

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

ARYELLE NAYRA AZEVEDO SILVA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
CONCRETO ARMADO ENCONTRADAS NO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

**CAMPINA GRANDE
AGOSTO DE 2017**

ARYELLE NAYRA AZEVEDO SILVA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
CONCRETO ARMADO ENCONTRADAS NO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Campina Grande
como requisito para obtenção do título de
Bacharela em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas e Construção Civil

Orientador: Prof. MSc. Macel Wallace Queiroz Fernandes

CAMPINA GRANDE

AGOSTO DE 2017

ARYELLE NAYRA AZEVEDO SILVA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE
CONCRETO ARMADO ENCONTRADAS NO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Campina Grande
como requisito para obtenção do título de
Bacharela em Engenharia Civil.

Campina Grande, 25 de agosto de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. MSc. Macel Wallace Queiroz Fernandes

Examinador Externo: Prof. MSc. Adney José Duarte de Souza

Examinador Interno: Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza Simplício

Aos meus pais, Marli e Luiz, por todo amor e esforço,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre atender minhas preces e por me mostrar que com esforço e dedicação, no tempo certo, nossos desejos são concretizados.

Aos meus pais, Marli e Luiz, que sempre colocarem minha educação e a do meu irmão em primeiro lugar; todo amor, compreensão e esforço de vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Obrigada por abrirem mão dos sonhos de vocês para realizarem o meu.

Ao meu irmão Aryan, por dividir comigo as responsabilidades que temos dentro da nossa família e por acreditar no meu potencial; mesmo sem dizer, sei que se sente orgulhoso de mim.

A toda minha família, em especial a minha Tia Nelma (in memoriam), sei que onde estiver se sente feliz ao me ver chegar na reta final de uma caminhada que não foi fácil. Obrigada por toda admiração que a senhora sempre demonstrou ter por mim e por ser um exemplo de fé e perseverança para todos que conheceram a sua história.

Aos amigos que fiz no curso, pelo convívio, pelos laços que foram criados, pela ajuda do início ao fim da graduação, que nos momentos difíceis conseguiram transformar o pranto em riso. Espero levar a amizade de vocês para o resto da minha vida pessoal e profissional, em especial: Wagner, Daniel, Ivens, Gibran, Natalie, João Victor e Vicenthe.

Aos meus amigos de infância, Igor e Nathan, os quais sempre pude contar para qualquer que fosse a situação. A Igor, obrigada por me ajudar em todos os segmentos da minha vida, por sempre me ouvir, por me ajudar na correção deste trabalho, por tudo, obrigada! A Nathan, obrigada por ser aquela pessoa que não precisa de conversas e encontros diários para ser meu amigo. Vocês me fazem lembrar do quanto um dia eu desejei as coisas que tenho hoje.

Ao meu orientador, Professor Macel, que mesmo não tendo sido meu professor nas disciplinas da graduação, aceitou me orientar neste trabalho, desde o projeto de pesquisa até esta versão final, sempre acolhendo minhas sugestões da melhor forma possível.

A toda Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG, em especial aos que foram meus professores. Obrigada por tudo que me ensinaram, sinto-me muito orgulhosa por ter sido aluna dessa instituição.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, o meu sincero: muito obrigada!

“Vinde a mim, todos os que estais cansados e sobrecarregados, e eu vos aliviarei”.

Mateus, 11:28

RESUMO

O presente trabalho trata das principais manifestações patológicas encontradas em elementos estruturais de concreto armado do Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, tendo como objetivo analisá-las, diagnosticando suas possíveis causas e origens, e propondo um tratamento para reparo adequado. Para isso, foi feita uma revisão bibliográfica abordando as fases onde os problemas patológicos podem surgir, os principais mecanismos de deterioração e técnicas de limpeza, recuperação e reforço. Em seguida, são apresentados estudos de caso em três edificações, identificando problemas patológicos por meio de inspeção visual e classificando a partir do método GUT quais situações precisam de correção com maior urgência; assim como também, identificar se o problema foi originado na fase de projeto, execução, uso ou se foi devido aos materiais de construção utilizados. Por fim, fez-se a análise dos resultados dos estudos realizados, estabelecendo uma comparação entre as estruturas avaliadas e apontando a(s) fase(s) que desenvolve(m) patologia com maior frequência.

Palavras-chave: manifestações patológicas, concreto armado, método GUT.

ABSTRACT

The present work deals with the main pathological manifestations found in structural elements of reinforced concrete in the Campus I of the Federal University of Campina Grande, with the objective of analyzing them, diagnosing their possible causes and origins, and proposing a treatment for adequate maintenance. For this, a bibliographic review is made addressing the phases where pathological problems may arise, the main deterioration mechanisms, and cleaning, recovery and reinforcement techniques. Next, case studies are presented in three buildings, identifying pathological problems through visual inspection and classifying with the GUT method which situations need to be corrected with greater urgency; As well as to identify if the problem originated in the design phase, execution, use or if it was due to the construction materials. Finally, the results of the studies performed are analyzed, establishing a comparison between the evaluated structures and indicating the phase(s) that develops pathology more often.

Keywords: pathological manifestations, reinforced concrete, GUT method

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos	19
Figura 2: Evolução dos custos de intervenção em função da fase da vida da estrutura	23
Figura 3:Trincas de flexão em elementos de concreto armado.	31
Figura 4: Trincas de cisalhamento em viga	32
Figura 5: Fissuração devido à torção.....	32
Figura 6: Trincas de compressão.....	33
Figura 7: Trincas devido à punção	34
Figura 8: Fissuras de retração em vigas e lajes.	35
Figura 9: Fissuração por recalque diferencial dos apoios	36
Figura 10: Corrosão em armaduras de laje.....	37
Figura 11: Ataque biológico a pilar de concreto armado	40
Figura 12: Apicoamento mecânico (à esquerda) e apicoamento manual	45
Figura 13:Preparação da fenda para o procedimento de injeção	48
Figura 14: Processo de furação para colocação dos tubos de injeção.	48
Figura 15: Processo de injeção de fissuras.	49
Figura 16: Reparo de fissura através do método da costura	50
Figura 17: Detalhe da fôrma "cachimbo"	52
Figura 18:Detalhe da adição de novas barras para complementação da seção de armadura perdida em uma viga.	54
Figura 19: Viga preparada para receber reforço com concreto projetado	55
Figura 20: Reforço em chapas metálicas, só com colagem (à esquerda) e também com chumbamento.	56
Figura 21: Reforço por chumbamento de perfis metálicos	56
Figura 22: Reforço estrutural com chapas de aço coladas.	57
Figura 23: Vista frontal do bloco CS	62
Figura 24: Região úmida próximo ao pilar	64
Figura 25: Manifestação patológica no Pilar 12 do Bloco CS	64
Figura 26: Ataque biológico ao pilar 31 do Bloco CS	66
Figura 27: Manifestações patológicas no pilar 30 do bloco CS	68
Figura 28: Manifestação patológica no pilar 15 do Bloco CS	70
Figura 29: Vista frontal do Bloco CV	71
Figura 30: Manifestação patológica em viga do Bloco CV	72
Figura 32: Manifestação patológica em laje do Bloco CV	73
Figura 33: Manifestação patológica em pilar do Bloco CV	75
Figura 34: Bloco CA	76
Figura 35: Manifestação patológica em laje do Bloco CA	77
Figura 36: Manifestação patológica em viga do Bloco CA	78
Figura 37: Gráfico das origens dos problemas patológicos	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto	22
Quadro 2: Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto	27
Quadro 3: Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto	28
Quadro 4: Processos físicos de deterioração	29
Quadro 5: Fluxograma genérico para diagnose de uma estrutura convencional	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução do comportamento do concreto em função da elevação da temperatura ambiente	39
Tabela 2: Matriz GUT	60
Tabela 3: Matriz GUT para o Pilar 16 do Bloco CS	64
Tabela 4: Matriz GUT para o pilar 31 do Bloco CS	66
Tabela 5: Matriz GUT para o pilar 30 do Bloco CS	68
Tabela 6: Matriz GUT para o pilar 15 do Bloco CS	70
Tabela 7: Matriz GUT para viga no Bloco CS	72
Tabela 8: Matriz GUT para laje do Bloco CV	73
Tabela 9: Matriz GUT para pilar do Bloco CV	75
Tabela 10: Matriz GUT para laje do bloco CA	77
Tabela 11: Matriz GUT para viga do Bloco CA	79
Tabela 12: Origem dos problemas patológicos	80
Tabela 13: Ordenação dos problemas patológicos de acordo com o método GUT	81

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Concreto armado	17
3.2 O conceito de desempenho	18
3.3 Vida útil e durabilidade	20
3.4 Patologia do concreto armado	21
.....	23
3.4.1 Patologias geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto)	24
3.4.2 Patologias geradas devido aos materiais de construção	24
3.4.3 Patologias geradas na etapa de execução da estrutura (construção)	25
3.4.4 Patologias geradas na etapa de utilização da estrutura (manutenção).....	25
3.4.5 Causas da deterioração das estruturas	26
3.4.5.1 Causas intrínsecas.....	26
3.4.5.2 Causas extrínsecas	27
3.4.6 Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto	28
3.4.6.1 Fissuração	29
3.4.6.2 Desagregação do concreto	38
3.4.6.3 Carbonatação do concreto	40
3.4.6.4 Perda da aderência	41
3.5 Diagnóstico de patologias em estruturas de concreto armado	42
3.6 TÉCNICAS DE LIMPEZA, REPARO E REFORÇO	44
3.6.1 Intervenções em superfícies de concreto	44
3.6.1.1 Polimento.....	44
3.6.1.2 Apicoamento.....	44
3.6.2 Lavagens.....	45
3.6.2.1 Lavagens com soluções ácidas	45
3.6.2.2 Lavagens com soluções alcalinas	45
3.6.2.3 Lavagens com jatos de areia e de água	46
3.6.2.4 Escovação manual	46
3.6.3 Tratamento de fissuras	46

3.6.3.1	Injeção de fissuras	47
3.6.3.2	Costura das fissuras (método do grampeamento).....	49
3.6.4	Reparos com argamassa, concretos e grautes base cimento Portland	50
3.6.4.1	Argamassa de cimento e areia	51
3.6.4.2	Reparos com adições poliméricas.....	51
3.6.4.3	Reparos com concreto convencional	52
3.6.4.4	Reparos com graute	53
3.6.5	Reforço em estruturas de concreto armado.	53
3.6.5.1	Reforço mediante aumento da seção transversal	53
3.6.5.2	Reforço com adição de chapas e perfis metálicos	55
3.6.5.3	Reforço com chapas de aço	57
3.6.5.4	Reforço com perfis metálicos	58
4.	METODOLOGIA	59
5.	ESTUDOS DE CASO	62
5.1	Caso 1 - Bloco CS	62
5.1.1	Pilar 12	63
5.1.2	Pilar 31	66
5.1.3	Pilar 30	67
5.1.4	Pilar 15	69
5.2	Caso 2 - Bloco CV	71
5.2.2	Laje do laboratório de saneamento.....	73
5.2.3	Pilar no Bloco CV	74
5.3	Caso 3 – Bloco CA	76
5.3.1	Laje no corredor do primeiro andar.....	76
5.3.2	Viga no térreo do Bloco CA.....	78
5.4	Patologia segundo suas origens	79
5.5	Situação dos blocos segundo o Método GUT	81
6.	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	82
6.1	Conclusões	82
6.2	Sugestões para futuras pesquisas	83
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil esteve em constante progresso ao longo dos últimos anos; seja através do desenvolvimento de novos materiais, da adoção de novas técnicas - ou aperfeiçoamento das técnicas já existentes - ou ainda da maior precisão de cálculo, dimensionando elementos estruturais cada vez mais esbeltos. Acompanhando essa evolução, aumentou-se também a preocupação por parte dos profissionais da área com a durabilidade das estruturas de concreto armado, que até a década de 80 era baseada apenas no bom senso e na experiência do projetista.

No Brasil existem normalizações, aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelecem critérios afim de aumentar os níveis de segurança, qualidade e vida útil das edificações, e conseqüentemente, diminuir a incidência de erros e patologias nas construções. Entretanto, na tentativa de reduzir custos (devido ao gasto para contratar funcionários especializados que saibam aplicar as normas) ou para economizar tempo de execução, a utilização das normas técnicas é muitas vezes negligenciada por parte dos proprietários e construtores.

Para SOUZA e RIPPER (1998) pode ser definido por patologia das estruturas o campo da engenharia das construções que se ocupa das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Diferentes pesquisadores têm tentado relacionar, percentualmente, as causas para o surgimento de problemas patológicos no concreto. Apesar dos valores diferirem entre os autores, a grande maioria aponta planejamento, projeto, materiais utilizados, execução e uso, como as principais causas para o surgimento de patologias nas estruturas.

Problemas patológicos com origem na fase de concepção podem advir de inúmeras situações, como falhas durante os estudos preliminares, cargas ou tensões não levadas em consideração no cálculo estrutural, ambientes agressivos não considerados no projeto, baixo cobrimento das armaduras ou até mesmo através de detalhes mal especificados; onde quanto mais tarde for a correção da falha, maior será o seu custo.

No decorrer da execução podem surgir situações de diversas naturezas, desde condições climáticas desfavoráveis para o andamento dos serviços até a falta de mão-de-obra qualificada, com potencial gerador de erros. No Brasil o processo construtivo é muito afetado, por refletir,

de imediato, os problemas socioeconômicos instalados no país, que provoca baixa qualidade técnica dos trabalhadores da construção civil.

Outro problema durante a execução de estruturas é o baixo controle tecnológico dos materiais de construção empregados. Alguns materiais possuem normatização, mas existe uma deficiência por parte dos órgãos de fiscalização responsáveis para se manter o controle sob o padrão de qualidade destes materiais. Além disso, no dia-a-dia da obra as condições de armazenamento muitas vezes são precárias; mesmo a estocagem sendo por curtos períodos de tempo, é comum encontrar materiais como areia, cimento, graute, etc. armazenados de forma incorreta.

Ao longo de sua vida útil a edificação não estará menos passível ao surgimento de patologia. Esta fase tem como fator agravante o baixo número ou até mesmo ausência de serviços de manutenção nas obras civis, indispensáveis para a conservação das estruturas, que por muitas vezes vistos como gastos improdutivos e de baixa prioridade.

A falta de manutenção faz com que pequenos reparos patológicos, que teriam um menor custo durante uma fase de manutenção preventiva, venham a ter um custo muito mais elevado durante a fase de manutenção corretiva. Além do custo, a manutenção tardia irá necessitar de mais tempo para ser executada, gerando um maior desconforto para quem utiliza a edificação.

O tema escolhido se justifica pela sua amplitude, pela complexidade na identificação das causas e origens dos problemas patológicos das construções, e devido a deficiência de formação e preparo dos profissionais que atuam no setor da construção civil nos diferentes níveis: desde a fase de concepção do projeto até a manutenção das obras civis.

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um estudo acerca das patologias nas estruturas de concreto armado, apresentando as principais causas para o surgimento das mesmas e as medidas corretivas mais adequadas para reparar o problema.

A área do estudo em questão será o Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, onde existe um grande número de peças de concreto armado com diversos tipos de patologias. Algumas dessas estruturas recebem reparos por parte da equipe de manutenção do campus, porém, quando isso ocorre, na maioria das vezes, não é em concordância com o que é proposto pela literatura. Fazendo com que a estrutura não seja devidamente recuperada e a patologia continue ali presente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar estudos de caso sobre manifestações patológicas em elementos estruturais de concreto armado encontradas em algumas edificações do campus I da Universidade Federal de Campina Grande.

