutura, afetando diretamente na sua durabilidade (MOREIRA, 2006).

A fissuração causada pela reação álcali-agregado possui um padrão estético que remete a um mapa de fissuras (Figura 15). Essa fissuração permite que o concreto se torne mais permeável à água, o que acelera ainda mais o processo de reação do álcali-agregado, e deixa a estrutura mais vulnerável ao ataque de outros agentes agressivos.

Figura 15: Desenvolvimento da reação álcalis-agregado no concreto.



Fonte: Souza; Ripper (2009).

2.3.4 Causas eletroquímicas

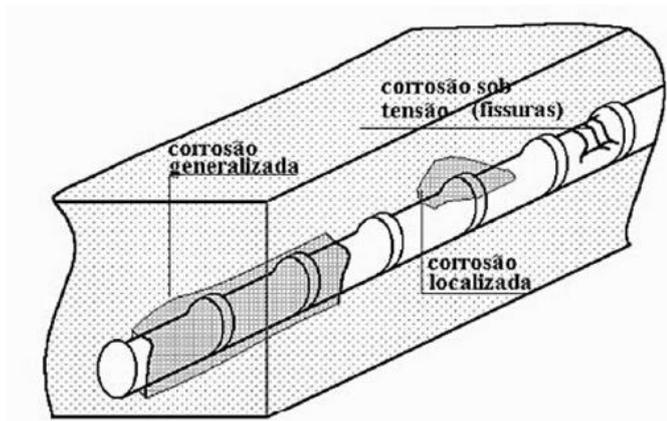
As causas eletroquímicas são referentes ao processo de corrosão da armadura de aço que constitui a estrutura de concreto armado. São dois os tipos de corrosão que podem atacar uma armadura de aço: a corrosão química (ou oxidação), ou a corrosão eletroquímica (ou corrosão aquosa). A corrosão eletroquímica é a que de fato acarreta em problemas para a estrutura, e que merece destaque (CASCUDO, 1997).

A corrosão eletroquímica ocorre em meio aquoso (resultado do excesso de água de amassamento do concreto, ou até mesmo pela penetração de líquidos exteriores se houver fissuração na estrutura), com a formação de uma película de eletrólito ao redor da barra de aço, com formação de uma célula de corrosão eletroquímica. Uma pilha eletroquímica, para que ocorra o processo corrosivo, deve conter todos os seguintes elementos: cátodo, ânodo, eletrólito, e condutor metálico (CASCUDO, 1997).

São três os tipos de corrosão mais recorrentes (Figura 16): corrosão generalizada, corrosão por pite (ou localizada), e tensão sob tensão. Na corrosão generalizada, toda a superfície do metal é atacada, podendo ser uniforme, de aspecto liso e regular, ou irregular, apresentando um aspecto rugoso. Na corrosão por pite, o ataque corrosivo é pontual, com pontos de corrosão localizados e quando evoluem, podem causar a ruptura pontual da barra de aço. E, por fim, a corrosão sob tensão fraturante ocorre quando a armadura de aço é submetido a um grande esforço de protensão, aliado a um meio agressivo, originando a propagação de fissuras no aço. Esse tipo de corrosão pode não apresentar sintomas visuais, e podem sofrer rupturas bruscas (SOUZA; RIPPER, 2009).

A presença de íons cloretos, e da carbonatação são elementos que influenciam na perda da passivação da armadura, favorecendo o processo corrosivo.

Figura 16: Tipos de corrosão de uma barra de aço segundo sua morfologia.



Fonte: Souza; Ripper (2009).

2.4 METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO E RECUPERAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Atualmente, a identificação, tratamento e solução dos problemas patológicos na construção civil não seguem uma metodologia única, que seja universalmente aceita e

aplicada. É muito recorrente que metodologias individuais, baseadas nas experiências, intuições pessoais, e nas habilidades de cada profissional sejam utilizadas, sem que metodologia definida seja aplicada. No intuito de justamente tornar o estudo, e tratamento das patologias na construção civil mais objetiva e técnica, LICHTENSTEIN (1986) propõe uma metodologia genérica para a resolução das patologias na construção civil, dividida em três etapas: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação, e definição de conduta.

2.4.1 Levantamento de subsídios

Essa fase inicial é essencial para o entendimento do problema, com aquisição e organização do maior volume de informações possível. A aquisição de informação se dá pela vistoria do local, levantamento do histórico da construção (anamnese), e/ou pesquisa. Desta forma, é possível formar um quadro geral da situação (MACEDO, 2017).

A vistoria do local é realizada nos períodos de manutenções previstas, ou em caso de reclamação do usuário. Essa vistoria permite a verificação e constatação da existência de uma manifestação patológica, a gravidade, e extensão do problema. O conhecimento a respeito da localização do problema, idade da patologia, se o problema é comum nas edificações vizinhas, e se já houve uma tentativa de reparo, é essencial para o entendimento do problema (LICHTENSTEIN 1986).

Para uma primeira vistoria ao local, uma lista de checagem pode auxiliar na verificação de possíveis manifestações patológicas, como mostra a Quadro 2.

Quadro 2: Lista de checagem inicial para acompanhar uma primeira vistoria do local.

TIPOLOGIA	ANOMALIAS OU FALHAS
Estrutura	Umidade ascendente, armadura exposta, trincas e fissuras, quebras, deslocamento de placa, oxidação da armadura.
Alvenaria	Umidade ascendente, manchas, trincas e fissuras, infiltração.
Pintura	Pintura Descascamento, bolhas, manchas, sujidades, sem pintura.
Forros	Abaulamento, quebras, sujidades.
Revestimentos cerâmicos	Manchas, aderência, quebras, desgaste.
Instalações elétricas	Caixas de passagem, tomadas/interruptores, disjuntores, instalação (fios).
Esquadrias	Conservação, funcionamento.
Cobertura	Sujidades, quebras, infiltração.

Fonte: CIBIC (2013).

Realizado a vistoria do local, e ainda assim não ter sido possível identificar e diagnosticar a manifestação patológica, o próximo passo é então a realização do levantamento histórico da construção (anamnese). A anamnese vai permitir ter o conhecimento de toda a história evolutiva, fornecendo um panorama geral do desempenho da construção. Essa investigação é possível por meio de análise documental, e entrevista com pessoas envolvidas na construção (construtores, fabricantes de materiais e projetistas, por exemplo), e com o próprio usuário. Porém, é importante saber que em caso de realização de uma entrevista oral, uma série de informações podem ser omitidas ou distorcidas, de acordo com o interesse do entrevistado. Portanto, somente a entrevista não garante conclusões precisas e totalmente confiáveis (LICHTENSTEIN 1986).

Desta forma, a análise de documentos formais vai garantir a veracidade necessária para o entendimento da situação. Documentos como: diário de obra; notas fiscais de materiais; contratos de execução de serviços; cronograma físico-financeiro; e ensaios para recebimento de materiais são fontes importantes para o estudo (LICHTENSTEIN 1986).

A pesquisa também é uma maneira de levantar subsídios para o entendimento do problema. Quando as duas etapas anteriores, vistoria ao local e anamnese, se mostrarem ineficientes, a realização de uma pesquisa de caráter científico, e em fontes bibliográficas confiáveis, pode se mostrar eficiente no diagnóstico da situação (MACEDO, 2017).

2.4.2 Diagnóstico da situação

A etapa de diagnóstico da situação vai conduzir à interpretação de todas as informações coletadas durante a vistoria, anamnese, e pesquisa, permitindo a criação de um quadro geral do problema, com a obtenção de dados como a origem, causas, e mecanismo de ocorrência do problema. Porém quando todos os dados obtidos até então não forem suficientes para a formulação de um diagnóstico consistente, poderá ser necessária a realização de alguns exames complementares, como: análise e ensaios de laboratório, e ensaios no local de ocorrência do problema.

Formulado o diagnóstico, é possível então a tomada de decisão no que se refere à conduta que será adotada para cada situação, e com o grau de incerteza o mais reduzido quanto for possível. Ou seja, quando o diagnóstico é dado, ele deve ser consistente, de tal

forma que na realização de qualquer outro exame complementar, o diagnóstico permaneça praticamente inalterado (OLIVEIRA, 2013).

2.4.3 Definição de conduta

Quando realizado o diagnóstico, é indicada a realização de um prognóstico, ou seja, a formulação de hipóteses para a evolução do problema ao longo do tempo (previsão). Em posse do diagnóstico e do prognóstico, pode-se elaborar possibilidade de intervenção, levando-se em consideração três parâmetros: relação custo-benefício, grau de incerteza sobre os efeitos, e disponibilidade de tecnologia para execução dos serviços (LICHTENSTEIN 1986).

Toda e qualquer tomada de decisão envolvem um grau de incerteza quanto aos efeitos e eficiência dos resultados. Por isso a importância da realização de um diagnóstico eficiente e completo, o que permite reduzir o grau de incerteza na tomada de decisões (LICHTENSTEIN 1986).

No momento da definição de conduta, é importante também a adoção de ações que visem o melhor custo-benefício, ou seja, que o resultado da ação possua o desempenho desejado, no menor custo. E por fim, o emprego de uma tecnologia (técnica de execução, materiais, equipamentos e mão de obra) que seja compatível para a resolução do problema é importante para que não ocorram falhas, e até mesmo erros que agravem o problema, ou o torne irreversível (OLIVEIRA, 2013).

No Brasil, o conhecimento relacionado à resolução dos problemas patológicos é muito reduzido, seja pela adoção de ações que não seguem uma metodologia científica, ou pela não realização de registros a respeito da conduta adotada que poderiam ser consultados futuramente, o que acaba por impedir a ampliação do conhecimento na área de patologias das construções, e a capacidade de resolução dos problemas (LICHTENSTEIN, 1986).

Qualquer tipo de intervenção para o tratamento de manifestações patológicas deve ser precedido de uma estratégia bem formulada e estruturada. São três as possíveis intervenções adotadas: reparo, recuperação ou reforço (LAPA, 2008).

O reparo consiste na correção de pequenos danos existentes na estrutura. A recuperação tem o objetivo de devolver à estrutura o desempenho original que foi perdido. E por fim, o

reforço visa o aumento do desempenho da estrutura. Seja qual for o tipo de intervenção escolhido, deve-se levar em consideração parâmetros como a relação custo/benefício, disponibilidade de materiais e tecnologias para a realização do serviço, e o grau de incerteza sobre os efeitos gerados a partir da intervenção adotada. Após executada a intervenção, é necessário manter o acompanhamento do desempenho da edificação a fim de observar se o resultado obtido está dentro do esperado, sua eficácia, e possível necessidade de novas intervenções (LAPA, 2008).

2.5 CAIXAS DE AREIA

A caixa de areia, também conhecida como desarenador, é uma estrutura que tem como função reter a areia, ou outro material pesado, presente no efluente que receberá tratamento. A sedimentação da areia no desarenador tem a função de proteger os equipamentos seguintes contra a ação abrasiva da areia, evitar a obstrução de tubulações, e facilitar o transporte do efluente. Além disso, dependendo do formato da caixa de areia, ou dependendo da estrutura acoplada na caixa de areia, a estrutura também terá a função de reduzir a velocidade de escoamento do efluente para as próximas etapas de tratamento (GUSS, 2011).

No caso de uma caixa de areia acoplada a uma calha Parshall, porém sem a função de medir a vazão de escoamento, a velocidade de escoamento do efluente é controlada, e dessa forma ocorre a sedimentação forçada da areia (GUSS, 2011).

A areia retida no desarenador são partículas que apresentam um diâmetro que pode variar de 0,20 mm a 0,40mm. A remoção do material sedimentado pode ocorrer com o uso de bandejas, bombas, raspadores, entre outros. O material retirado deve ter o descarte correto: encaminhadas para aterro, ou reutilizadas em outros processos (MATOS, 2010).

A velocidade média de escoamento do efluente líquido vai girar em torno de 0,30m/s, graças ao uso de uma estrutura de calha Parshall à jusante da caixa de areia. Velocidades inferiores a 0,30m/s podem provocar a sedimentação de material orgânica, e velocidades superiores a 0,40m/s podem provocar o arraste da areia, que não será sedimentada, podendo gerar problemas futuros (ZATTONI, 2008).

É indicado que os desarenadores com remoção manual do material sedimentado sejam compostos de dois canais paralelos, para que um seja utilizado enquanto o outro é submetido

ao processo de remoção da areia sedimentada, e limpeza. A Figura 17 exibe uma caixa de areia com canais paralelos.

Figura 17: Caixa de areia com canais paralelos.



Fonte: Produção do próprio autor (2017).

Para o dimensionamento da caixa de areia, é usual a suposição de que a velocidade de escoamento o efluente líquido será de 0,30m/s, e a velocidade de sedimentação da areia será de 2,0cm/s. Com isso, e a adoção de um coeficiente de segurança devido à possível ocorrência de turbulência, chega-se a uma relação entre a altura (H), e a largura (L) da caixa de areia: L deve ser 25 vezes H (MATOS, 2010).

Com o objetivo de normalizar e tornar constante a velocidade, para uma vazão mínima ($Q_{mín}$) e uma vazão máxima ($Q_{máx}$), de escoamento do efluente líquido, existe a seguinte formulação para determinar o valor do rebaixamento da caixa de areia (Z).

$$\frac{Q_{mín}}{Q_{máx}} = \frac{H_{mín} - Z}{H_{máx} - Z}$$

Sabendo-se $Q_{mín}$ e $Q_{máx}$, a fórmula $Q = K.H^n$ (onde K é uma constante que depende das dimensões da calha e ajuste da unidade de engenharia; e n é um valor que difere ligeiramente de 1,50) permite determinar as alturas mínimas e máximas da lâmina de água ($H_{mín}$ e $H_{máx}$, respectivamente). A Tabela 1 evidencia os valores de K e n para as diversas dimensões da largura nominal da seção (MATOS, 2010).

Tabela 1: Valores de n e k, para vazões em L/s.

Largura Nominal	N	K	Capacidade Mín. (L/s)	Capacidade Máx. (L/s)
3"	1,547	0,176	0,85	53,8
6"	1,580	0,381	1,52	110,4
9"	1,530	0,535	2,55	251,9
1'	1,522	0,690	3,11	455,6
1 ½'	1,538	1,054	4,25	696,2
2'	1,550	1,426	11,89	936,7

Fonte: Matos (2010).

O projeto de uma caixa de areia é mostrado no item 3.1.1 deste trabalho.