2.2 Objetivos Específicos

- Tipificar algumas manifestações patológicas encontradas no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande;
- Identificar as prováveis causas e origens das manifestações patológicas abordadas neste trabalho;
- Propor possíveis medidas para a recuperação dos elementos estruturais estudados;
- Servir como base para inspeções e futuros trabalhos sobre patologia na Universidade Federal de Campina Grande.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece como condições gerais que as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade estabelecidos na norma durante sua construção e serviço, e aos requisitos adicionais estabelecidos em conjunto entre o projetista estrutural e o contratante.

Em conformidade com a norma citada, tem-se três requisitos de qualidade de uma estrutura de concreto: capacidade resistente, que consiste basicamente na segurança à ruptura; desempenho em serviço, que vem a ser a capacidade da estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, sem que apresente danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada; e por fim o requisito de durabilidade, que consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo projetista estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

3.1 Concreto armado

O concreto é um material de construção resultante da mistura em proporção adequada de cimento, agregados, água e, em alguns casos, adições e/ou aditivos. O concreto, por si só, é capaz de resistir bem às tensões de compressão de uma estrutura, por outro lado, possui baixa resistência à tração.

Para que o concreto possa resistir bem aos esforços solicitantes, é adicionado ao mesmo um sistema de barras de aço, que compõem a armadura do elemento estrutural. Em resumo, o concreto armado pode ser definido como a união entre o concreto simples e um material resistente à tração, de tal modo que ambos resistam solidariamente às tensões de tração e compressão.

É importante ressaltar o conceito de aderência. Este fenômeno deve existir obrigatoriamente entre o concreto e armadura, para que haja uma real solidariedade entre ambos materiais, a fim de que estes trabalhem de forma conjunta. Segundo CLÍMACO (2005), essa associação aproveita as principais vantagens de ambos, concreto e aço, quanto à resistência, à durabilidade e ao custo, destacando-se a boa resistência à compressão do concreto e a elevada resistência a tração do aço.

Como todo material de construção, o concreto armado apresenta vantagens e desvantagens quanto ao seu uso estrutural. De acordo com CARVALHO e FIGUEIREDO (2011), as principais vantagens e desvantagens são:

Vantagens:

- Apresenta boa resistência à maioria das solicitações;
- Tem boa trabalhabilidade, quando em estado fresco e, por isso, adapta-se a várias formas;
- As técnicas de execução são razoavelmente dominadas em todo o país;
- É um material durável, desde que seja bem executado;
- Apresenta durabilidade e resistência ao fogo superiores em relação à madeira e ao aço, desde que os cobrimentos e a qualidade do concreto estejam de acordo com as condições do meio em que está inserida a estrutura;
- Em diversas situações é economicamente mais viável que estruturas de aço;
- É resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e desgastes mecânicos.

Desvantagens:

- Resulta em elementos com maiores dimensões que o aço, o que, com seu peso específico elevado, ocasiona um peso próprio muito grande, limitando o seu uso em determinadas situações ou elevando bastante o seu custo;
- As adaptações e reformas são, muitas vezes, de difícil execução;
- É bom condutor de calor e som, determinando, em casos específicos, associação com outros materiais para sanar esses problemas;
- É necessário um sistema de fôrmas e escoras, que, geralmente, precisa permanecer no local até que o concreto alcance resistência adequada;

3.2 O conceito de desempenho

Nos dias atuais tem-se o conhecimento de que o concreto é um material de construção instável, que sofre alterações físicas e químicas ao longo do tempo em função das características dos seus componentes e das respostas destes às exposições ao meio ambiente. A essas

alterações, que podem vir a comprometer o desempenho de uma estrutura, costuma-se chamar deterioração, e os elementos agressores, agentes de deterioração.

Os materiais se comportam de formas distintas quando expostos aos agentes de deterioração. A análise desse fenômeno permite o julgamento da estrutura ou do material, admitindo que seja considerado satisfatório quando houver uma resposta positiva entre seu custo inicial, o nível de deterioração, sua vida útil e seu custo de recuperação.

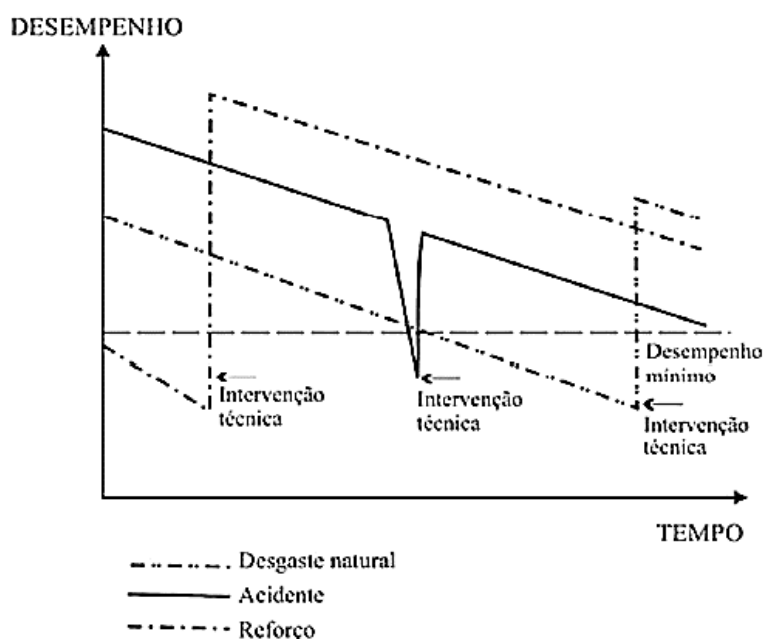
Vida útil pode ser definido como o período de tempo no qual uma estrutura ou qualquer um de seus componentes atendem os requisitos de desempenho do projeto, sem que seja necessário ações imprevistas de manutenção ou reparo.

Já por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. (SOUZA e RIPPER, 1998).

Mesmo existindo um programa de manutenção bem definido, as estruturas podem sofrer deteriorações. Muitas vezes, por falhas de projeto ou execução, algumas estruturas já mostram desempenho insatisfatório nos primeiros anos após sua construção.

É importante ressaltar que um desempenho insatisfatório não implica na demolição da edificação. O estudo das manifestações patológicas nas estruturas tem como um dos seus objetivos, fazer a avaliação desta situação, para que seja feita uma intervenção técnica imediata, podendo assim, reabilitar a estrutura.

Figura 1: Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Na figura 1 acima, são representadas de forma genérica três diferentes casos de desempenhos estruturais, ao longo das vidas úteis em função do tempo e ocorrência de fenômenos patológicos. Visualizando a imagem fica claro que a melhor situação é aquela na qual o projeto é bem desenvolvido e executado de forma correta, diminuindo a taxa de deterioração e facilitando o trabalho de manutenção da estrutura.

3.3 Vida útil e durabilidade

Existe uma proximidade entre os conceitos de vida útil e durabilidade que, às vezes, leva à utilização equivocada dos termos. Pode-se considerar que a vida útil é a quantificação da durabilidade que se supõe ser apenas uma qualidade da estrutura. A vida útil pode também ser entendida como o período de tempo durante o qual a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada (DA SILVA, 2002).

Para HELENE et. al (2011) durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, dependendo de sua forma de utilização.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) afirma que durabilidade é a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais presumidas e definidas em conjunto com o autor do projeto e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração dos projetos. Já vida útil, a norma define como sendo o período de tempo o qual se mantém as características das estruturas de concreto, desde que satisfeitos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e construtor, assim como de execução dos reparos decorrentes de danos acidentais.

Assim, considera-se que um material chegou ao fim de sua vida útil quando suas propriedades, sob dadas condições de uso, se deterioram a tal ponto que a continuação do uso desse material é considerada insegura ou antieconômica (ANDRADE, 1997 *apud* GONÇALVES, 2015).

Por muito tempo o concreto foi considerado um material extremamente durável, devido a algumas obras muito antigas ainda encontrarem-se em bom estado, porém a deterioração precoce de estruturas recentes remete aos porquês das patologias do concreto (BRANDÃO & PINHEIRO, 1999 *apud* SILVA, 2011).

3.4 Patologia do concreto armado

Devido à suas inúmeras vantagens, o concreto armado é um material utilizado em larga escala pela indústria da construção civil. Apesar de ser considerado por muitos um processo construtivo fácil e simples, a preparação do concreto armado requer certos cuidados para assegurar seu desempenho e prolongar sua vida útil.

O bom desempenho de uma peça de concreto armado envolve uma execução correta, envolvendo estudo do traço, dosagem, manuseio e cura adequados. Além disso, é necessário também manutenções periódicas e prevenção contra agentes agressivos. A maioria das patologias nas estruturas de concreto ocorre por falta de tais cuidados, comprometendo a segurança e eficiência da edificação.

Entende-se por patologia do concreto armado a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas construídas com esse material. Lembrando que para um dano qualquer, existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra, tais como pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso (HELENE, 1988 *apud* TRINDADE, 2015).

Com exceção dos casos onde ocorreram catástrofes naturais, em que a violência das solicitações associada com a imprevisibilidade das mesmas será o fator preponderante, os problemas patológicos têm suas origens motivadas por falhas que ocorrem durante uma ou mais etapas das atividades inerentes à construção civil: concepção/projeto, execução e utilização.

Diversos autores procuram definir qual a atividade que tem sido responsável, ao longo dos tempos, pela maior quantidade de erros. As conclusões, como é possível ver no Quadro 1 abaixo, nem sempre são concordantes, o que se justifica primeiramente porque os estudos foram realizados em diferentes continentes, e, em segunda instância, porque em alguns casos as causas são tantas que pode ter sido difícil definir a preponderante. (SOUZA e RIPPER, 1998).

Quadro 1: Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto

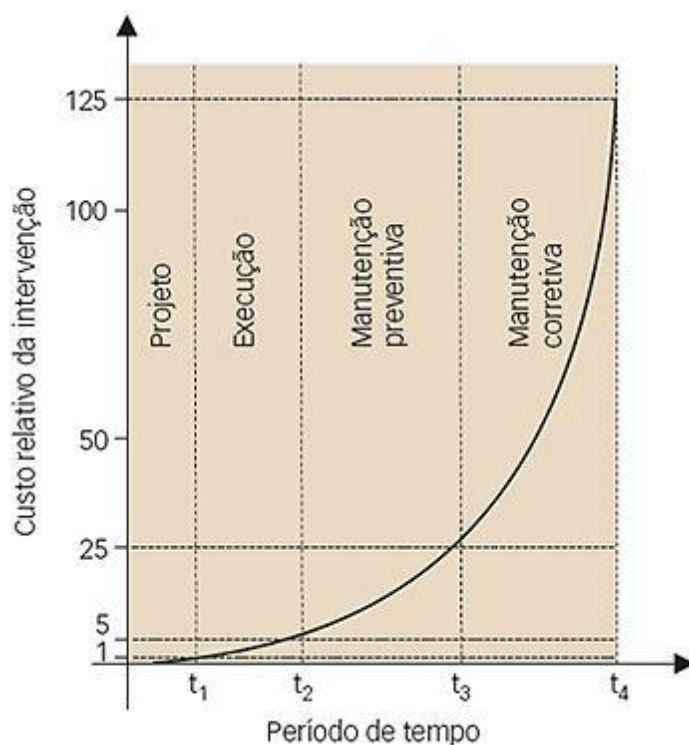
FONTE DE PESQUISA	CAUSAS DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO			
	Concepção e Projeto	Materiais	Execução	Utilização e Outras
Edward Grunau Paulo Helene (1992)	44	18	28	10
D. E. Allen (Canadá) (1979)	55	49		
C.S.T.C (Bélgica) Verçoza (1991)	46	15	22	17
C.E.B. Boletim 157 (1982)	50	40		10
Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado Verçosa (1991)	18	6	52	24
B.R.E.A.S. (Reino Unido) (1972)	58	12	35	11
Bureau Securitas (1972)	88			12
E.N.R. (U.S.A.) (1968 – 1978)	9	6	75	10
S.I.A. (Suíça) (1979)	46		44	10
Dov Kaminetzky (1991)	51	40		16
Jean Blévo t (França) (1974)	35		65	
L.E.M.I.T. (Venezuela) (1965 – 1975)	19	5	57	19

Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

As dificuldades técnicas e o custo para solucionar um problema patológico são diretamente proporcionais à “antiguidade da falha”, o que significa que quanto mais cedo for identificada e corrigida a falha, menores serão os custos e o tempo de execução do reparo.

Conforme DAIHA (2004 *apud* SILVA, 2010), a evolução de tais custos pode ser assimilada ao de uma progressão geométrica de razão 5, conhecida por lei dos 5 ou regra de Sitter, conforme expressa a Figura 2.

Figura 2: Evolução dos custos de intervenção em função da fase da vida da estrutura



Fonte: CEB – Comité Euro-Internacional Du Béton (1984 *apud* SILVA, 2010)

HELENE (2009 *apud* SILVA, 2010), explica como funciona a “lei” dos 5 ou regra de Sitter, de acordo com a fase de intervenção:

Fase de projeto: corresponde a toda e qualquer medida tomada na fase de projeto, com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura.

Fase de execução: toda medida extra-projeto, adotada durante a fase de execução propriamente dita, incluindo nesse período a obra recém-construída, implica 5 (cinco) vezes o custo que acarretaria tomar uma medida equivalente na fase de projeto, para obter-se o mesmo grau de durabilidade da edificação.

Fase de manutenção preventiva: todas as medidas tomadas com previsão e antecedência, durante o período de uso e manutenção do empreendimento, podem custar até 25 vezes o valor das equivalentes, corretamente adotadas na fase de projeto.

Fase de manutenção corretiva: corresponde aos trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam manifestações patológicas, ou seja, necessidade de correção de problemas evidentes. A tais atividades podem ser associados custos 125 (cento e vinte e cinco) vezes superiores àqueles de medidas que poderiam ter sido tomadas,

na fase de projeto, e que proporcionariam o mesmo grau de proteção e durabilidade que se espera, da obra, após a intervenção.

3.4.1 Patologias geradas na etapa de concepção da estrutura (projeto)

As falhas originadas nesta etapa podem ocorrer durante o estudo preliminar, na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução, também chamado de projeto final de engenharia.

Lista-se a seguir exemplos de problemas originados na etapa de concepção da estrutura:

- Má definição das ações atuantes ou combinação mais desfavorável para a estrutura;
- Falta de compatibilização entre os projetos de engenharia;
- Especificação inadequada dos materiais;
- Detalhamento insuficiente ou errado;
- Falta de padronização das representações (convenções);
- Erros de dimensionamento;
- Deficiência no projeto de fundações, podendo levar, por exemplo, a recalques inesperados ao longo da construção e nos primeiros anos de vida da edificação;

3.4.2 Patologias geradas devido aos materiais de construção

Os materiais de construção são outro fator importante a ser considerado na análise do surgimento de problemas patológicos. A indústria de materiais e componentes é bastante independente da indústria de construção civil. Dessa forma, a qualidade de uma obra da construção civil fica dependente do grau de evolução técnica alcançado pela indústria de materiais, porém, tendo muito pouca ou nenhuma interferência sobre a mesma.

Além do problema da evolução técnica, existe também a ausência de normatização para a fabricação de alguns de materiais, e nos casos em quem a mesma existe (como a maioria dos materiais utilizados em estruturas), há uma enorme deficiência na fiscalização por parte dos órgãos responsáveis. Configurando mais um fator que demonstra a fragilidade e a má organização da indústria da construção.