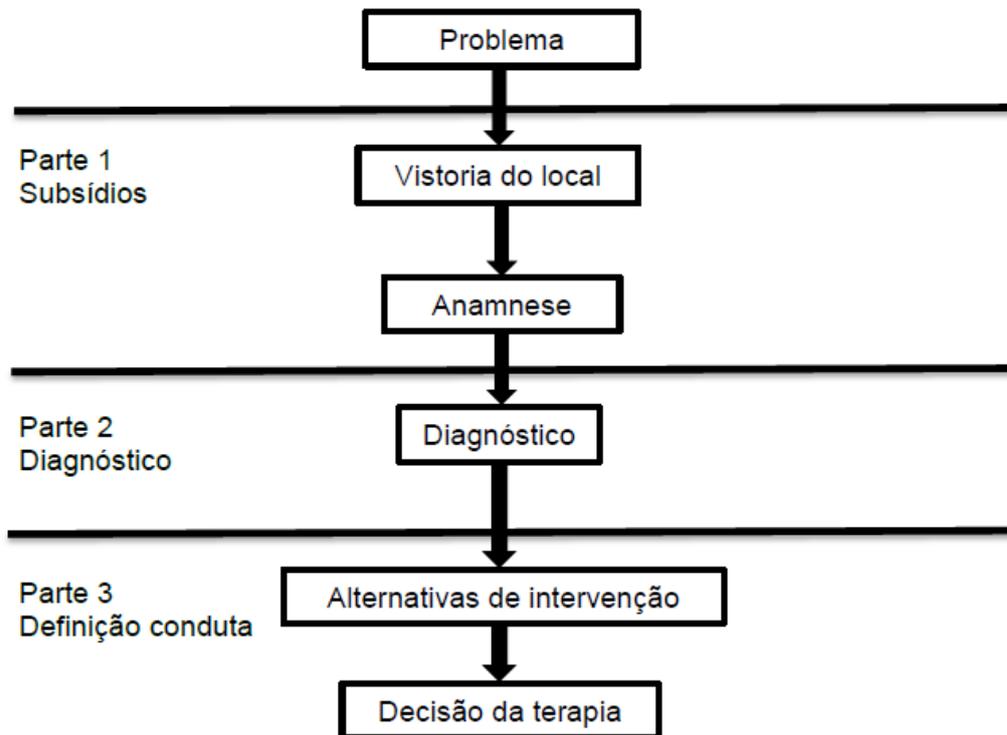
3 MÉTODO

A resolução de um problema, a exemplo de uma manifestação patológica na construção civil, depende de uma correta e precisa interpretação de dados que possibilitem uma intervenção apropriada para que a área afetada tenha seu desempenho previsto em projeto reestabelecido. Desta forma, cada problema encontrado exige a adoção de uma metodologia de ação, uma abordagem precisa frente à situação encontrada.

O desenvolvimento metodológico desse capítulo apresenta a finalidade de auxiliar no cumprimento dos objetivos propostos. Utilizando todos os conceitos obtidos e abordados na revisão bibliográfica, será utilizada a metodologia para resolução de problemas proposta por LICHTENSTEIN (1986), esquematizada na Figura 18, e que propõe três etapas, cuja ordem deve ser obedecida e que podem ser adaptada para cada caso específico, visando a resolução dos problemas patológicos na construção civil: levantamento de subsídios, com vistoria ao local, anamnese, e/ou pesquisa, que vão permitir a elaboração de um quadro geral da situação; diagnósticos da situação, com análises e ensaios (os ensaios são necessários quando ainda não é possível a formação de um quadro geral consistente da situação); e definição de conduta, com tomada de decisões e definição de conduta e alternativas de intervenção para a resolução do problema.

É importante salientar que o diagnóstico e definição de conduta podem ser variados para um mesmo problema, a depender do especialista responsável pela condução do problema, e de fatores técnicos, econômicos, de segurança, e de conforto envolvidos em cada situação.

Figura 18: Etapas da metodologia de análise de patologias da construção civil.



Fonte: Zuchetti (2015).

Este capítulo vai abordar a primeira parte da aplicação da metodologia adotada: o levantamento de subsídios. Essa parte consiste em uma revisão bibliográfica, uma pesquisa mais detalhada a respeito do funcionamento do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios, assim como a constituição desse efluente. Em seguida, é realizada a revisão bibliográfica a respeito de possíveis causas de patologias que podem se manifestar em uma estrutura de concreto armado. Concluída essa primeira parte da metodologia, será possível a elaboração de um diagnóstico e uma definição de conduta para o problema em específico estudado no presente trabalho. O diagnóstico (parte 3 da metodologia adotada), e a definição de conduta (parte 4 da metodologia adotada) serão realizadas ao longo do Capítulo 4 deste trabalho.

3.1 LEVANTAMENTO DE SUBSÍDIOS

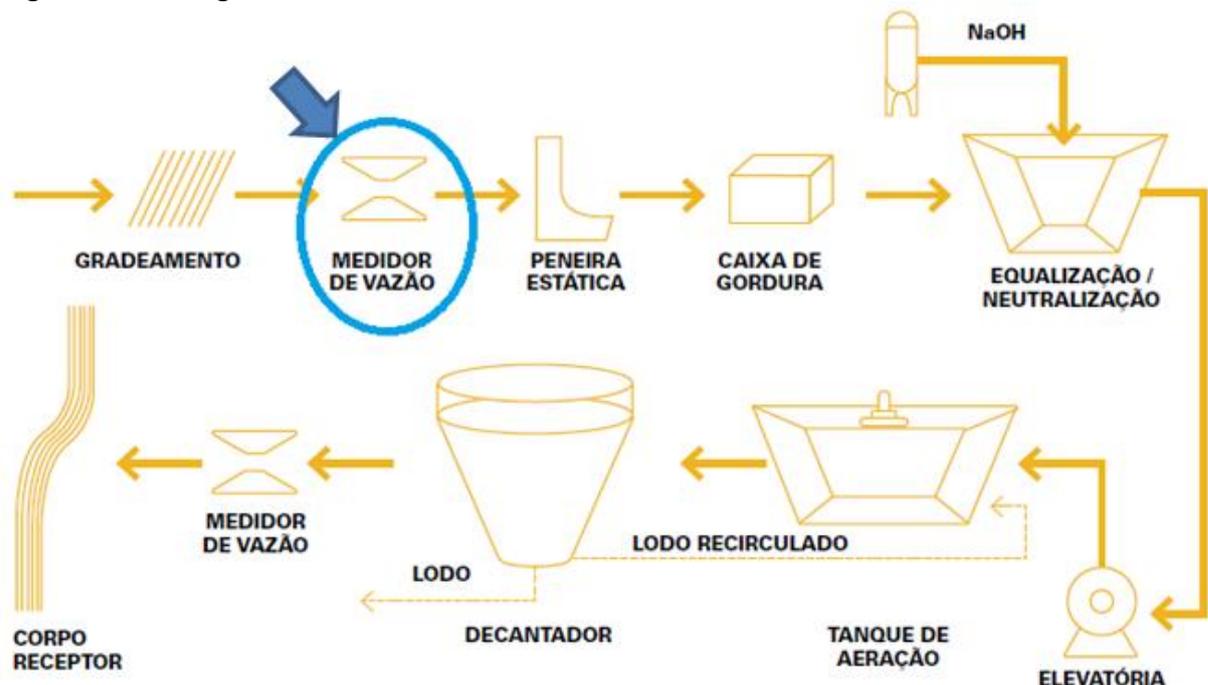
A concepção desse trabalho teve como base a coleta de informações utilizando livros, artigos, trabalhos acadêmicos, estudos de caso, e a elaboração da revisão bibliográfica.

O estudo de caso que será a base para esse trabalho consiste em uma manifestação patológica na estrutura de concreto armado de uma caixa de areia, umas das estruturas que constituem o sistema de tratamento de efluente de uma Cooperativa de Laticínios.