Entre os inúmeros problemas que podem atingir as estruturas como consequência da baixa qualidade dos materiais, pode-se citar menores durabilidades, presença de agentes agressivos incorporados e a baixa resistência mecânica.

3.4.3 Patologias geradas na etapa de execução da estrutura (construção)

A NBR 14931 (ABNT, 2004) define como execução da estrutura de concreto todas as atividades desenvolvidas na sua execução, ou seja, sistema fôrmas, armaduras, concretagem, cura e outras, bem como as relativas à inspeção e documentação de como construído, incluindo a análise do controle de resistência do concreto.

Após iniciada a construção, os mais diversos tipos de patologias podem surgir associadas a causas como a não capacitação da mão-de-obra, inexistência de controle de qualidade e execução, má qualidade de materiais e componentes, irresponsabilidade técnica, etc. Nos casos das estruturas de concreto armado, essas causas podem levar a graves erros em determinadas atividades, como escoramento, fôrmas, posicionamento e quantidade de armaduras e a qualidade do concreto, desde a fabricação até a cura. Como consequência surgem ninhos de concretagem, corrosão devido ao baixo cobrimento das armaduras, falta de nivelamento nas peças de concreto etc.

A NBR 12655 (ABNT, 2006) descreve como etapas de execução do concreto a seguinte sequência:

- a) Caracterização dos materiais componentes do concreto, de acordo com a NBR 12654 (ABNT, 1992);
- b) Estudo de dosagem do concreto;
- c) Ajuste e comprovação do traço do concreto;
- d) Preparo do concreto.

Na execução do concreto em si, as principais fases são: mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura. Para que o concreto apresente o desempenho esperado, estas etapas devem ser executadas de acordo com as normas técnicas, pois falhas de concretagem ignoradas, ou não reparadas devidamente, podem acarretar sérias consequências à estrutura, principalmente em regiões agressivas e ou de difícil acesso à inspeção.

3.4.4 Patologias geradas na etapa de utilização da estrutura (manutenção)

Problemas patológicos podem surgir após as fases de concepção e execução da estrutura, mesmo quando tais etapas foram realizadas com a qualidade adequada. É necessário que o usuário, o maior interessado em que a estrutura tenha um bom desempenho, tenha

conhecimento sobre a necessidade e importância de manutenções eficientes e periódicas, principalmente nas partes que estão mais vulneráveis a deterioração e desgaste.

A NBR 5674 (ANBT, 1999) define manutenção como o conjunto de atividades a serem desempenhadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional de uma edificação e de suas partes constituintes de forma a atender as necessidades e segurança dos usuários.

Segundo SOUZA e RIPPER (1998), os problemas patológicos ocasionados por ausência de manutenção ou mesmo por manutenção inadequada, têm sua origem no desconhecimento técnico, na incompetência, no desleixo e em problemas econômicos. A falta de alocação de verbas para manutenção pode vir a tornar-se fator responsável pelo aparecimento de problemas estruturais de maior gravidade, implicando em grandes gastos e, dependendo da situação, pode levar até mesmo a demolição da estrutura.

Cuidados simples como a limpeza e a impermeabilização das lajes de cobertura, marquises e piscinas elevadas, evitando a infiltração prolongada de águas de chuva e a obstrução dos drenos, são exemplos de ações de manutenção que evitam o surgimento de patologias que podem corroer a armadura do elemento estrutural ou até mesmo levá-lo à ruína por excesso de carga (acumulação de água).

3.4.5 Causas da deterioração das estruturas

Para que seja feito o reparo adequado da estrutura, de forma que a mesma não volte a se deteriorar mais tarde, é necessário o conhecimento sobre as origens da deterioração do concreto.

O estudo das causas responsáveis pelo surgimento de inúmeros problemas patológicos nas estruturas de concreto armado é bastante complexo. SOUZA e RIPPER (1998) classificaram estas causas em intrínsecas (inerentes às estruturas) e extrínsecas (externas ao corpo estrutural).

3.4.5.1 Causas intrínsecas

São classificadas como causas intrínsecas de deterioração do concreto aquelas que são inerentes às próprias estruturas. Em outras palavras, são aquelas que tem sua origem nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução e/ou utilização, por falhas humanas, por questões próprias ao material concreto e por ações externas, acidentes inclusive.

As causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto estão elencadas no Quadro 2.

Quadro 2: Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto

CAUSAS INTRÍNSECAS	FALHAS HUMANA DURANTE A CONSTRUÇÃO	DEFICIÊNCIAS DE CONCRETAGEM	Transporte Lançamento Juntas de concretagem Adensamento cura	
		INADEQUAÇÃO DE ESCORAMENTOS E FÔRMAS		
		DEFICIÊNCIAS NAS ARMADURAS	Má interpretação dos projetos Insuficiência das armaduras Mau posicionamento das armaduras Cobrimento de concreto insuficiente Dobramento inadequado das barras Deficiências nas ancoragens Deficiências nas emendas Má utilização de anticorrosivos	
		UTILIZAÇÃO INCORRETA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	f_{ck} inferior ao especificado Aço diferente do especificado Solo com características diferentes Utilização de agregados reativos Utilização inadequada de aditivos Dosagem inadequada do concreto	
	INEXISTÊNCIA DE CONTROLE DE QUALIDADE			
	FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO (ausência de manutenção)			
	CAUSAS NATURAIS	CAUSAS PRÓPRIAS À ESTRUTURA POROSA DO CONCRETO		
		CAUSAS QUÍMICAS	Reações internas ao concreto Expansibilidade de certos constituintes do cimento Presença de cloretos Presença de ácidos e sais Presença de anidrido carbônico Presença de água Elevação da temperatura interna do concreto	
		CAUSAS FÍSICAS	Variação de temperatura Insolação Vento Água	
		CAUSA BIOLÓGICAS		

Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

3.4.5.2 Causas extrínsecas

SOUZA e RIPPER (1998) classificam as causas extrínsecas como sendo aquelas que ocorrem independentemente da estrutura em si, assim como da composição dos materiais como concreto e aço e de erros de execução. De maneira geral podem ser entendidas como os fatores que atacam a estrutura “de fora para dentro” durante a concepção e vida útil da estrutura.

As causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto estão elencadas no Quadro 3.

Quadro 3: Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto

CAUSAS EXTRÍNSECAS	FALHAS HUMANAS DURANTE O PROJETO	Modelização inadequada da estrutura Má avaliação das cargas Detalhamento errado ou insuficiente Inadequação ao ambiente Incorreção da interação solo-estrutura Incorreção na consideração de juntas de dilatação
	FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO	Alterações estruturais Sobrecargas exageradas Alteração das condições do terreno de fundação
	AÇÕES MECÂNICAS	Choques de veículos Recalque de fundações Acidentes (ações imprevisíveis)
	AÇÕES FÍSICAS	Variação de temperatura Insolação Atuação da água
	AÇÕES QUÍMICAS	
	AÇÕES BIOLÓGICAS	

Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

3.4.6 Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto

Os elementos estruturais de concreto podem ter sua saúde comprometida pelas mais diversas causas, que atuam individualmente ou em conjunto, criando condições necessárias para o surgimento de problemas patológicos.

A escolha do melhor método de reparo ou recuperação só será bem-sucedida se em conjunto for feita também a análise do meio onde a peça está inserida, as causas da sua

deterioração (que podem ser múltiplas) e os seus efeitos (sintomas patológicos). Sumarizados no Quadro 4 abaixo SOUZA e RIPPER (1998) apresentam os efeitos resultantes da atuação dos agentes intrínsecos e extrínsecos na deterioração das estruturas de concreto armado.

Quadro 4: Processos físicos de deterioração

PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO	FISSURAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> Deficiências de projeto Contração plástica Assentamento do concreto/perda de aderência Movimentação de escoramentos e/ou fôrmas Retração Deficiências de execução Reações expansivas Corrosão das armaduras Recalques diferenciais Variação de temperatura Ações aplicadas
	DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO	<ul style="list-style-type: none"> Fissuração Movimentação de fôrmas Corrosão do concreto Calcinação Ataque biológico
	CARBONATAÇÃO DO CONCRETO	
	PERDA DE ADERÊNCIA	
	DESGASTE DO CONCRETO	

Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

3.4.6.1 Fissuração

As fissuras são aberturas que afetam a superfície do elemento estrutural tornando-se um caminho rápido para a entrada de agentes agressivos à estrutura. São consideradas como a patologia característica das estruturas de concreto, e devido a ser uma manifestação patológica comum, a sua ocorrência chama a atenção do usuário para o fato de que algo anormal está a acontecer.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as fissuras são consideradas agressivas quando sua abertura na superfície do concreto armado ultrapassa os seguintes valores:

- 0,2 mm para peças expostas em meio agressivo muito forte (industrial e respingos de maré);
- 0,3 mm para peças expostas a meio agressivo moderado e forte (urbano, marinho e industrial);
- 0,4 mm para peças expostas em meio agressivo fraco (rural e submerso).

É importante que seja analisado corretamente o quadro de fissuração do elemento estrutural, uma vez que ele pode ser provocado pelos mais diversos fatores, como por exemplo: reações expansivas ocasionadas por agentes externos que penetram na estrutura, como cloretos, dióxidos de carbono e outros compostos, recalques diferenciais, a cura imprópria do concreto e a não previsão adequada do comportamento da estrutura.

Assim, um processo de fissuramento pode instalar-se em uma estrutura como consequência da atuação das mais diversas causas, intrínsecas ou extrínsecas, e para que se consiga identificar com precisão a causa e a origem, é necessário desenvolver análises consistentes, que englobem a mais correta determinação da configuração das fissuras, tais como a sua abertura e a sua variação ao longo do tempo, podendo, assim, logo após a correta identificação estabelecer as metodologias e procedimentos adequados para os trabalhos de recuperação (SOUZA e RIPPER, 1998).

O conceito de fissura muitas vezes é confundido com os conceitos de “trinca” e “rachadura”. As trincas se assemelham às fissuras no que diz respeito ao tratamento, diferenciando-se apenas na dimensão. Trincas possuem aberturas maiores que 0,5 mm. As rachaduras têm características que diferenciam das demais, possuem abertura acentuada e profunda. A dimensão da patologia é superior a 1 mm, sendo que em alguns casos pode abrir fendas de um lado ao outro da parede. A partir da espessura de 1,5 mm, pode-se chamar de fenda.

a) Deficiências de projeto

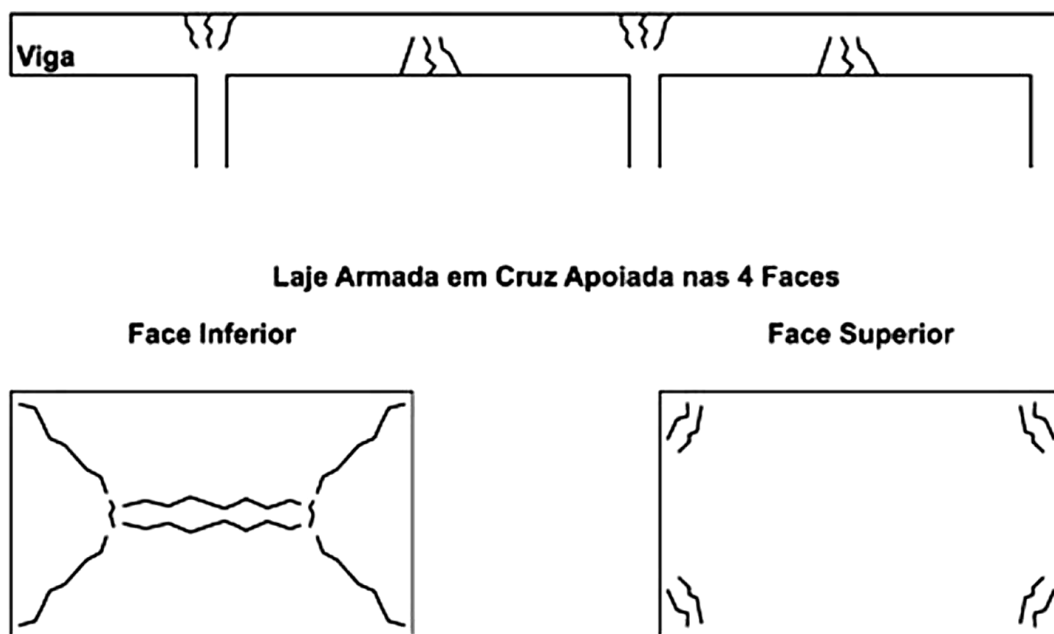
A formação de fissuras devido a falhas de projeto, podem ser as mais diversas. As fissuras formadas assumem configuração própria, função do tipo de esforço a que estão submetidas.

a.1) Fissuração devido à flexão

Conforme MARCELLI (2007) essa situação pode surgir quando o engenheiro calculista não faz uma avaliação correta da carga que será aplicada no elemento estrutural, ou devido à

deficiência dos materiais empregados e em condições de uso quando se aplica uma sobrecarga maior que a prevista em projeto. Seja qual for a situação, a configuração das fissuras devido a flexão em vigas e lajes, serão semelhantes à da Figura 3 abaixo.

Figura 3:Trincas de flexão em elementos de concreto armado.



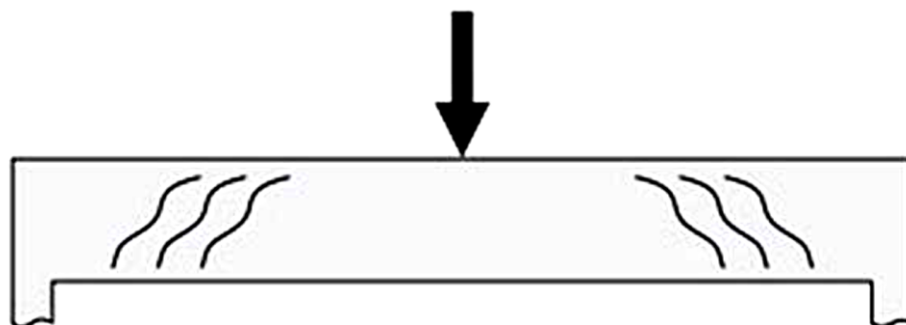
Fonte: MARCELLI (2007)

a.2) Fissuração devido ao cisalhamento

As fissuras devido ao cisalhamento normalmente ocorrem nos pontos de cortante máximo e são geradas por seção insuficiente, excesso de carga, falta de armadura ou disposta de forma errada para combater esse tipo de esforço. A falta de atenção ou cuidado com os estribos é algo comum durante a fase de execução; estribos torçados, com espaçamentos maiores ou menores que os de projeto, ou em menor quantidade devem ser corrigidos para evitar este tipo de patologia.

Na Figura 4 abaixo está representada a configuração deste tipo de fissura.

Figura 4: Trincas de cisalhamento em viga



Fonte: MARCELLI (2007)

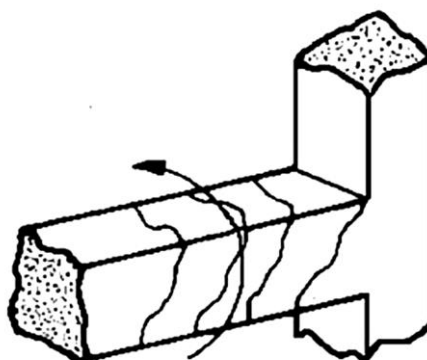
a.3) Fissuração devido à torção

Uma peça está sofrendo torção quando está submetida a um esforço de rotação em relação a sua seção transversal. MARCELLI (2007, p.105) explica que “isso ocorre em vigas de eixo curvo, principalmente nas sacadas de edifícios, em vigas ou lajes que tem flecha excessiva e se apoiam em outras vigas, causando uma rotação nestas últimas, ou em lajes em balanço do tipo marquise engastadas apenas na viga”.