3.1.1 Detalhamento da estrutura da caixa de areia da Cooperativa de Laticínios

Para melhor entendimento a respeito da estrutura estudada é necessário conhecer a base de funcionamento de um sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios. Esse sistema é formado por sistemas de tratamento preliminar, de tratamento primário, e de tratamento secundário. Com relação ao tratamento secundário, para a Cooperativa de Laticínios, é utilizado o sistema de tratamento de lodo ativado convencional. A Figura 19 revela o fluxograma desse sistema:

Figura 19: Fluxograma do sistema de lodo ativado convencional.

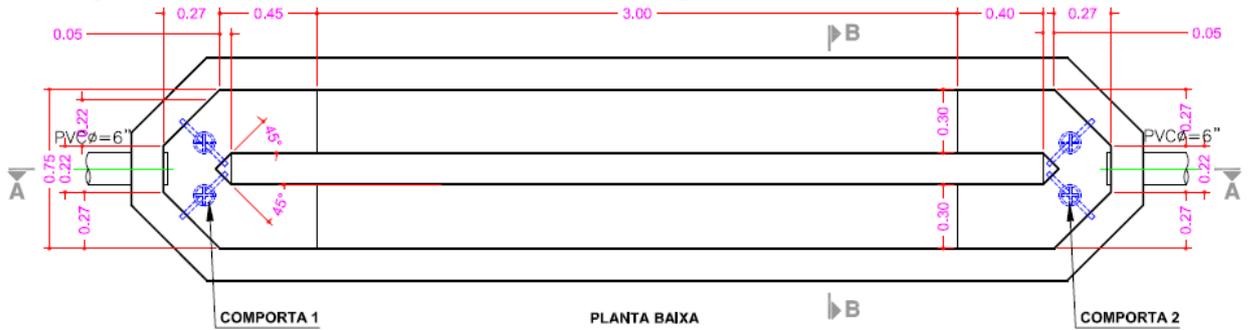


Fonte: Guia técnico ambiental da indústria de laticínios (2014).

O medidor de vazão destacado na Figura 19, na Cooperativa de Laticínios, é a caixa de areia, uma estrutura responsável pela normalização do fluxo que seguirá para as próximas estruturas e etapas de tratamento.

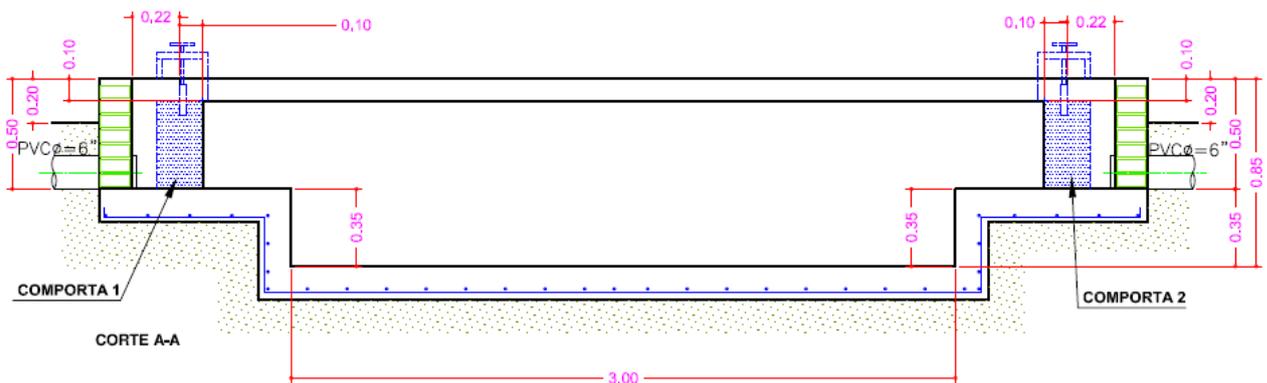
A caixa de areia é uma estrutura de concreto armado, construída em outubro de 2015 (portanto, com menos de dois anos de uso) com detalhamento de projeto mostrado nas Figura 20, e Figura 21 e Figura 22 abaixo:

Figura 20: Projeto da caixa de areia com canais paralelos: Planta baixa.



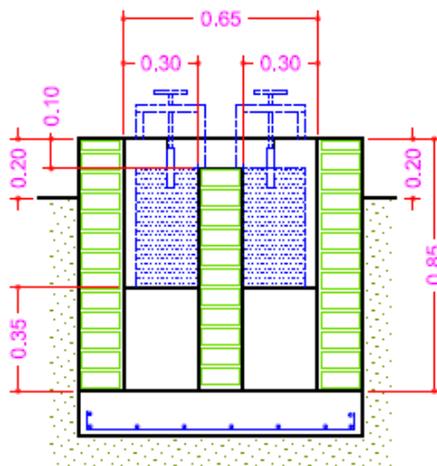
Fonte: Projeto fornecido pela Cooperativa de Laticínios (2017).

Figura 21: Projeto da caixa de areia: Corte A-A.



Fonte: Projeto fornecido pela Cooperativa de Laticínios (2017).

Figura 22: Projeto da caixa de areia: Corte B-B.



Fonte: Projeto fornecido pela Cooperativa de Laticínios (2017).

No dia da primeira visita técnica à Cooperativa de Laticínios, realizada 05 de junho de 2017, foi coletado material fotográfico da estrutura, e da condição da manifestação patológica encontrada no local. A caixa de areia pode ser visualizada na Figura 23, e a seguir, a Figura 24, evidencia a região da estrutura interna da caixa corroída.

Figura 23: Caixa de areia com canais paralelos da Cooperativa de Laticínios.



Fonte: Produção do próprio autor (2017).

Figura 24: Detalhe de estrutura da calha caixa de areia corroída.



Fonte: Produção do próprio autor (2017).

Foi realizada uma entrevista com o técnico responsável pelo sistema de tratamento de efluentes, e com o engenheiro responsável pela Cooperativa de Laticínios, e os mesmos informaram que o fluxo de efluente que escoo pela caixa de areia apresenta elevada velocidade de escoamento, podendo atingir cerca de trinta graus Celsius, e possui uma composição química bastante particular e agressiva.

Para a realização de um diagnóstico preciso para a manifestação patológica, é preciso compreender mais detalhadamente a composição química do efluente de uma indústria de laticínios, e a influência dessas substâncias quando em contato constante com uma superfície de concreto armado, assim como as causas de deterioração de uma estrutura de concreto armado. Após toda essa base teórica, será mais seguro a elaboração de um diagnóstico preciso, e posterior definição de conduta para a manifestação patológica apresentada.

3.1.2 Composição química do efluente de uma indústria de laticínios

Em uma indústria de laticínios, os efluentes líquidos compreendem os efluentes industriais, esgoto sanitário, e águas pluviais coletadas. Em muitos casos, inclusive na Cooperativa de Laticínios, o soro do leite (de pH ácido, podendo ser inferior a 6,0 e cerca de cem vezes mais poluidor que o esgoto doméstico) é descartado juntamente com o efluente líquido, sendo bastante poluidor e agressivo à vários materiais (MACHADO⁴ et al., 2002 apud SILVA, 2006).

Cada indústria de laticínios apresenta suas particularidades, e a composição do efluente gerado vai depender dos processos realizados, do tipo de equipamento utilizado, e do volume de produção. Porém existem processos e operações que são comuns a todas as indústrias de laticínios e que vão gerar efluentes líquidos, como pode ser visualizado no Quadro 3.

⁴ MACHADO, R.M.G.; FREIRE, V.H.; SILVA, P.C.; FIGUERÊDO, D.V.; FERREIRA, P.E. **Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios**. Projeto Minas Ambiente, Belo Horizonte, 224p. 2002 apud SILVA, D. J. P. da. **Diagnóstico do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio**. 2006. 88 f. Tese (Pós-graduação em Ciência e tecnologia de alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

Quadro 3: Operações e processos que geram efluentes líquidos na indústria de laticínios.

Operação ou Processo	Descrição
Limpeza e higienização	<ul style="list-style-type: none"> - Enxágue para remoção de resíduos de leite ou de seus componentes, assim como de outras impurezas, que ficam aderidos em latões de leite, tanques diversos (inclusive os tanques de caminhões de coleta de leite e silos de armazenamento de leite), tubulações de leite e mangueiras de soro, bombas, equipamentos e utensílios diversos utilizados diretamente na produção; - Lavagem de pisos e paredes; - Arraste de lubrificantes de equipamentos da linha de produção, durante as operações de limpeza.
Descartes e descargas	<ul style="list-style-type: none"> - Descargas de misturas de sólidos de leite e água por ocasião do início e interrupção de funcionamento de pasteurizadores, trocadores de calor, separadores e evaporadores; - Descarte de soro, leite e leite ácido (apresenta pH inferior a 6,0) nas tubulações de esgotamento de águas residuais; - Descargas de sólidos de leite retidos em clarificadores; - Descarte de finos oriundos da fabricação de queijos; - Descarga de produtos e materiais de embalagem perdidos nas operações de empacotamento, inclusive aqueles gerados em colapsos de equipamentos e na quebra de embalagens; - Produtos retornados à indústria.
Vazamentos e derramamentos	<p>Vazamentos de leite em tubulações e equipamentos correlatos devido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operação e manutenção inadequadas de equipamentos e tubulações; - Transbordamento de tanques, equipamentos e utensílios diversos; - Negligência na execução de operações, o que pode causar derramamentos de líquidos e de sólidos diversos em locais de fácil acesso às tubulações de esgotamento de águas residuais.

Fonte: Machado⁴ et al. (2002) apud Silva (2006).

O processo de pasteurização e a produção de iogurte, coalhada, bebida láctea, manteiga, requeijão, e queijos pela Cooperativa de Laticínios, produzem os seguintes efluentes líquidos e que entram em contato direto com a caixa de areia, cuja estrutura é de concreto armado: resíduo de leite, gordura, soro, detergente, água de processo, lubrificantes, e sanitizantes.

Todos esses efluentes, acrescido do sistema de limpeza da indústria, que utiliza soluções ácidas e alcalinas, geram um efluente cujo pH pode variar entre 2,0 e 12,0.

Os efluentes líquidos gerados possuem uma concentração considerável dos seguintes elementos: amônia, cloretos, cálcio, magnésio, nitrogênio, fósforo, gorduras, sódio, sólidos suspensos, óleos e graxas. Muitos desses elementos, acrescido de um pH agressivo, e altas temperaturas, apresentam efeito nocivo quando em contato constante com uma estrutura de concreto armado, como será estudado ao longo do trabalho.

4 DIAGNÓSTICO E DEFINIÇÃO DE CONDUTA

Esse capítulo é uma continuação da metodologia adotada nesse trabalho (metodologia proposta por LICHTENSTEIN, 1986), com a elaboração de um possível resultado de diagnóstico para a manifestação patológica estudada neste trabalho, seguida de uma discussão a respeito das possíveis condutas que podem ser adotadas para a resolução do problema.

4.1 DIAGNÓSTICO

A formulação do diagnóstico para a manifestação patológica na caixa de areia da Cooperativa de Laticínios terá como base o material fotográfico registrado, a visita técnica realizada, entrevista com o engenheiro responsável pela Cooperativa, assim como toda a pesquisa realizada no ao longo do item 3.1.3 a respeito das possíveis causas para a deterioração de uma estrutura de concreto armado. Não foi verificada a necessidade de realização de ensaios em laboratório, visto que foi possível o entendimento do problema pelas outras etapas realizadas.

Através da análise da composição do efluente líquido de uma indústria de laticínios, somado ao material levantado sobre as possíveis causas de manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado (apresentado ao longo do item 2.3 da revisão bibliográfica) será possível confluir os dados e formular um diagnóstico específico e preciso sobre a causa da manifestação patológica da caixa de areia da Cooperativa de Laticínios.

O efluente líquido que escoar pela caixa de areia, muitas vezes contém sólidos suspensos, que contribuíram para o processo de erosão do concreto armado, desgastando a superfície, e expondo os agregados (Figura 25). Não foi verificado o fenômeno da cavitação, visto que o efluente não atinge a calha com velocidade e volume capazes de causar esse tipo de desgaste físico.

Figura 25: Desgaste da superfície da estrutura da caixa de areia devido à erosão.



Fonte: Produção do próprio autor (2017).

Foi verificado que pela caixa de areia existe um fluxo praticamente permanente de efluentes que contém: cloretos, ácidos (a exemplo do ácido láctico, e do soro do leite, de pH ácido) e magnésio. O cloreto e o magnésio presentes no efluente podem ter atacado o concreto, revelado pelo aparecimento de manchas esbranquiçadas e eflorescências na superfície (Figura 26).

Figura 26: Ação do ataque de cloretos e do magnésio na caixa de areia.



Fonte: Produção do próprio autor (2017).

O ataque de soluções ácidas no concreto ocasionou a exposição dos agregados na superfície da estrutura (Figura 27), que pode se agravar e atingir a armadura caso nenhuma ação corretiva seja adotada.

Figura 27: Ataque de soluções ácidas na calha caixa de areia.



Fonte: Produção do próprio autor (2017).

4.2 DEFINIÇÃO DE CONDUTA

A definição de conduta e as propostas de soluções para as manifestações patológicas existentes na caixa de areia levarão em conta a viabilidade de execução dentro de um custo aceitável. Serão propostas duas alternativas para a resolução do problema, porém ambas as soluções apresentam a mesma forma de preparação da superfície para posterior procedimento corretivo. O primeiro passo consiste na retirada do material contaminado e deteriorado, a fim de que o material de reparo possa encontrar condições ideais para a aderência.

A proposta que será apresentada tem como métodos de preparação da superfície: o apicoamento do concreto, jatos de água, e jatos de areia.

4.2.1 Apicoamento

Trata-se de um procedimento cujo objetivo é a retirada da camada superficial (até no máximo 10 mm) e danificada da superfície do concreto da caixa de areia. Por se tratar de uma estrutura de área reduzida, o apicoamento manual é indicado. Para o procedimento é necessário os seguintes instrumentos: ponteiro, talhadeira, e marreta leve (1 kg). O procedimento possui um rendimento, que pode variar de acordo com as condições de trabalho,

de 2 a 4 m²/dia. O resultado final deve ser uma superfície rugosa, para permitir melhor aderência do substrato com o futuro reparo. Considerando que a Cooperativa de Laticínios dispõe dos materiais necessários, que são simples, o preço do procedimento dependerá apenas da mão de obra necessária (SOUZA; RIPPER, 2009).

O Sinduscon (2017) estabelece que a mão de obra de um servente tem um custo bruto de R\$4,68/hora. O valor total do serviço de apicoamento dependerá, portanto, apenas do rendimento da mão de obra empregada. A Figura 33 ilustra o procedimento de apicoamento manual.