Todas essas situações provocam uma rotação no plano da seção transversal do elemento estrutural e, quando esse esforço gera deformações acima da capacidade de suporte da peça, surgem as fissuras características de torção. Elas são inclinadas aproximadamente a 45° e aparecem nas duas faces laterais da viga na forma de segmentos de retas reversas (MARCELLI, 2007).

A ferragem utilizada para combater este esforço deve ser colocada de forma vertical (estribos) e longitudinal (ferros de pele/esqueleto). Na Figura 5 abaixo tem-se um exemplo de uma viga fissurada por torção.

Figura 5: Fissuração devido à torção



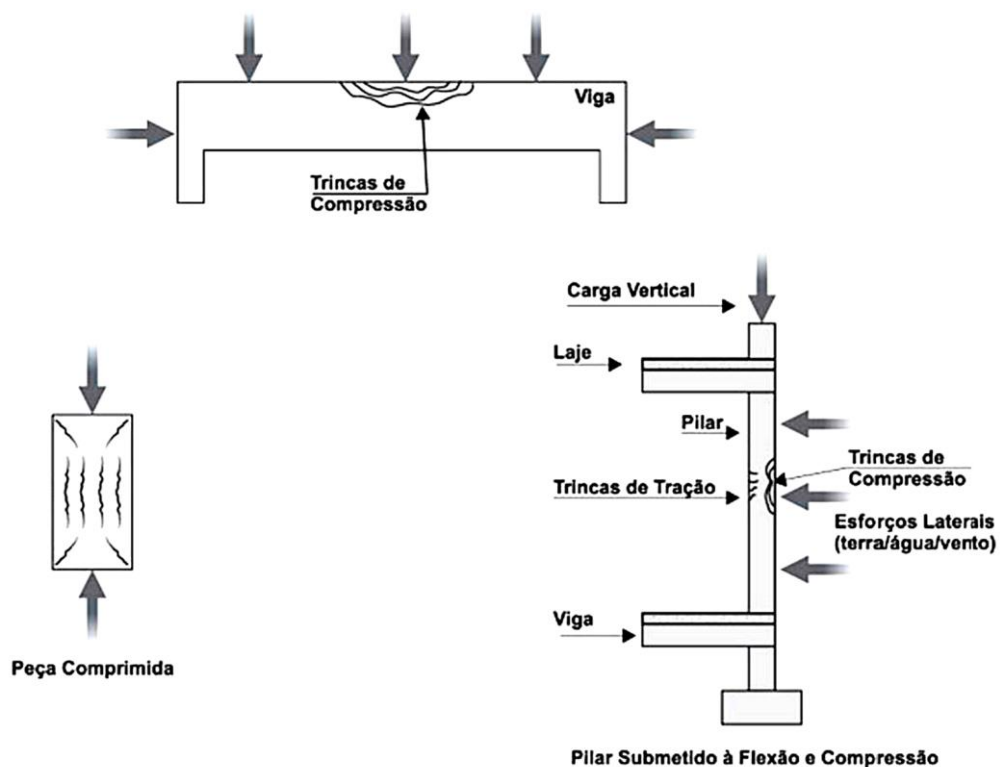
Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

a.4) Fissuração devido à compressão

As trincas provocadas por compressão em vigas e principalmente em pilares são, de acordo com especialistas, as que exigem maior atenção e providências rápidas, uma vez que o concreto é o elemento responsável em absorver a maior parcela dos esforços de compressão; quando apresentam fissuras, pode significar que a peça está na iminência de um colapso, ou pior, que já perdeu a capacidade de suportar carga, redistribuindo os esforços para os pilares vizinhos, que por sua vez ficarão sobrecarregados e passíveis, portanto, de sofrerem ruptura também. (MARCELLI, 2007).

Algumas vigas e pilares, dependendo da atuação dos esforços, podem trabalhar num sistema duplo de sollicitação, no caso flexocompressão. Nessas condições, pode haver um acúmulo de tensões na região comprimida, surgindo algumas trincas características como exemplificado na Figura 6.

Figura 6: Trincas de compressão



Fonte: MARCELLI (2007)

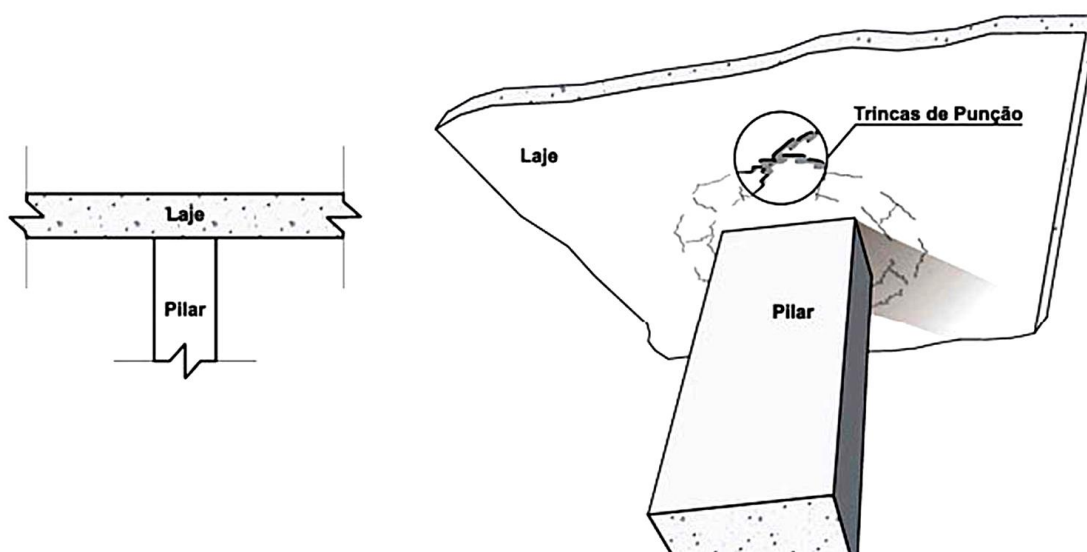
Em situações devido ao empuxo (de terra em estruturas de arrimo ou de líquidos em tanques de armazenamento), é possível, dependendo das dimensões e da armadura dos pilares e vigas,

a manifestação de fissuras de tração no mesmo período. Já em caso de pilares submetidos apenas a esforços de compressão, quando a carga aplicada é maior que a capacidade de suporte da peça, encontrar fissuras típicas de esmagamento ou de falta de estribos.

a.5) Fissuração devido à punção

Segundo MARCELLI (2007), geralmente esse fenômeno ocorre em elementos delgados, recebendo um esforço pontual, como lajes que se apoiam diretamente sobre pilares ou vice-versa. As trincas ocorrem devido a vários fatores: quando há um excesso de carga, concreto de resistência inadequado, laje muito delgada, armadura insuficiente ou mal posicionada junto aos apoios, erro de projeto ou falhas durante a execução. Na Figura 7 abaixo é exemplificado o comportamento de um conjunto pilar-viga com fissuras por punção.

Figura 7: Trincas devido à punção



Fonte: MARCELLI (2007)

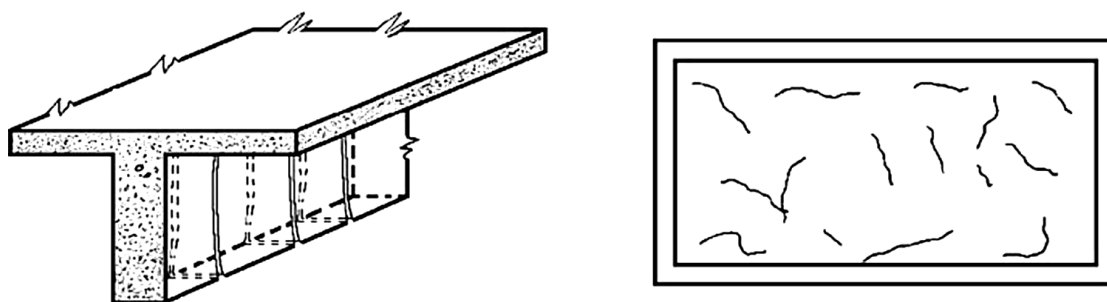
b) Fissuração devido à retração

As fissuras devido a retração ocorrem devido a secagem prematura do concreto (cura inadequada) ou contração térmica devido a gradientes de temperatura diário ou sazonais. Tensões internas são geradas na peça durante o processo, provocando retração, que resulta em esforços de tração no concreto. O concreto, por não resistir a esforços de tração, fissa.

A Figura 8 abaixo mostra configurações típicas de fissuras de retração (que normalmente são notadas algum tempo depois do endurecimento do concreto): no caso das vigas (esquerda),

as fissuras situam-se em todo o contorno da alma das mesmas, paralelas entre si, a intervalos quase regulares, podendo ocorrer em qualquer ponto do vão; no caso das lajes, formam uma figura com aspecto de mosaico, podendo ocorrer em ambas as faces da peça (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 8: Fissuras de retração em vigas e lajes.



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

c) Fissuração devido à variação de temperatura

Cada material possui seu próprio coeficiente de dilatação térmica e, quando provocamos uma interação de materiais ou elementos diferentes, como no caso do concreto, estamos criando uma situação de tensão na junção dos mesmos, provocada pela variação de temperatura, pois eles tendem a se deformar em diferentes proporções. Esta situação (assim como a de contração térmica) normalmente geram fissuração, uma vez que, em qualquer dos casos, criam-se tensões superiores à capacidade resistente ou de deformação das peças.

Uma situação típica é a que se dá nas coberturas, em particular as horizontais, muito mais expostas aos gradientes térmicos naturais do que as peças verticais da estrutura, gerando, em consequência, movimentos diferenciados entre elementos verticais e horizontais que, geralmente, resultam em fissuração, agravada no caso de diferença de inércia (encontro lajes-vigas) ou de materiais resistentes (lajes mistas ou pré-fabricadas) (SOUZA e RIPPER, 1998, p.70).

MARCELLI (1998, p.98) diz que “outro efeito que a variação de temperatura provoca é um gradiente térmico entre a face interna e a externa de uma laje, causando o abaulamento da mesma devido às diferenças de dilatação entre as faces”.

A prevenção para este tipo de fissuração está em considerar nos cálculos estruturais os efeitos da variação de temperatura e a influência do meio ambiente sempre que uma determinada situação exigir, ou for recomendado pela ABNT. Além disso, é necessária atenção

redobrada ao detalhamento das armaduras das peças solidárias que possuam inércias muito diferentes, como também uma correta disposição de juntas de dilatação.

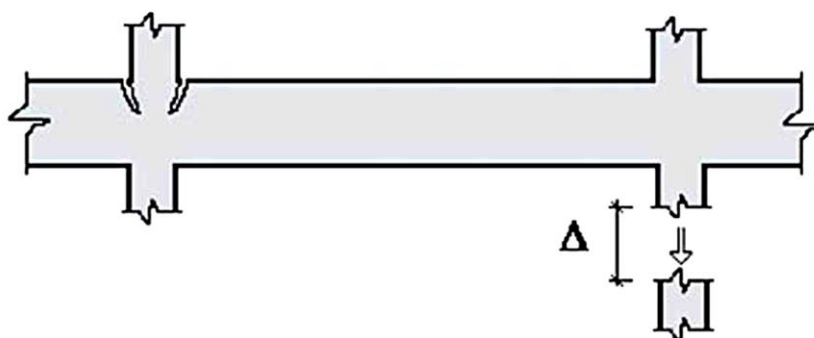
d) Fissuração devido à recalques diferenciais

Os recalques podem ser provocados por incorreções na interação solo-estrutura, que podem ocorrer na fase de projeto, execução ou de utilização.

Os principais fatores causadores da fissuração é a própria magnitude do recalque e a capacidade ou não da estrutura conseguir assimilá-lo. De uma maneira geral, a estrutura não será a única parte prejudicada por este efeito, mas também, no caso de edifícios, por exemplo, as alvenarias e os caixilhos (SOUZA e RIPPER, 1998).

A Figura 9 exemplifica um processo fissuratório surgido em uma viga em decorrência de recalque de um de seus apoios. A primeira etapa para a prevenção do surgimento deste tipo de patologia, é um estudo do solo adequado, para que se tenha o máximo de informações possível do solo e das tensões e deformações a que estará submetido. A recuperação deste tipo de patologia é extremamente custosa e cara.

Figura 9: Fissuração por recalque diferencial dos apoios



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

e) Fissuração devido à corrosão

Corrosão pode ser definida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, resultante de reações nocivas de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de degradação.

No caso de armaduras em concreto, os efeitos degenerativos manifestam-se na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, fissuras, destacamento do concreto de cobrimento, redução da seção resistente das armaduras com frequente seccionamento de estribos, redução e eventual perda de aderência das

armaduras principais, ou seja, deteriorações que levam a um comprometimento da segurança estrutural (HELENE, 1993).

As armaduras dos elementos estruturais se encontram protegidas pelo recobrimento, que atua como uma barreira protetora contra agentes agressivos. A perda ou qualquer tipo de dano a essa barreira pode acelerar ou desencadear um processo deteriorante.

Além da perda do recobrimento, HELENE (1993) afirma que as causas mais comuns da ocorrência da corrosão no concreto são: má execução das peças estruturais, concreto com resistência inadequada, ambiente agressivo, proteção insuficiente, manutenção inadequada ou inexistente e presença de cloretos.

BARBOSA et al. (2012 *apud* SANTOS, 2015), considera que o fenômeno da corrosão das armaduras é mais frequente do que qualquer outro fenômeno de deterioração das estruturas de concreto armado, comprometendo-as tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista da segurança.

A corrosão das armaduras é um processo evolutivo, ou seja, vai se agravando com o passar do tempo. Dessa forma, é necessário que as medidas de prevenção ou recuperação sejam tomadas a tempo para não comprometer a segurança estrutural. A demora no reparo dos componentes estruturais associada a falta de conhecimento técnico atualizado do problema pode acarretar prejuízos financeiros e graves acidentes nas edificações.

Figura 10: Corrosão em armaduras de laje



Fonte: SILVA (2011)

3.4.6.2 Desagregação do concreto

A desagregação do concreto é um fenômeno comum observado em componentes estruturais, pode ser causado por diversos fatores, sendo estes: fissuração, movimentação de fôrmas, corrosão de concreto, calcinação do concreto e ataque biológico.

SOUZA e RIPPER (1998) definem como desagregação a separação física de placas ou fatias de concreto, com perda do monolitismo, e em alguns casos, perda também da capacidade de entrosamento entre os agregados e da função ligante do cimento. Em consequência, tem-se que uma peça com seções de concreto desagregado perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que a solicitam.

a) Desagregação devido à fissuração

Como já visto no Quadro 4, a fissuração do concreto é uma das causas da desagregação. A geração de fissuras naturalmente acaba por resultar na desagregação do concreto naquele local, principalmente o da camada de cobrimento das armaduras.

b) Desagregação devido à movimentação das fôrmas

A movimentação das fôrmas criando juntas de concretagem não previstas ou servindo de passagem para a fuga da nata de cimento provocam a segregação do concreto com sua consequente desagregação. Este tipo de descuido pode implicar no enfraquecimento do elemento estrutural devido a formação da junta de concretagem forçada ou enfraquecimento do próprio concreto devido a fuga da nata de cimento.

c) Desagregação devido à corrosão do concreto

SOUZA e RIPPER (1998) admitem que a partir da definição de corrosão, pode-se concluir que esta poderá ser vista como a destruição de um material por meio de reações químicas ou eletroquímicas não propositadas que começam na superfície deste sólido. Sendo genérica, esta definição será válida para qualquer tipo de material. Eles classificam a corrosão do concreto segundo três tipos, dependendo das ações químicas que lhe dão origem: corrosão por lixiviação; corrosão química por reação iônica; e corrosão por expansão.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) traz no item 6.3.2 da norma o que SOUZA e RIPPER (1998) definem como corrosão do concreto, como sendo “mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto”, classificando-os em lixiviação, expansão por sulfato e reação álcali-agregado.

Lixiviação é o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos.

Expansão por sulfato a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado. A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos.

Reação álcali-agregado é a expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas, quando necessárias NBR 6118 (ABNT, 2014).

d) Desagregação devido à calcinação do concreto

Refere-se aos efeitos do concreto sob ação do fogo, que como características básicas há alteração da cor e perda de resistência. A degradação de concretos comuns, sem nenhum tratamento especial para resistência a altas temperaturas, se dá por volta dos 600°C devido à expansão dos agregados, que desenvolvem tensões internas e fraturam o concreto. Na Tabela 1 abaixo CÁNOVAS (1977, *apud* SOUZA e RIPPER, (1998) apresentam a evolução do comportamento do concreto em função da elevação da temperatura ambiente.

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

TEMPERATURA EM °C	COR DO CONCRETO	CONDIÇÃO DO CONCRETO	PERDA DE RESISTÊNCIA
0 a 200	Cinza	Não afetado	0%
300 a 600	Rosa	Razoavelmente bom	≤ 40%
600 a 900	Rosa a vermelho	Friável, com alta sucção de água	70%

900 a 1200	Cinza avermelhado	Friável	100%
> 1200	amarelo	Decomposto	100%

Fonte: CÁNOVAS (1977, apud SOUZA e RIPPER, (1998)

e) Desagregação devido à ataques biológicos

SOUZA e RIPPER (1998, p.74) explicam que “várias são as ações biológicas (raízes de vegetação, microorganismos, etc.) que, ao penetrarem no concreto e acharem o ambiente próprio ao seu desenvolvimento, vem a ocupar o espaço dentro de uma massa estrutural, gerando tensões internas e fraturando o concreto”. Um exemplo desse tipo de manifestação patológica é representado na Figura 11 abaixo.

Figura 11: Ataque biológico a pilar de concreto armado



Fonte: Própria do autor, (2017)

3.4.6.3 Carbonatação do concreto

No interior do concreto o aço está protegido por uma camada passivadora que envolve o aço, esta camada é formada e mantida devido ao elevado pH na solução dos poros do concreto. Sendo assim, para que haja corrosão é necessário que a camada passivadora seja destruída (despassivação). Os agentes agressivos como os íons cloretos e a carbonatação podem promover a despassivação, deixando o aço susceptível ao processo corrosivo (SANTOS, 2015).

A carbonatação é a reação físico-química entre os compostos hidratados do cimento e o CO₂, que pode provocar a despassivação, neste caso, a carbonatação provocará uma redução do pH, que desestabilizará a camada passivante, podendo iniciar um processo de corrosão generalizada MOLIN et al. (2007).

O concreto atua como dupla proteção para a armadura: proteção física, impedindo o contato direto com o ambiente e segundo, como proteção química, uma vez que o elevado pH do concreto, promover a formação de uma película passivadora que envolve o aço. Para um pH de 12,5 a 13,5, meio altamente alcalino do concreto, as armaduras estarão altamente protegidas contra a corrosão. Mas para valores de pH superiores a 9, a armadura já estará protegida.

A carbonatação não oferece problemas para o concreto simples, mas como agente despassivador, pode desencadear um processo de corrosão generalizada no concreto armado. Porém, mesmo após a despassivação do aço, para que haja corrosão é necessário a presença de um eletrólito, diferença de potencial e oxigênio.

SANTOS (2015, p.18) afirma que a qualidade e a espessura do cobrimento do concreto, juntamente com o teor CO₂ e valores da umidade relativa do ambiente entre 50 e 70%, são fatores que podem acelerar a carbonatação, e por consequência a corrosão.

3.4.6.4 Perda da aderência

A perda de aderência é uma manifestação patológica que pode levar estruturas à ruína. Pode ocorrer entre o aço das armaduras e o concreto, na interface de duas concretagens ou entre dois concretos de idades diferentes. Esta última situação acontece quando a superfície entre os dois concretos de diferentes idades estiver suja, ou quando o espaço entre duas concretagens consecutivas é muito longo e a junta de concretagem não tiver sido convenientemente preparada.

Conforme SOUZA e RIPPER (1998) a perda de aderência entre o concreto e o aço ocorre por causa de:

- Corrosão do aço, com sua conseqüente expansão;
- Assentamento plástico do concreto;
- Corrosão do concreto, em função da deterioração por dissolução dos agentes ligantes;
- Dilatação ou retração excessiva das armaduras, cuja principal causa são os incêndios (cargas cíclicas podem dar efeitos semelhantes);
- Aplicação, nas barras de aço, de preparados inibidores da corrosão (perda parcial ou total de aderência, em casos extremos).

3.5 Diagnóstico de patologias em estruturas de concreto armado

Ao identificar alguma manifestação patológica em um componente estrutural de concreto armado, é necessário que um profissional especialista em patologia das estruturas faça uma vistoria minuciosa no local afim de determinar as condições reais da edificação. Esse profissional irá avaliar as anomalias existentes na peça, suas causas e origem, providências a serem tomadas e os métodos mais adequados para a recuperação ou reforço.

O Quadro 4 apresenta a metodologia genérica para a inspeção de estruturas convencionais pode ser dividida em três etapas básicas: levantamento de dados, análise e diagnóstico. (SOUZA e RIPPER, 1998).

A primeira etapa consiste no levantamento de dados, que vai fornecer o embasamento para que a análise seja feita corretamente, e compreende os passos a seguir:

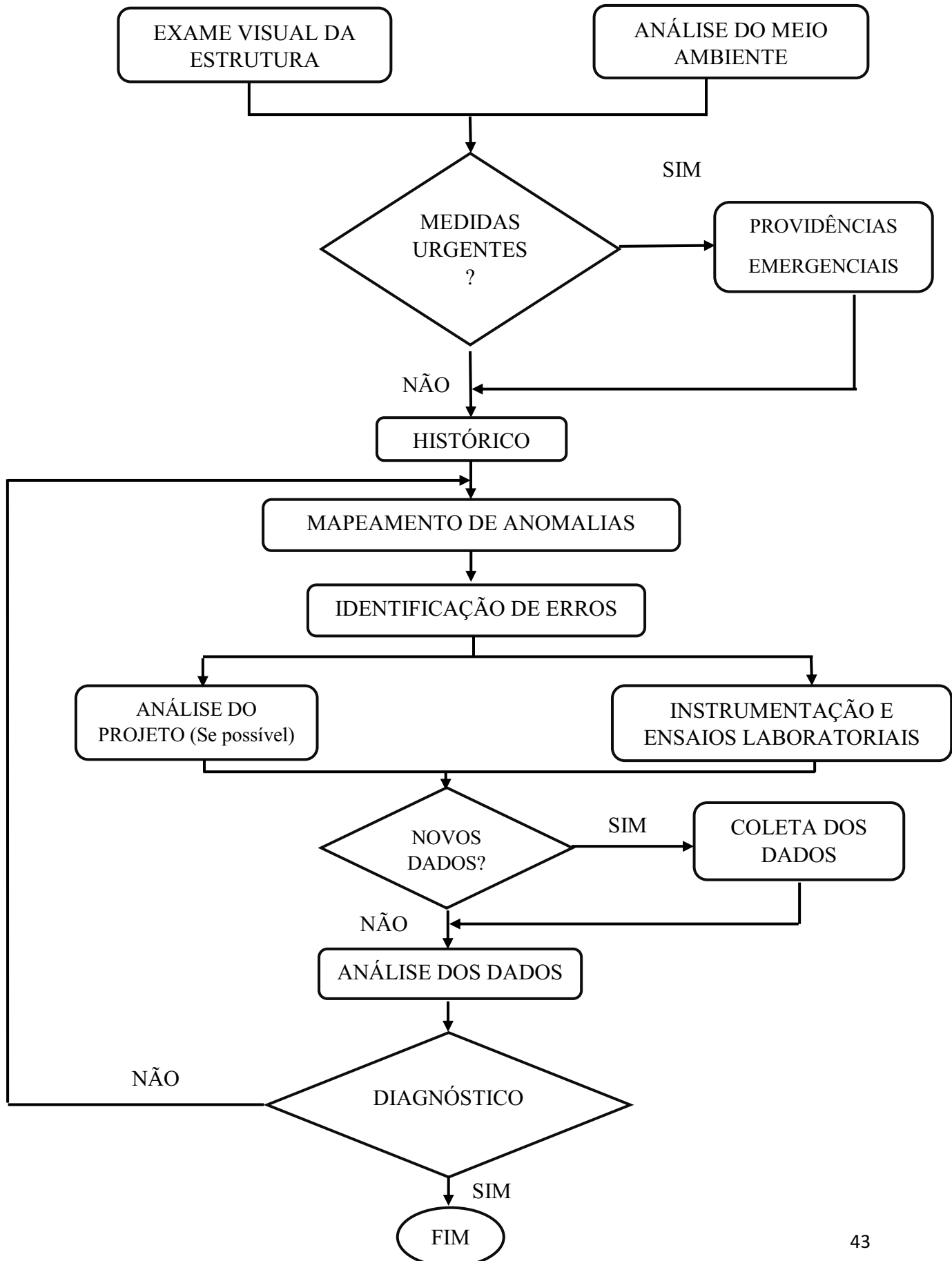
- Levantamento visual, com anotações e medições nos principais elementos;
- Estimativa das possíveis consequências dos danos e medidas emergenciais;
- Levantamento detalhado dos sintomas patológicos (documentação fotográfica, avaliação da presença de agentes agressores, medidas de deformações, medidas de perda de seção de armadura, etc.);
- Identificação de erros quanto à concepção da estrutura (projeto), à sua execução, ou ainda quanto a sua utilização e manutenção;
- Instrumentação da estrutura e realização de ensaios especiais.

Para SOUSA e RIPPER (1998) a segunda etapa, análise dos dados, tem como objetivo conduzir o analista da estrutura a um perfeito entendimento da mesma e de como surgiram e se desenvolveram os sintomas patológicos. Esta etapa deve ser feita de forma minuciosa, evitando, por exemplo, que anomalias mais graves não sejam percebidas por estarem ocultas por anomalias superficiais, assim como se deve verificar se não houve mais do que um fator gerador da patologia que está sendo analisada.

A última etapa, o diagnóstico, só poderá ser efetuada após a conclusão das etapas de levantamento e análise. Devem-se investigar as causas da patologia, realizando um diagnóstico preciso para que a recuperação seja efetiva. É importante investigar cuidadosamente a patologia e suas possíveis causas, pois ao se falhar no seu diagnóstico, a correção não será eficiente. Uma patologia pode se apresentar como consequência de mais de uma deficiência. Assim, para que a medida corretiva seja eficiente devem-se sanar todas as suas causas (ANDRADE & SILVA, 2005 *apud* SILVA, 2011).

Quadro 5: Fluxograma genérico para diagnose de uma estrutura convencional

Fonte: Adaptado de SOUZA e RIPPER, (1998)



3.6 TÉCNICAS DE LIMPEZA, REPARO E REFORÇO

Após o estudo das causas e efeitos gerados pelas manifestações patológicas, é possível determinar a melhor técnica de reparo para o elemento estrutural afetado. Neste tópico são apresentados os procedimentos de preparo e limpeza que uma estrutura de concreto armado deve receber antes de ser reparada ou reforçada, como também as práticas mais usuais para recuperação.

3.6.1 Intervenções em superfícies de concreto

3.6.1.1 Polimento

Esta técnica é utilizada em situações onde a superfície do concreto se encontra inaceitavelmente áspera, devido a falhas de execução (erro em dosagens, vibração incorreta, formas brutas ou muito reusadas, etc.), ou como resultado do desgaste natural.

O polimento objetiva tornar a superfície do concreto lisa e sem partículas soltas. Pode ser feito utilizando lixadeiras portáteis ou máquinas de polir pesadas quando a área a ser recuperada for muito grande.

3.6.1.2 Apicoamento

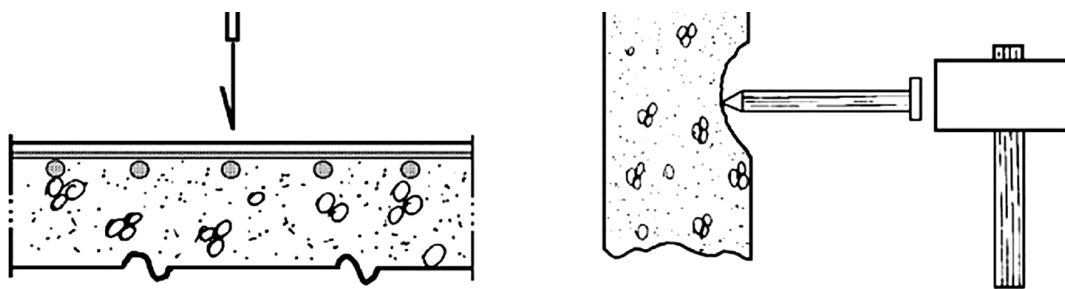
O apicoamento em si não consiste em uma técnica de recuperação, mas sim um processo que antecede grande parte dos métodos empregados para recuperar elementos estruturais.

SOUZA e RIPPER (1998) definem apicoar como sendo o ato de retirar a camada mais externa do concreto das peças estruturais, normalmente com o intuito de potencializá-las para a complementação com uma camada adicional de revestimento, em concreto ou argamassa, aumentando a espessura de cobertura das armaduras. As espessuras de apicoamento são geralmente de até 10 mm.

O apicoamento pode ser mecânico (Figura 12) com o uso de martelos pneumáticos ou elétricos e ponteiros com a extremidade em forma de picador ou manual (Figura 12) com talhadeira e marreta leve, a escolha do processo vai depender da profundidade da camada a ser retirada e do tamanho da área.

Em alguns casos, o apicoamento manual complementa o mecânico, por permitir o trabalho em locais em que o acesso de ferramentas mecânicas seria muito difícil.

Figura 12: Apicoamento mecânico (à esquerda) e apicoamento manual



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

3.6.2 Lavagens

3.6.2.1 Lavagens com soluções ácidas

Esse procedimento tem por objetivo a remoção de manchas de cimento, tintas, ferrugens e outros resíduos que não seriam removidos apenas com lavagens a jato d'água. Geralmente a solução aplicada é a de ácido muriático, sendo misturado com água em proporção de 1:6.

As soluções ácidas apresentam um risco para a saúde da camada superficial de concreto e, por esse motivo, em situações onde a espessura de cobertura das armaduras for reduzida, o ideal é optar por soluções alcalinas. Também não são indicadas nas faixas vizinhas a juntas de dilatação, por serem dispositivos sensíveis à presença de ácido.

A superfície que será lavada deverá ser abundantemente molhada para prevenir que o ácido penetre no concreto sadio. É recomendável que a aplicação seja feita em pequenas áreas com o uso de broxa. Após o fim do borbulhamento, característico da descontaminação, recomenda-se que seja feita uma lavagem de forma rigorosa garantindo a total remoção dos resíduos da solução e do material atacado. Esta lavagem deve ser realizada com o uso de amônia em água na proporção de 1:4 e posteriormente com jatos d'água natural (SOUZA E RIPPER, 1998).