4.2.2 Jatos de água

Este procedimento consiste na aplicação de jato de água pressurizada, com o objetivo de retirar todo o resíduo gerado pelo apicoamento, e garantir a limpeza da superfície que será tratada. O jateamento necessário para a caixa de areia, é de baixa pressão (inferior a 35Mpa), complementando o apicoamento. O custo do serviço corresponde à mão de obra, ao gasto de água, e ao aluguel da máquina necessária para a produção de jato de água pressurizado, mais conhecido como “lava-jatos” (SOUZA; RIPPER, 2009).

Como visto no item anterior, o Sinduscon (2017) estabelece que a mão de obra de um servente tem um custo bruto de R\$4,68/hora. O valor do aluguel do equipamento vai variar de acordo a cidade onde o procedimento será realizado, e depende também da empresa de locação de equipamentos contratada. Uma cotação realizada no site “AlugaLogo”, revelou que o aluguel de uma lavadora de alta pressão elétrica e de uso industrial tem o custo médio de R\$200,00/diária (cotação realizada no dia 28/10/2017, para a cidade de São Paulo). Como a área a ser tratada é pequena, algumas horas de serviço serão suficientes para a realização do procedimento. A Figura 28 ilustra o procedimento de aplicação de jatos de água.

Figura 28: Aplicação de jatos de água em superfície de concreto.



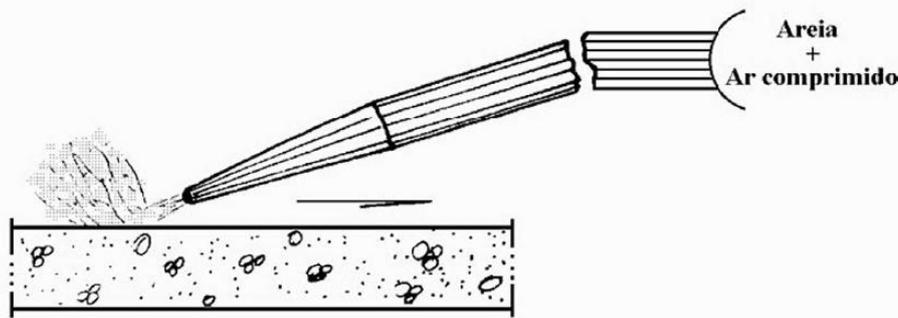
Fonte: Souza; Ripper (2009).

4.2.3 Jatos de areia

É comum aplicação de jatos de água juntamente com jatos de areia para melhor resultado de limpeza e preparação da superfície para o reparo. É utilizado um equipamento tradicional de jato de areia (com uso de ar comprimido), onde é possível ter o controle da pressão aplicada. Além disso, a areia utilizada deve ser limpa, livre de qualquer material orgânico, deve ter granulometria adequada à bitola da mangueira, e não deve ser reaproveitada. O rendimento médio do serviço é de, em média, 10 a 15 m²/hora. No momento do jateamento, é importante manter o movimento na aplicação, para que a mesma não seja localizada e acabe por danificar o concreto (SOUZA; RIPPER, 2009).

É importante a utilização de equipamentos de segurança, como luvas, óculos e roupas de proteção, para que o material abrasivo (areia) não lesione o operador. O serviço de jateamento com uso de material abrasivo, no caso a areia, deve ser realizado por uma empresa especializada e certificada para a realização do procedimento. Nenhuma empresa consultada forneceu o preço do serviço. Como a área a ser tratada é pequena, algumas horas de serviço serão suficientes para a realização do procedimento. A Figura 29 ilustra o procedimento de aplicação de jatos de areia.

Figura 29: Ilustração da aplicação de jatos de areia.



Fonte: Souza; Ripper (2009).

4.2.4 Aplicação de argamassa epoxídica

O reparo pela aplicação de argamassa epoxídica é indicado, visto que a manifestação patológica atinge apenas a camada de cobrimento da armadura, sem atingir camadas mais profundas e nem a armadura.

Após a preparação da superfície com o apicoamento e aplicação de jatos de água e de areia, poderá ser adotado o uso do método de reparo pela aplicação de argamassa epoxídica desde que a superfície esteja livre de qualquer umidade, impureza, óleo, graxa, ou poeira. Além disso, a superfície deve ser áspera, a fim de garantir uma boa aderência da superfície com a argamassa de reparo.

A argamassa epoxídica, como o próprio nome já sugere, é um tipo de argamassa que apresenta como aglomerante uma resina epoxídica. Esse aglomerante, por apresentar alta resistência mecânica e química (meio agressivo), e uma ótima aderência ao concreto, torna a argamassa epoxídica uma excelente alternativa de reparo para a caixa de areia estudada neste trabalho. Outra vantagem desta alternativa está no quesito tempo, já que poucas horas após a aplicação da argamassa epoxídica, a estrutura já pode ser liberada para o uso, ponto extremamente positivo, visto que não afetará a Cooperativa de Laticínios (SOUZA; RIPPER, 2009).

A argamassa epoxídica apresenta elevada resistência à temperaturas elevadas, seu desempenho é inalterado em temperaturas de até 66,5 graus Celsius, o que se torna um ponto positivo, visto que o efluente líquido que percorre a calha caixa de areia pode atingir temperaturas de até cerca de 30 graus Celsius (SOUZA; RIPPER, 2009).

A argamassa é composta de um endurecedor líquido, resina base também líquida, e o agregado em pó, e a sua preparação deverá seguir as instruções fornecidas por cada

fabricante. Com relação à aplicação, o primeiro passo é o uso da mistura (resina mais o endurecedor), na superfície de reparo, com o auxílio de uma trincha ou rolo. Em seguida, a argamassa pode ser aplicada exercendo sobre a superfície uma pressão, de forma a garantir a perfeita aderência entre a superfície base e a argamassa de reparo. O acabamento final pode ser realizado com o uso de uma desempenadeira de aço (SOUZA; RIPPER, 2009).

Um ponto importante se refere à temperatura ambiental. Do início do processo de cura, até seu endurecimento, a temperatura ambiental deve ser superior a 14 graus Celsius. Após esse período, durante 4 horas, a temperatura ambiental deverá ser superior a 32 graus Celsius, o que vai garantir a eficiência do produto final. Portanto, o mais indicado seria a aplicação da argamassa epoxídica durante o dia e no verão, onde são grandes as chances de que a temperatura ambiente atinja valores superiores ao mínimo indicado. Caso contrário, é indicado o uso de aquecedores elétricos, ou luz infravermelha (SOUZA; RIPPER, 2009).

Com relação ao rendimento do produto, foram utilizadas como base as informações fornecidas pela marca Sika, que indica um rendimento médio de para a mistura da argamassa, e de 0,35-0,55 kg/m² para a primeira camada (de resina mais o endurecedor). Com relação ao preço do produto, foi encontrado: R\$75,10 o preço de um saco de 30 kg do agregado em pó, e R\$17,59 o preço de 5 kg da resina epóxi.

4.2.5 Aplicação de manta de fibra de vidro

Por fim, a aplicação da manta de fibra de vidro é um método de reforço extra de reparo, que vai permitir que a estrutura final apresente maior resistência mecânica e maior resistência aos ataques químicos. A aplicação de manta de fibra de vidro não apresenta qualquer função estrutural, tratando-se apenas de uma barreira física, que impede o contato de agentes agressivos com a estrutura de concreto armado, devido a sua baixa permeabilidade. Esse método é indicado para uso na caixa de areia, visto que se trata de uma proteção extra para a estrutura, evitando manutenções que poderiam ser frequentes devido à composição química agressiva do efluente líquido que percorre a estrutura (ADFIBRA, 2013).

Com relação à sua composição, a manta de fibra de vidro é composta de filamentos extremamente finos e flexíveis de vidro, que são agregados com o uso de resinas, silicones, fenóis, e outros compostos que são solúveis em solventes orgânicos. Catalisadores são adicionados para que catalisem o processo de polimerização. Trata-se de um material maleável, podendo ser moldado facilmente na caixa de areia e, além disso, apresentam as

seguintes propriedades: leveza, alta resistência, não apodrece, possui baixa condutividade térmica, elevado isolamento elétrico, incombustibilidade, é reciclável, e versátil (SERCEL, 2015).

Para a aplicação da fibra de vidro, é necessário que a superfície esteja isenta de qualquer sujeira, para garantir a aderência do material. A primeira etapa constitui na aplicação de um primer, uma resina que contém catalisador, com o auxílio de um pincel. Em seguida são aplicadas as mantas de vidro, quantas camadas forem necessárias, sempre passando o pincel com resina para garantir a aderência da manta, e evitar a formação de bolhas de ar. Ao atingir a espessura desejada, após a secagem, a superfície deve ser lixada, para que seja eliminada qualquer ponta saliente. Em seguida, é aplicada uma camada de resina, que vai impedir que a manta de fibra de vidro não entre em contato com agentes agressores. A Figura 30 mostra uma estrutura de concreto armado após a aplicação da manta de fibra de vidro.

Figura 30: Estrutura de concreto armado após a aplicação da manta de fibra de vidro.



Fonte: Adfibra (2013).

Com relação ao custo, segundo a empresa PERCILGLASS, o kit que contém a resina (1 kg), catalisador (20 g), e manta de fibra de vidro (500 g, que corresponde a uma área de cerca de $1,1 \text{ m}^2$), tem o custo médio de R\$42,80. Com relação à mão de obra, o custo médio é o mesmo visto nos itens 4.3.1, 4.3.2, e 4.3.3.

Após a realização de todas as etapas detalhadas ao longo do item 4.3, a superfície de concreto da caixa de areia da Cooperativa de Laticínios será totalmente reparada, com eliminação das manifestações patológicas encontradas, e protegidas do ataque químico do efluente líquido que percorre constantemente a estrutura de concreto armado.

4.3 CUSTO TOTAL DAS INTERVENÇÕES PROPOSTAS

Com relação ao custo total das intervenções propostas, é necessário saber a área total da superfície interna da estrutura de concreto da caixa de areia.

Pelo projeto apresentado nas Figuras 20, Figura 21, e Figura 22, foi possível calcular a área da estrutura que será reparada: 16,04 m². Com relação os procedimentos que foram propostos, o serviço de apicoamento manual terá o custo apenas da mão de obra contratada. Uma diária de 8 horas de serviço de um servente terá o custo bruto total de R\$38,00 (adotando custo bruto de R\$4,68/hora).

A aplicação de jatos de água terá o custo referente a uma diária de mão de obra de servente (R\$38,00), além do custo do aluguel do equipamento. Como o procedimento pode ser realizado em um único dia, o custo do aluguel do equipamento será em torno de R\$200,00. Logo, o custo total da aplicação de jatos de água é de R\$238,00.

A aplicação de jatos de areia apresenta o custo referente à escolha da empresa de serviços contratada. Nenhuma empresa consultada forneceu o valor do serviço.

A aplicação da argamassa epoxídica apresenta custo referente à mão de obra e da argamassa epoxídica. O procedimento, por se tratar de uma área pequena de aplicação, poderá ser realizado em um único dia. O valor da diária do serviço de um servente, como foi visto, apresenta o custo total de R\$38,00. Com relação à argamassa epoxídica, um saco de 30 kg de agregado em pó é suficiente, com rendimento médio de 2,0kg/m²/mm, e o custo médio do saco é de R\$75,10. A resina epoxídica necessária apresenta rendimento médio de 0,35-0,55 kg/m², portanto, serão necessários 2 sacos de 5kg do produto, com custo médio de R\$17,59 cada saco.

Por fim, a aplicação de manta de fibra de vidro revela o custo referente à mão de obra necessária para a aplicação do produto, e o custo referente à manta de fibra de vidro. O valor da diária do serviço de um servente, como foi visto, apresenta o custo total de R\$38,00. O valor da manta de fibra de vidro, mais o catalisador, com rendimento médio de 1,1m², apresenta valor médio de R\$42,80. Portanto, para toda a área da caixa de areia (16,04m²) serão necessários 15 kits com a manta mais o catalisador. O valor total da manta será então de cerca de R\$642,00.

Considerando a aplicação de todos os procedimentos apresentados (exceto a aplicação de jatos de areia, cujo orçamento não pôde obtido), e que cada procedimento será realizado

em um dia diferente, o custo total de todos os procedimentos será de aproximadamente R\$1105,00.

Vale lembrar que o custo total de reparo da estrutura de concreto armado vai variar de acordo com a mão de obra contratadas e também com relação às empresas contratadas para alguém de equipamento e compra dos produtos necessários. Dessa forma, o custo total fornecido é apenas um valor aproximado.

4.4 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho fornece os subsídios necessários para o desenvolvimento de trabalhos futuros, como por exemplo, a aplicação na prática dos procedimentos de reparo para a estrutura de concreto armado, assim como o acompanhamento constante do comportamento da estrutura reparada quando submetidos ao fluxo constante de efluente líquido da Cooperativa de Laticínios.

Outra possibilidade para trabalhos futuros é a de desenvolvimento de um projeto de caixa de areia de um sistema de tratamento de efluentes que leve em consideração todos os fatores que podem ser agressivos à estrutura. Inclusive é interessante a elaboração de uma proposta de estrutura que possa ser construída utilizando-se outro material, outro processo construtivo, e que apresente resistência química mais elevada que o concreto armado, além da elaboração da relação custo-benefício dos diferentes processos construtivos que podem ser propostos, e que poderiam auxiliar para que erros futuros não sejam cometidos.

5 CONCLUSÕES

O estudo de caso apresentado revelou que um conhecimento prévio mais profundo a respeito da composição química do efluente líquido que percorre constantemente a caixa de areia da Cooperativa de Laticínios, poderia evitar a ocorrência da manifestação patológica estudada, já que seria possível saber que o concreto armado utilizado na construção da caixa de areia deveria ser diferenciado, receber tratamentos e aditivos que tornasse a estrutura resistente a um ambiente quimicamente agressivo, evitando a manifestação patológica mostrada, assim como gastos que poderiam ter sido evitados. Além disso o projeto poderia ter previsto a construção da caixa de areia em concreto armado, porém com revestimento em aço inox.

A metodologia escolhida e adotada para a resolução da manifestação patológica do estudo de caso realizado, com a sequência de etapas que devem ser seguidas, proposta por LICHTENSTEIN (1986), se mostrou bastante coerente na resolução do problema estudado. É importante salientar que resolução de um problema também é influenciada pela experiência e habilidade de cada profissional. Apesar do trabalho ter proposto alternativas de intervenção para a solução do problema na estrutura de concreto armado da caixa de areia, as mesmas ainda não foram realmente aplicadas na prática, o que não torna possível saber da real eficiência e sucesso das alternativas propostas.

O estudo bibliográfico e o estudo de caso realizado permitiram a compreensão mais ampla e sólida a respeito da constituição do efluente líquido de uma indústria de laticínios, que apresenta uma constituição química bastante particular e quimicamente agressiva, além dos fatores que possam ser responsáveis pela degradação de uma estrutura de concreto armado, submetida ao contato direto com esse líquido agressivo.