3.6.2.2 Lavagens com soluções alcalinas

A execução desta técnica se dá de maneira praticamente análoga à realizada com soluções ácidas, podendo ser feita em regiões mais próximas das armaduras. A presença de agregados reativos no concreto pode acabar gerando uma reação álcalis-agregado, extremamente nociva à

estrutura que possui caráter expansivo e acaba por gerar fissuração, por isso antes de ser aplicada qualquer solução alcalina, deve-se dar atenção para este ponto. O cuidado com a aplicação e com a limpeza é semelhante ao da técnica citada no tópico anterior (HELENE, 1988 *apud* TRINDADE, 2015).

3.6.2.3 Lavagens com jatos de água

Esta técnica consiste em remover as camadas superficiais que apresentam uma maior deterioração, empregando máquinas tipo lava-jato ligada a um compressor. Para diminuir a quantidade de equipamento alocado em obra, é possível usar máquinas de projetar concreto (SILVA, 2006).

Para SOUZA e RIPPER (1998) os jatos de água podem ser considerados como a principal tarefa na preparação de superfícies para recepção dos materiais de recuperação, sendo feita após os trabalhos de corte e/ou apicoamento.

Em algumas situações, onde a superfície se encontra gordurosa ou com manchas de forte impregnação química, utiliza-se jatos de água quente, adicionando-se removedores biodegradáveis, mas para isso deve-se contratar técnicos especializados e fazer uso de EPI (Equipamento de Proteção Individual) adequado.

3.6.2.4 Escovação manual

Trata-se de uma técnica a ser utilizada apenas em pequenas superfícies, como em pequenas extensões de barras de aço que estejam com evidência de corrosão ou que simplesmente necessitem de limpeza antes de algum tipo de reparo. A aplicação deve ser enérgica e repetitiva, usando-se escova com cerdas de aço. E alguns casos, é necessário complementar o processo através do uso de lixas de ferro, e em qualquer situação, finalizar a limpeza com aplicação de jatos de ar comprimido.

3.6.3 Tratamento de fissuras

O tratamento eficiente de fissuras, assim como qualquer outra patologia, está diretamente ligado à correta identificação da causa da fissuração. A definição do tratamento será ajustada de acordo com a superficialidade ou profundidade da fissura. Porém, sendo a fissura ativa ou passiva, o objetivo do tratamento sempre será criar uma barreira ao transporte nocivo de

líquidos e gases para dentro das fissuras, impedindo a contaminação do concreto e até das armaduras.

A seguir serão abordadas a injeção e costura de fissuras.

3.6.3.1 Injeção de fissuras

O objetivo da injeção de fissuras é restabelecer o monolitismo para elementos estruturais com fendas passivas e a vedação para fendas ativas. Do ponto de vista técnico, esse reparo cria uma barreira para a entrada de líquidos e gases nocivos à estrutura, protegendo o concreto e a armadura. Do ponto de vista estético, o reparo das fissuras proporciona a sensação de segurança para os usuários.

Para fissuras com abertura superior a 0,1 mm o material deve ser injetado, procedimento feito sempre sob baixa pressão, para aberturas superiores a 3,0 mm e não muito profundas, é admissível o enchimento por gravidade. Este procedimento requer um aplicador experiente, a correta seleção do material a utilizar e da bomba de injeção, que irá variar de acordo com a espessura e profundidade da fissura.

SOUZA e RIPPER (1998) definem injeção como sendo a técnica que garante o perfeito enchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda, tanto para os casos de fendas passivas, onde são usados materiais rígidos, como epóxi ou grautes, ou para a vedação de fendas ativas, que são situações mais raras, em que se estarão a injetar resinas acrílicas ou poliuretânicas.

O processo de injeção é descrito segundo SOUZA e RIPPER (1998) da seguinte maneira:

1 - Abertura de furos (Figura 13) ao longo do desenvolvimento da fissura, com diâmetro da ordem dos 10 mm e não muito profundos (30mm), obedecendo a espaçamento ℓ que deve variar entre os 50 mm e os 300 mm, de acordo com a abertura da fissura (tanto maior quanto mais aberta for), mas sempre respeitando um máximo de 1,5 vezes a profundidade da fissura;

2 – Efetuar a limpeza da fenda – ou do conjunto de fissuras, se for o caso – e dos furos, com ar comprimido, por aplicação de jatos, seguida aspiração, para remoção das partículas soltas, não só as originalmente existentes (sujeiras), mas também as derivadas da operação de furação;

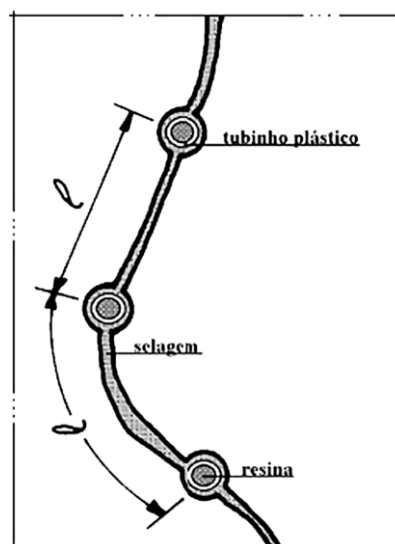
3 - Nos furos, são fixados tubinhos plásticos, de diâmetro um pouco inferior ao da furação, com parede pouco espessa, através dos quais será injetado o produto. A fixação é feita através do próprio adesivo que selará o intervalo da fissura entre dois furos consecutivos (ver Figura 13);

4 - A selagem é feita pela aplicação de uma cola epoxídica bi componente, em geral aplicada à espátula ou colher de pedreiro. Ao redor dos tubos plásticos, a concentração da cola deve ser ligeiramente maior, para garantir a fixação deles;

5 - Antes de se iniciar a injeção, deve ser feito um teste do sistema, o que pode ser feito pela aplicação de ar comprimido, testando então a intercomunicação entre os furos e a efetividade da selagem. Se houver obstrução de um ou mais tubos, será indício que haverá necessidade de reduzir-se o espaçamento entre eles, inserindo-se outros a meio caminho;

6 - Testado o sistema e escolhido o material, a injeção pode então iniciar-se (ver Figura 15), tubo a tubo, sempre com pressão crescente, escolhendo-se normalmente como primeiros pontos aqueles situados em cotas mais baixas.

Figura 13: Preparação da fenda para o procedimento de injeção



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Figura 14: Processo de furação para colocação dos tubos de injeção.



Fonte: ZAPLA, (2006 apud GONÇALVES, 2015).

Figura 15: Processo de injeção de fissuras.



Fonte: ZAPLA, (2006 *apud* GONÇALVES, 2015).

3.6.3.2 Costura das fissuras (método do grampeamento)

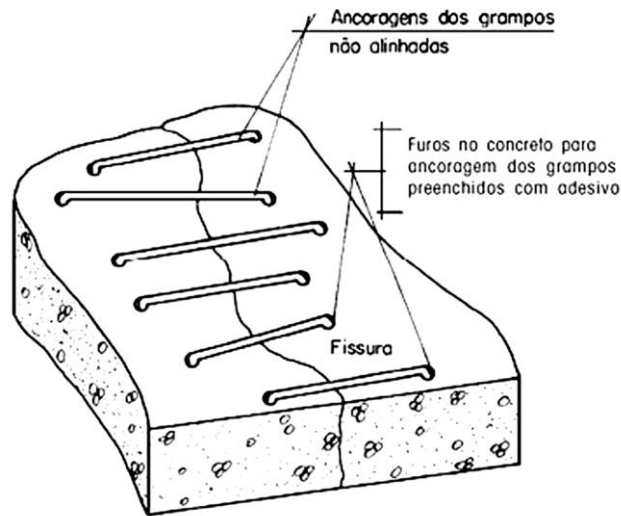
O método do grampeamento consiste na colocação de armaduras de aço em fissuras, chamadas grampos, que tem como finalidade agirem como pontes entre as duas partes do concreto separadas pela patologia. Essa técnica pode ser utilizada como armadura adicional para resistir aos esforços extras que causaram a fissuração. A Figura 16 mostra um elemento estrutural grampeado.

Antes de iniciar-se o reparo, deve-se promover o descarregamento da estrutura, pois o processo em questão não deixa de ser um reforço. É então iniciado o processo pela colocação de grampos de aço, em furos previamente perfurados e preenchidos com adesivo apropriado. Os grampos devem ser dispostos com inclinações diferentes, de forma a não ficarem em linha, para que o esforço transmitido não seja exercido em um só plano.

Às vezes, todo o grampeamento é recoberto com uma camada de argamassa projetada ou não, que serve tanto para preencher os furos de colocação dos grampos bem como camada protetora.

O grampeamento é contestado por aumentar a rigidez da peça no local costurado e, se o esforço gerador da fenda continuar, com certeza produzirá uma nova fissura em região adjacente. Sendo diagnosticadas novas fissuras ou prolongamento das mesmas, é aconselhado que seja realizada uma análise criteriosa se é ou não vantajoso utilizar esse método.

Figura 16: Reparo de fissura através do método da costura



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

3.6.4 Reparos com argamassa, concretos e grautes base cimento Portland

Estes são os materiais mais utilizados para recuperação de elementos estruturais danificados pela corrosão das armaduras, uma vez que são semelhantes aos usados para a construção dos mesmos. GROCHOSKI e HELENE (2008) explicam que o princípio de uso é bem simples: após a remoção do material contaminado é feita uma limpeza na região (substrato e armadura); substitui-se a armadura, se necessário, e reconstitui-se a seção com o material novo. Por não apresentar contaminantes e, além disso, o novo material possui capacidade de passivar as armaduras e cessar o processo corrosivo no local.

Os reparos com argamassa são métodos de recuperação superficial que podem ser utilizados em grandes áreas, mas apenas em pequenas profundidades. O tipo de argamassa mais empregado, devido a simplicidade de fabricação, é a argamassa convencional de cimento e areia.

É muito comum encontrarmos pessoas “recuperando” elementos estruturais com argamassa convencional sem considerar tais restrições. Inicialmente, a peça estrutural irá parecer recuperada externamente, mas internamente a patologia continuará instalada e irá se manifestar novamente em um curto período de tempo. Situações semelhantes acontecem também na Universidade Federal de Campina Grande; segundo funcionário da Prefeitura Universitária, devido a indisponibilidade de graute no almoxarifado do setor de manutenções, muitas vezes pilares com armadura expostas são cobertos com argamassa simples de cimento e areia sem nenhum tratamento prévio de limpeza.

3.6.4.1 Argamassa de cimento e areia

Para que o reparo seja eficiente é necessário saber que o interior do elemento estrutural não deve apresentar anomalias, ou que se caso apresente, que elas sejam sanadas antes da utilização desta técnica. Ou seja, é um método a ser empregado nos casos em que o que está deteriorado é a camada de concreto de cobrimento das armaduras.

A argamassa convencional de cimento e areia é utilizada para preencher cavidades originadas pelo desgaste ou deterioração de elementos estruturais. É composta por cimento, areia e água, no traço de 1:3 e fator água cimento de 0,45. Para reparos superficiais, a argamassa deve ser aplicada por faixas de no máximo 1,0 m de largura e com espessura máxima de 1,0 cm, para diminuir os efeitos da retração. Em reparos profundos e semiprofundos, o serviço deve ser executado por camadas de no máximo 1,0 cm, sempre arranhando a camada anterior antes da aplicação da nova camada.

Outra variação é a argamassa farofa, uma mistura de cimento Portland com areia fina, na proporção de 1:2,5 ou 1;3, com fator água cimento entre 0,33 a 0,40. Por causa do baixo fator água/cimento, o fenômeno da retração é quase inexistente, além disso, a resistência final é bastante elevada. Essa técnica deve ser evitada em revestimentos muito extensos, com grandes áreas superficiais, e em locais de difícil acesso, como atrás de armaduras, por exemplo. (SOUZA E RIPPER, 1998).

3.6.4.2 Reparos com adições poliméricas

Muitos tipos de polímeros (poliéster, epóxi, acrílicos, látex etc.) tem a capacidade de melhorar algumas propriedades de concretos e argamassas quando adicionados a estes. Esse uso tem sido amplamente difundido devido à sua capacidade reduzir a entrada de água e a consequente penetração de agentes agressivos, aumentando a durabilidade destes materiais. Além disso, outro ponto marcante é o aumento da aderência entre os materiais acrescidos de polímeros e o substrato antigo (GROCHOSKI e HELENE, 2008).

Ao adicionar resina sintética polimérica à argamassa de cimento e areia, é possível reduzir a água de mistura necessária, manter a plasticidade deste material, reduzir a permeabilidade e dar ótimo poder de aderência com o concreto endurecido. SOUZA e RIPPER (1998), citam o uso de argamassa convencional com adesivo PVA ou adesivo acrílico para reparos superficiais em grandes áreas e para reparos semiprofundos e o uso de argamassa seca (semelhante à

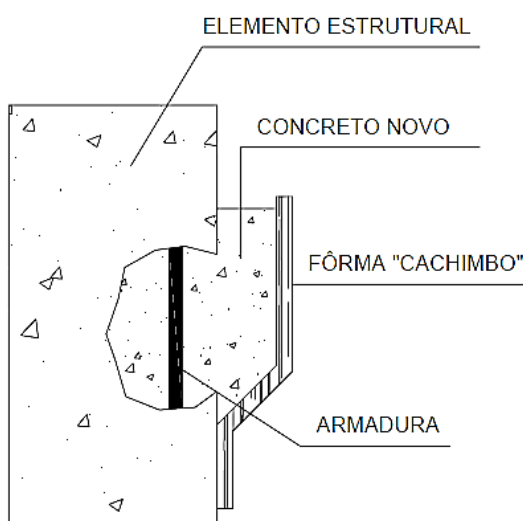
argamassa farofa) com os mesmos tipos de adesivos para reparos profundos em elementos que não fiquem em contato permanente com a água.

3.6.4.3 Reparos com concreto convencional

O reparo com concreto é aplicado quando são identificadas falhas resultantes da concretagem (ninhos de concretagem) ou em elementos estruturais deteriorados, desde que a extensão das falhas ou danos atravessem a seção do elemento, ou, pelo menos, se estendam para além das armaduras.

Durante o procedimento são usadas fôrmas de madeira que permitam a concretagem um nível acima do reparo (Figura 17) para garantir o completo preenchimento do local reparado. A fôrma utilizada deverá apresentar uma abertura (“cachimbo”), por onde será feita a concretagem. O concreto protuberante no local do cachimbo deve ser regularizado após a retirada da forma.

Figura 17: Detalhe da fôrma "cachimbo"



Fonte: SILVA (2006)

Segundo SOUZA e RIPPER (1998, p.137) “o concreto de reposição deverá ter resistência no mínimo igual à do concreto existente na estrutura, possuir granulometria e diâmetro máximo do agregado compatíveis com o serviço, além de apresentar uma trabalhabilidade conveniente”.

Para garantir uma boa recuperação, cura adequada deve ser úmida por um período de 7 dias. Para estruturas recém construídas, quanto mais rápido for executado o procedimento (logo

após a desenforma), mais eficiente será o reparo, uma vez que a diferença entre as propriedades dos dois concretos não será muito grande.

3.6.4.4 Reparos com graute

O graute de base mineral ou de base epóxi é um material de grande fluidez, alta resistência, auto adensável, com baixa ou nenhuma retração. É conveniente para reparos profundos e semiprofundos, em locais de acesso difícil, em seções densamente armadas, etc. Apesar de ter na sua composição materiais semelhantes ao concreto e argamassa, os grautes se diferenciam pela peculiaridade da mistura e pelo desempenho; já são encontrados no mercado grautes que alcançam 20 MPa em 24 horas"

A superfície que vai receber o graute deve ser preparada a úmido. Como o graute atinge altas resistências rapidamente, as fôrmas podem ser sempre retiradas em 24 horas e o excesso de graute pode ser retirado como descrito para o concreto com adesivo epóxi. A cura deve ser úmida, por pelo menos 3 dias.

3.6.5 Reforço em estruturas de concreto armado.

Trabalhos de reparo em elementos estruturais de concreto armado são necessários quando se objetiva aumentar a capacidade portante de determinada estrutura, ou regenerar a mesma em caso de diminuição devido à incidência de alguma manifestação patológica. Neste tópico serão abordadas as técnicas de reforço mediante o emprego do concreto, chapas de aço coladas e perfis metálicos.

3.6.5.1 Reforço mediante aumento da seção transversal

O aumento da seção transversal é a técnica de reforço mais simples e mais vantajosa do ponto de vista econômico; nesta é utilizado concreto e armadura na execução do serviço. Em contrapartida, apresenta como desvantagem a interferência arquitetônica, ao resultar em elementos estruturais com dimensões maiores que as iniciais; e o tempo para que a estrutura possa ser colocada em serviço, devido a espera para que o reforço atinja resistência suficiente.

Em casos de recuperação, onde as armaduras de complementação são utilizadas para restabelecer as condições de segurança e desempenho em seções diminuídas pela corrosão, a

adição de novas barras será determinada pela relação $A_{s,corr}$ (área da aço corroída) pela A_s (área de aço original).

É comum admitir-se, no entanto, alguma redução na seção transversal da armadura existente sem que isto implique, diretamente, haver necessidade de complementação, lançando mão da possibilidade de que se conviva com alguma flexibilidade relativamente ao coeficiente de segurança global que se irá obter, após a recuperação. A aceitação de menor área de aço é mais interessante, particularmente em termos de durabilidade, do que a adição de um elemento que venha a complicar os trabalhos de recuperação, principalmente em termos de colocação do material cimentício. (SOUZA e RIPPER, 1998, p.143)

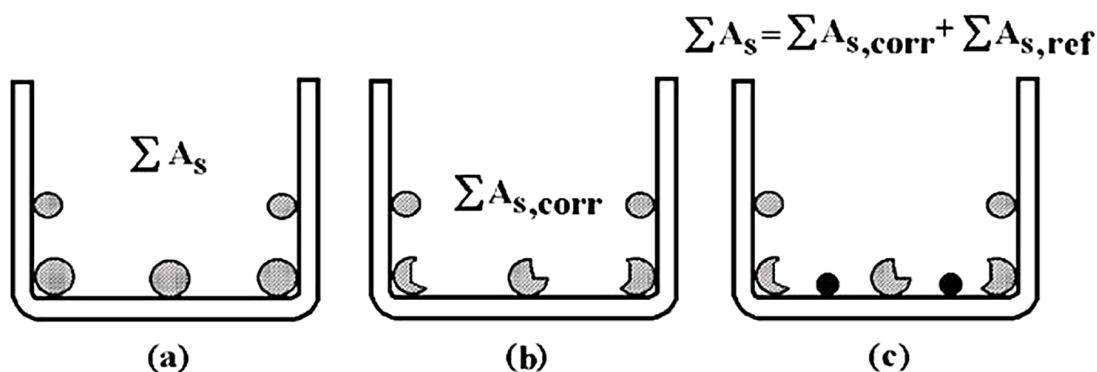
Salvo em casos mais sérios, é comum considerar a necessidade de adição de uma nova barra quando a redução da seção da barra corroída tiver ultrapassando 15%, ou seja:

$$\frac{A_{s,corr}}{A_s} \leq 15\%$$

O limite de 15% é muito discutível, SOUZA e RIPPER (1998) explicam que haverá situações em que o problema não deve ser encarado de forma isolada – complementação barra a barra – mas sim pela avaliação de toda a seção transversal, como mostrado na Figura 18. Nestes casos, só haveria necessidade de serem introduzidas as barras de reforço quando:

$$\frac{\Sigma A_{s,corr}}{\Sigma A_s} \leq 15\%$$

Figura 18: Detalhe da adição de novas barras para complementação da seção de armadura perdida em uma viga.



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

SILVA (2006) resume em cinco as etapas de restauração:

- Corte do pedaço da barra danificado;
- Substituição pelo complemento do pedaço danificado, soldando – opção que nem sempre é possível e irá depender do tipo de aço das armaduras existentes – ou amarrando com arame o complemento ao pedaço da barra, respeitando o transpasse das mesmas. O comprimento do transpasse deve garantir que sejam transferidos para a barra de complementação os esforços que solicitam a barra corroída, de forma que o trabalho solidário das duas efetivamente se consolide.
 - Limpeza da superfície;
 - Aplicação de resina epóxi tanto nas armaduras quanto no concreto, que servirá de ponte de ligação entre o concreto novo e o antigo, garantindo boa aderência para que haja transferência de tensões entre os mesmos. A resina também irá servir como uma barreira impermeável que isolará as armaduras do exterior.
- Reconstrução do elemento estrutural utilizando concreto – projetado ou não -, argamassa convencional ou argamassa epóxi.

Figura 19: Viga preparada para receber reforço com concreto projetado



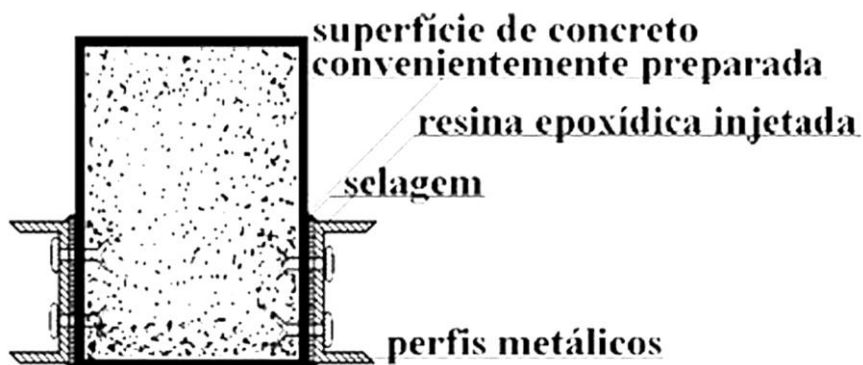
Fonte: SILVA (2006)

3.6.5.2 Reforço com adição de chapas e perfis metálicos

O reforço exterior por colagem – ou chumbamento - de chapas metálicas (Figura 20) ou por chumbamento de perfis (Figura 21), com ajuda de resinas injetadas, é uma técnica de reparo muito eficiente, prática e de rápida execução; apresenta como vantagem também a leveza do material utilizado.

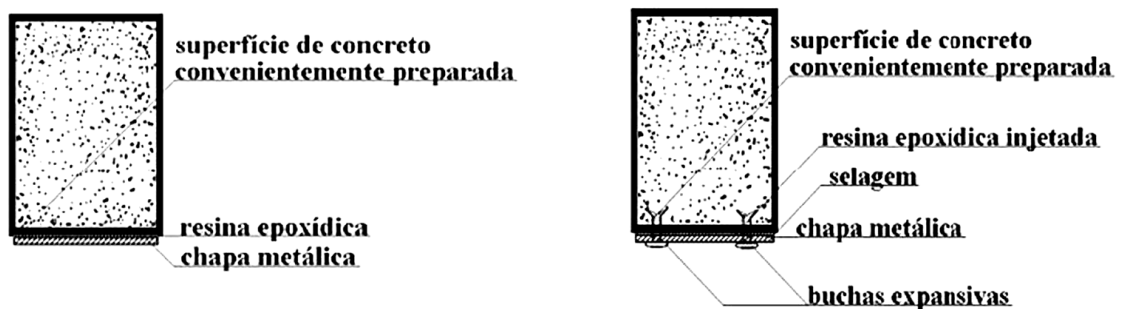
O preparo da superfície de concreto é o mesmo para perfis e chapa, a diferença estará no sistema, uma vez que nos perfis são utilizados chumbadores (normalmente buchas expansivas). A superfície de concreto que ficará em contato com a peça de reparo não deve estar muito lisa ou excessivamente rugosa, pois nas duas situações, irá dificultar a aplicação da resina. Dessa forma, o mais apropriado é que a superfície esteja uniformemente rugosa, apicoada, limpa e seca na altura da aplicação da resina, para que a aderência entre o dispositivo de reparo e o concreto original seja a melhor possível.

Figura 20: Reforço em chapas metálicas, só com colagem (à esquerda) e também com chumbamento.



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

Figura 21: Reforço por chumbamento de perfis metálicos



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998)

3.6.5.3 Reforço com chapas de aço

Esse método consiste na colagem e/ou chumbamento de buchas expansivas ao elemento estrutural deteriorado. Essa técnica, assim como a do uso de perfis metálicos, apresenta a vantagem da leveza do material utilizado, a rápida execução e permanência das dimensões das peças reparadas, como já citado anteriormente. Esse tipo de reforço deve ser aplicado quando a deficiência está localizada nas armaduras e não nas dimensões e qualidade do concreto.

O método das chapas de aço proporciona uma resistência bastante elevada, visto que as características da resina epóxi apresentam propriedades mecânicas muito superiores às do concreto e inferiores às do aço. Ainda assim, é costume prever-se a introdução de um pino (chumbador) na extremidade do comprimento de ancoragem da chapa, que irá trabalhar como contribuição mecânica à transferência de esforços.

CÁNOVAS (1988 *apud* REIS, 2001, p.82) recomenda que a camada de adesivo seja da ordem de 1mm, apesar das dificuldades operacionais de controle desta espessura, tendo em vista que valores mais altos de resistência à tração são obtidos com menores espessuras da camada de adesivo.

Como desvantagem, estas chapas apresentam baixa resistência à altas temperaturas e acabam por esconder fissuras na seção em que estão fixadas. Beber (2003 *apud*, TRINDADE, 2015, p.64) aponta também como ponto negativo o fato das chapas de aço coladas possuírem suscetibilidade à corrosão que as mesmas apresentam após um longo período de exposição, principalmente na região da interface adesivo/chapa, comprometendo a aderência do conjunto.

Figura 22: Reforço estrutural com chapas de aço coladas.



Fonte: REIS (2001 *apud*, TRINDADE, 2015)

3.6.5.4 Reforço com perfis metálicos

O método do reforço com o uso de perfis metálicos é um dos métodos mais tradicionais, geralmente usado em situações de emergência. Não apresenta em geral, grandes alterações na geometria das peças, sendo colocados mediante chumbamento com buchas expansivas e preenchimento com resinas injetáveis, como já citado anteriormente. A preparação da superfície é importante, devendo ser dada especial atenção à perfeita união do reforço com o elemento estrutural em questão. No caso da presença de fissuras, deve-se providenciar o reparo, antes da execução do reforço (REIS, 2001).

Segundo SOUZA e RIPPER (1998), os elementos assim reforçados se comportam, no estado limite último, como peças de concreto armado tradicionais e com armadura total idêntica à soma das armaduras exteriores e interiores da peça reforçada, exibindo, em serviço, melhor comportamento do que as estruturas tradicionais. No dimensionamento deve-se observar se a seção do concreto existente apresenta alguma capacidade portante. Caso não haja, o reforço deverá substituir totalmente o elemento portante, absorvendo a totalidade dos esforços.

Deve-se considerar que a carga na seção do concreto após o reforço seja menor que a capacidade portante da seção original do concreto. As deformações não devem ultrapassar os limites teóricos de ruptura. No caso de pilares, sugere-se a continuidade do reforço nos pavimentos adjacentes, para evitar que apareçam tensões cisalhantes nas lajes, como consequência dos esforços transmitidos pelo reforço.

4. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho consiste na revisão bibliográfica e coleta de dados de manifestações patológicas em elementos estruturais de concreto armado de determinadas edificações da Universidade Federal de Campina Grande, Campus I. Sendo assim caracterizado como estudo de caso.

A pesquisa pode ser classificada como qualitativa, uma vez que a interpretação dos dados coletados e a busca por soluções são características de uma pesquisa dessa natureza. Classifica-se também como uma pesquisa teórica, onde os dados coletados serão comparados com as situações usuais e pertinentes de manifestações patológicas disponíveis na bibliografia.

A revisão bibliográfica foi feita a partir do estudo de artigos, monografias, dissertações, teses, livros, revistas e meios eletrônicos, entre outras fontes, afim de obter o embasamento teórico necessário para a elaboração deste trabalho.

Para a coleta de dados, foi feito um levantamento fotográfico nos locais onde foram identificadas manifestações patológicas. Tentou-se apontar as possíveis causas e origens de cada problema, afim de propor o melhor tratamento de reparo possível para cada elemento estrutural analisado.

Para a classificação do grau de risco, foi utilizado neste trabalho o método de GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), que consiste em uma ferramenta matricial de auxílio na priorização da resolução de problemas. Bastante utilizado em empresas, esse método pode ser aplicado a diversas situações de resoluções de problemas, inclusive para as manifestações patológicas. A matriz serve para classificar cada problema julgado pela ótica da gravidade (do problema), da urgência (de resolução dele) e pela tendência (dele piorar com rapidez ou de forma lenta).

Gravidade: é analisada pela consideração da intensidade ou impacto que o problema pode causar se não for solucionado. Tais danos podem ser avaliados quantitativa ou qualitativamente. Adaptando a pontuação para o cenário das patologias das construções, as notas variam de 1 a 5, onde:

- 1 - Depreciação imobiliária;
- 2 - Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais;
- 3 - Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais;

4 - Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada;

5 - Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave.

Urgência: considera o tempo para a eclosão de danos ou resultados indesejáveis se não se atuar sobre o problema. O período de tempo também é considerado numa escala de 1 a 5:

1 - Não evoluirá;

2 - Evolução a longo prazo;

3 - Evolução a médio prazo;

4 - Evolução a curto prazo;

5 - Evolução imediata.

Tendência: considerar o desenvolvimento que o problema terá na ausência de ação. A tendência também é definida numa escala de 1 a 5:

1 - Imprevisto;

2 - Prognóstico para adiante;

3 - Prognóstico para breve;

4 - A ocorrer;

5 - Em ocorrência.

Após listar e classificar os problemas de 1 a 5, foi possível fazer o ranking dos principais problemas (multiplicando as 3 variáveis o mais grave será aquele com maior produto) e analisar quais são os que precisam de correção com maior urgência.

Tabela 2: Matriz GUT

ITEM		DESCRIÇÃO		
ORDENAÇÃO	G*T*U			
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer

MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

5. ESTUDOS DE CASO

Foram analisadas as estruturas dos blocos CA, CS e CV do Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, com o objetivo de estabelecer um comparativo entre a situação dos mesmos. Essa comparação ajuda a entender as causas que motivaram o desenvolvimento das patologias, uma vez a equipe responsável pela manutenção e a cidade inserida são as mesmas.

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa realizada constando informações gerais das edificações avaliadas, descrição das manifestações patológicas encontradas e suas possíveis causas, grau de risco encontrado de acordo com o método GUT, técnicas executivas e materiais aplicados para a recuperação ou reforço.

5.1 Caso 1 - Bloco CS

A primeira estrutura estudada é a do Bloco CS, próximo aos blocos CT e CS1, situado no Setor C do Campus I. Possuindo apenas o pavimento térreo, na edificação funciona atualmente o Laboratório de Irrigação e Salinidade, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola.