A adoção de uma metodologia com proposta de alternativas de reparo para uma manifestação patológica estudada, como: o apicoamento, aplicação de jatos de água e da areia, além do uso de argamassa epoxídica e manta de fibra de vidro; permitirá a ampliação do número de registros de caso que aborde mais profundamente o tema da patologia na construção civil, uma área que merece mais destaque, maior elaboração e divulgação de registros de casos, e a elaboração de novas metodologias para a resolução das manifestações patológicas, já que se trata de uma área significativamente importante para a engenharia civil, e que tem gerado elevados custos que poderiam ser evitados.

REFERÊNCIAS

AD FIBRA – Serviços. **Revestimento e impermeabilização com fibra de vidro**. Disponível em: < <http://www.adfibra.com.br/servicos.html>>. Acesso em: 14 out. 2017.

AGUIAR, J. E. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. 2006. 173 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

ALMEIDA, L. U. S. **Corrosão em armaduras de concreto: verificação do processo corrosivo em postes de concreto armado no Conjunto Feira VI, Feira de Santana – BA**. 2012. 72 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

ALUGALOGO. **Aluguel de lavadora alta pressão elétrica (industrial)**. Disponível em: < https://alugalogo.com.br/aluguel-lavadora-de-alta-pressao-eletrica_industrial>. Acesso em: 28 out. 2017.

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no Estado do Pernambuco**. 1997. 139 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ARIVABENE, A, C. Patologia em estruturas de concreto armado: estudo de caso. **Revista Especialize Online IPOG**. Goiânia, v. 01, n. 10, p. 5-6, dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Faculdade de Engenharia de Bauru/UNESP, 2006. 92 f. (notas de aula – Estruturas de Concreto I).

BASTOS, P, S, S. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. Bauru: Faculdade de Engenharia de Bauru/UNESP, 2006. 15 f. (notas de aula – Sistemas Estruturais I).

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de Edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. 2.ed. Brasília: Editora Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 307 p.

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

CEB –Comite Euro-International du Béton. **Durable concrete structures**. Bulletin d’information n.183. Lousanne, Suíça: Editora Thomas Telford Services, 1992. 112 p.

CLÍMACO, J, C, T, S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2.ed. Brasília: Editora UnB, 2008. 410 p.

EBANATAW, R, M. **Fissuras e trincas**. Disponível em: <<http://www.ebanataw.com.br/roberto/patologias/trincas.htm>> Acesso em 15 jul. 2017.

FIBER SALS. **Impermeabilização em paredes: como fazer para acabar com a infiltração**. Disponível em: < <https://fibersals.com.br/blog/impermeabilizacao-em-paredes-como-fazer/>>. Acesso em: 04 set. 2017.

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais; FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Guia técnico ambiental da indústria de laticínios**. 2014. 70 p.

FREITAS JÚNIOR, J, A. **Materiais de Construção: durabilidade do concreto**. Setor de Tecnologia, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2013.

GAIER, C, V. **Análise do desempenho de materiais de reparo industrializados para estruturas de concreto frente ao ataque ácido**. 2005. 150 f. Trabalho de Conclusão (Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GUSS, J. **Tratamento de esgoto: parte dois**. Disponível em: <http://www.josianeguss.com/2011/11/tratamento-de-esgoto-parte-ii.html>. Acesso em: 27 out. 2017.

HELENE, P. R. L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 1992. 119 p. Disponível em : <https://www.passeidireto.com/arquivo/16417604/manual_pratico_para_reparo_e_reforco_de_estruturas_de_concreto_paulo_helene>. Acesso em 13 jul. 2017.

FREITAS JÚNIOR, J, A. **Materiais de Construção: durabilidade do concreto**. Setor de Tecnologia, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, 2013.

LAPA, J, S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LICHTENSTEIN, N, B. **Patologia das construções**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, Boletim Técnico n^o 06, 1986.

MACEDO, E. A. V. B. **Patologias em obras recentes de construção civil: análise crítica das causas e consequências**. 2017. 112 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

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

MATOS, J, C. **Tratamento de esgoto sanitário**. Manaus, Curso de Química Industrial, Universidade Guarulhos, 2010.

MEDEIROS, H. Doenças concretas: conheça as principais causas de patologias de concreto provocadas por elementos químicos presentes no ar e na água. **Téchne**. v. 160, jul. 2010. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/160/artigo287763-1.aspx>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

MEHTA, P, K; MONTEIRO, P, J, M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p

MILITITSKY, J; CONSOLI, N, C; SCHNAID, F. **Patologia das fundações**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2005. 208 p.

MOREIRA, C. **Recalibração de estruturas de concreto carbonatado com utilização de gel saturado de solução alcalina**. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

NEVILLE, A. Consideration of durability of concrete structures: Past, present, and future. **Materials and Structures**. v. 134, mar. 2001. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02481560>>. Acesso em: 25 jul. 2017.

OLIVEIRA, D. F. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. 2013. 97 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PERCILGLASS – Resinas e fibra de vidro. **Resina para laminação (mais catalisador)**. Disponível em: < <http://www.percilglass.com.br/resina-para-laminacao-prod.html>>. Acesso em: 15 out. 2017.

PEREIRA, N, B. Movimentação Térmica em lajes de coberturas. **Houselab**. Jul. 2015. Disponível em: < <http://houelab.pt/movimentacao-termica-lajes-cobertura>>. Acesso em 22 ago. 2017.

PINA, G. L. **Patologia nas habitações populares**. 2013. 86 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PINHEIRO, L, M; MUZARDO, C, D; SANTOS, S, P. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Curso de Estruturas de Concreto – Capítulo 1. Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

RIPPER, T; SOUZA, V, C, M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 2009. 257 p.

SABBATINI, F, H. et al. **Patologia das construções: conceitos iniciais e metodologia**. Aula 29. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SANTOS, M. R. G. **Deterioração das estruturas de concreto armado**: estudo de caso. 2012. 109 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SERCEL – **Soluções em fibras. Fibra de vidro**: O que é e para que serve. Disponível em: <<http://www.sercel.com.br/blog/fibra-de-vidro-blog/fibra-de-vidro-o-que-e-e-para-que-serve.html>>. Acesso em: 14 out. 2017.

SIKAFLOOR-161. **Resina epóxi para imprimação e argamassa de regularização**. Ficha de Produto. Edição 10/05/2016. Identificação n^o: 02 08 01 02 007 0 000004. 2006. 5 p.

SILVA, F, B. Patologia das construções: uma especialidade na Engenharia Civil. **Téchne**. v. 174, set. 2011. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenhariacivil/174/artigo285892-3.aspx>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil. **Tabela de salarial 2017**. Disponível em: <<http://www.sindusconjp.com.br/servicos/tabelas-salarias>>. Acesso em: 13 out. 2017.

SOUSA, A. P. **Levantamento de patologias em obras residenciais de baixa renda devido à ausência de controle tecnológico dos materiais**. 2014. 58 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. 2010. 84 f. Dissertação (Pós-Graduação em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

VILASBOAS, J, M, L. **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador**: uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003. 2004, 229 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

WEISZFLOG, W. **Michaelis Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. 1^a Edição. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2004. 2268 p.

ZATTONI, C, C. **Dimensionamento de caixas de areia**. São Paulo, Curso de Hidráulica e Saneamento, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2008.

ZUCHETTI, P. A. B. **Patologias da construção civil**: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS. 2015. 114 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.