Os problemas patológicos se manifestaram nos pilares da parte externa do prédio, onde em um total de trinta e quatro pilares, apenas dois não apresentaram patologias durante a inspeção visual. Foram encontrados pilares sofrendo ataque biológico, desagregação do concreto devido à corrosão, fissuras e em contato constante com a água.

Afim de tratar do assunto de uma forma não repetitiva, foram abordados neste trabalho os pilares mais representativos das manifestações encontradas.

Figura 23: Vista frontal do bloco CS



Fonte: Própria do autor, 2017

5.1.1 Pilar 12

Descrição visual: desagregação do concreto devido à corrosão nas armaduras.

Fase(s) de origem do problema: projeto, execução e utilização.

Possíveis causas: por meio de inspeção visual, pôde-se observar a corrosão da peça estrutural, com a armadura exposta em três faces dos pilares. Devido à ocorrência da corrosão, as barras de aço expandiram o seu volume, fazendo com que houvesse desagregação do concreto que atuava como cobertura da armadura.

Ao retirar um pedaço de concreto (ver Figura 25), descobrindo a armadura, constatou-se que a mesma se apresenta oxidada. Aparentemente, o concreto encontra-se em bom estado. Como a corrosão é generalizada, a causa provável é de ordem química.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) a classe onde a peça está inserida pode ser considerada II – Urbana, com risco pequeno de deterioração. Porém, por se encontrar em uma cota mais baixa que o bloco vizinho (CT), e devido à falta de drenagem no local, em tempos chuvosos a calçada no lado esquerdo do bloco, onde o pilar está localizado, a umidade é constante. Além dessa situação climática, as águas residuais do ar condicionado ficam acumuladas na mesma calçada diariamente, contribuindo para umidade constante no local, situações que podem não ter sido previstas no projeto estrutural.

Para a classe de agressividade ambiental II, o cobrimento nominal indicado na NBR 6118 (ABNT, 2014 p.20) é de 30 mm. Não se sabe ao certo qual era a norma vigente na época da concepção da estrutura e qual o cobrimento adotado. Entretanto, apesar de não ter sido feitas medidas precisas no local, é possível constatar facilmente que o cobrimento da peça não foi suficiente para atuar como uma barreira protetora contra agentes agressivos. Provavelmente o pouco cobrimento deixado nas armaduras tenha sido um erro durante a fase de execução.

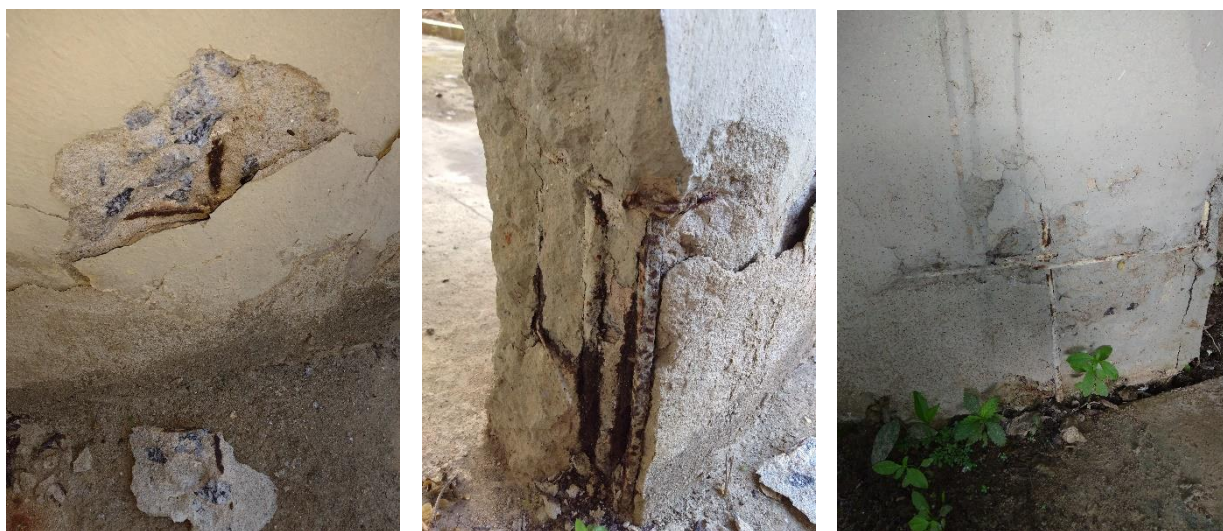
Somando a umidade constante com o pouco cobrimento, acredita-se que houve a despassivação por ação de cloretos. A falta de manutenções periódicas e o fato de que esse é um prédio antigo, que quando construído não houve um controle tecnológico do concreto como é feito nas construções atuais, também contribuíram para o ingresso de agentes agressivos ao interior do pilar, que por sua vez apresentou um problema patológico, comprometendo a capacidade portante do mesmo.

Figura 24: Região úmida próximo ao pilar



Fonte: Própria do autor, 2017.

Figura 25: Manifestação patológica no Pilar 12 do Bloco CS



Fonte: Própria do autor, 2017

Tabela 3: Matriz GUT para o Pilar 16 do Bloco CS

PATOLOGIA	01	DESCRIÇÃO	Desagregação do concreto devido à corrosão nas armaduras	
ORDENAÇÃO	60	3	4	5
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA

MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado:

- Inicialmente deve ser feito a remoção de todo concreto fraco, solto, laminado ou trincado, até o encontro da armadura sadia, utilizando as ferramentas adequadas ao tipo de serviço.
- Proceder com apicoamento, deixando a superfície rugosa para melhor aderência ao material de reparo.
- Realizar limpeza da armadura através dos procedimentos de jateamento com água, e após, com ar comprimido.
- Para barras onde a perda da seção for maior que 15%, será necessária substituição das barras velhas por novos segmentos. Dependendo da situação da armadura após a remoção das barras corroídas, o problema não deverá ser encarado de forma isolada – complementação barra a barra – mas sim pela avaliação de toda a seção transversal, como mostrado na Figura 18.
- Aplicar um primer anticorrosivo a base de zinco para proteção das armaduras.
- Preencher a abertura com graute, que possui alta resistência e alta fluidez, por dentro de formas confeccionadas no local;
- Fazer cura úmida da região reparada por no mínimo 3 dias para que se evite o fenômeno da retração na superfície tratada.

O mesmo tratamento pode ser utilizado nos pilares P6, P8, P10, P28, P32, P33 e P34 por apresentarem a mesma manifestação patológica, praticamente no mesmo estágio do P12.

5.1.2 Pilar 31

Sintomas: ataque biológico

Fase(s) de origem do problema: execução e utilização.

Causas: como citado no 3.4.6.2 (e), houve um ataque biológico onde as raízes da vegetação penetraram no concreto e acharam o ambiente próprio ao seu desenvolvimento; essas raízes ocuparam espaço no elemento estrutural, gerando tensões internas e forças expansivas que fraturaram o concreto, facilitando o transporte de outros agentes agressivos para seu interior.

É provável que tenham acontecido falhas durante a execução do pilar, onde as raízes das vegetações encontraram fendas ou zonas porosas do concreto favoráveis ao seu crescimento. Além disso, a falta de manutenções também contribuiu para a deterioração do pilar, uma vez que limpezas periódicas poderiam ter evitado o ataque.

Figura 26: Ataque biológico ao pilar 31 do Bloco CS



Fonte: Própria do autor, 2017

Tabela 4: Matriz GUT para o pilar 31 do Bloco CS

PATOLOGIA	02	DESCRIÇÃO	Raízes da vegetação no concreto	
ORDENAÇÃO	60	3	4	5
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA

MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado:

- Remover toda vegetação no pilar e em seu envolto por meio de limpeza manual.
- As etapas seguintes para o tratamento são as mesmas indicadas para a patologia apresentada anteriormente (P12), desde a remoção de todo concreto doente até a cura úmida, uma vez que o pilar além do ataque biológico também está sofrendo desagregação do concreto e corrosão das armaduras.
- Como se trata de um processo biológico o mais indicado, após a recuperação do pilar, é tornar o ambiente (pilar) impróprio para o desenvolvimento de um posterior ataque. Para isso, pode-se optar por revestir o pilar com material impermeabilizante mais resistente que o utilizado anteriormente.

O mesmo tratamento é indicado para os pilares P1, P3, P17, P19, P21, P23 e P29, que se encontram em estado semelhante.

5.1.3 Pilar 30

Sintomas: pilar fissurado

Fase(s) de origem do problema: projeto, materiais, execução e utilização.

Possíveis causas: o fato das fissuras serem paralelas as barras de aço, pode indicar um processo de fissuração devido à corrosão das armaduras, onde o aumento do volume das barras gerou tensões capazes de fissurar o concreto. Além disso, pilares próximos a este estão com armaduras sofrendo corrosão, o que pode indicar que o mesmo esteja acontecendo com o P30.

Caso as barras estejam sofrendo corrosão de fato, é possível que tenha sido consequência do pouco cobrimento deixado durante a fase de execução, fazendo com que as barras tenham ficado com uma barreira protetora pouco eficiente.

Entretanto, assim como citado por HELENE (1993) no tópico 3.4.6.1 deste trabalho, concreto com resistência inadequada, ambiente agressivo não considerado no projeto, manutenção inadequada ou inexistente, também são falhas relacionadas as fases de projeto, escolha dos materiais de construção e utilização respectivamente, que poderiam desencadear o processo corrosivo na peça.

Nas imagens é possível ver que foi feito um reparo com argamassa convencional no local, mas assim como citado no tópico 3.6.4, quando não é utilizado na situação adequada não é capaz de recuperar o elemento estrutural devidamente.

Figura 27: Manifestações patológicas no pilar 30 do bloco CS



Fonte: Própria do autor, 2017

Tabela 5: Matriz GUT para o pilar 30 do Bloco CS

PATOLOGIA	03	DESCRIÇÃO	Pilar com fissuras	
ORDENAÇÃO	45	3	3	5
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA

MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado: É necessário que seja avaliada de forma mais precisa a situação do pilar. Para isso, é indicada a realização de ensaios para confirmar se de fato está ocorrendo corrosão nas armaduras. O ensaio de Potencial de Corrosão (descrito pela ASTM C876) pode ser útil para chegar a uma conclusão.

É importante ressaltar que mesmo que a causa das fissuras não seja a corrosão das barras, essas aberturas podem servir como caminho para penetração de agentes agressivos que podem provocar corrosão, caso não sejam reparadas o quanto antes.

5.1.4 Pilar 15

Sintomas: umidade na base do pilar.

Fase(s) de origem do problema: utilização.

Causas: caixa de ar condicionado vazando água constantemente próximo ao pilar.

Figura 28: Manifestação patológica no pilar 15 do Bloco CS



Fonte: Própria do autor, 2017.

Tabela 6: Matriz GUT para o pilar 15 do Bloco CS

PATOLOGIA	04	DESCRIÇÃO	Umidade na base do pilar	
			3	5
ORDENAÇÃO	15	1		
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado: Consertar o vazamento do ar condicionado ou direcionar a saída de água para local adequado.

Devido à umidade constante no local existe o risco de haver corrosão nas armaduras do pilar, que pode comprometer sua capacidade portante. Além disso, há também o prejuízo estético para a edificação, que causa depreciação imobiliária.

Outro pilar apresentando problema semelhante é o P2, onde um condutor vertical aberto vaza água em uma das faces do pilar quando chove. Para o P2 o tratamento indicado é consertar o condutor vertical, com GUT igual ao P15 (15).

5.2 Caso 2 - Bloco CV

A segunda estrutura estudada é a do bloco CV, também localizada no setor C do campus I, próximo aos blocos CW e CX. O bloco possui apenas o pavimento térreo, com pé direito duplo na parte frontal (fachada da Rua Leniel Sucupira M Deajmeira) da edificação, onde funciona o Laboratório de Saneamento, da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil.

Esse prédio apresenta algumas patologias na alvenaria, nas instalações hidráulicas e no revestimento em geral, porém, a estrutura se encontra bem conservada. De acordo com um funcionário que trabalha no laboratório, o senhor Francisco Bandeira, o bloco CV é um dos blocos mais antigos da universidade que nunca passou por reforma.

Figura 29: Vista frontal do Bloco CV



Fonte: Própria do autor, 2017

5.2.1 Viga no Bloco CV

Descrição visual: corrosão na armadura positiva da viga

Fase(s) de origem do problema: utilização.

Causas: segundo o laboratorista que trabalha no bloco CV, o senhor Francisco Bandeira, a caixa d'água acima da viga apresentou um vazamento durante algumas semanas, já tendo sido reparada no momento da inspeção. Esse vazamento possivelmente resultou na despassivação da armadura devido ao ataque de íons de cloretos presentes na água, deixando o aço susceptível ao processo corrosivo.

Figura 30: Manifestação patológica em viga do Bloco



Fonte: Própria do autor, 2017

Tabela 7: Matriz GUT para viga no Bloco CS

PATOLOGIA	05	DESCRIÇÃO	Corrosão na armadura positiva da viga	
ORDENAÇÃO	45	3	3	5
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação,	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante

		uso não racional dos recursos naturais		
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado: Como o vazamento já foi consertado, a próxima etapa deve ser o reparo da viga.

É possível que a armadura positiva também esteja sofrendo corrosão, dessa forma, é necessário avaliar a situação da viga por um todo, pois na inspeção inicial só foi possível observar um pequeno trecho da viga.

5.2.2 Laje do laboratório de saneamento

Sintomas: infiltração na laje.

Fase(s) de origem do problema: materiais de construção, execução, utilização.

Causas: vazamento na caixa d'água acima da laje.

É possível que os materiais utilizados para impermeabilizar a caixa d'água não tenham sido escolhidos adequadamente ou que tenham ocorrido falhas durante a execução. Além disso, a falta de manutenções preventivas contribuiu para a origem do problema.

Figura 31: Manifestação patológica em laje do Bloco



Fonte: Própria do autor, 2017

Tabela 8: Matriz GUT para laje do Bloco CV

PATOLOGIA	06	DESCRIÇÃO	Infiltração na laje
------------------	-----------	------------------	----------------------------

ORDENAÇÃO	2	2	1	1
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado: Assim como na viga, devido ao fato do vazamento já ter sido consertado, a situação provavelmente não evoluirá. Entretanto é necessário verificar a situação da laje na parte externa, pois é possível que exista outros danos além do que foi identificado na primeira inspeção.

Caso não exista outros danos, proceder com aplicação de massa acrílica e tinta para acabamento do revestimento da laje.

5.2.3 Pilar no Bloco CV

Descrição visual: desagregação do concreto devido a corrosão nas armaduras na base do pilar.

Fase(s) de origem do problema: utilização.

Causas: diferente da maioria dos pilares do Bloco CS, neste pilar foi possível constatar que o cobrimento das armaduras é compatível com o previsto em normas para a época em que a estrutura foi dimensionada. Até 2003 o cobrimento mínimo para pilares inseridos nesse tipo de ambiente (II Moderado – Ambiente Urbano segundo NBR 6118/2003) era 25mm. Apesar de durante a execução o lado esquerdo do pilar ficar com um cobrimento menor, esse ainda foi maior que 25mm.

A possível causa para o surgimento deste problema pode ter sido a umidade constante devido as águas residuais que saem do ar condicionado ao lado, que possivelmente resultou na

despassivação da armadura devido ao ataque de íons de cloretos presentes na água, deixando o aço susceptível ao processo corrosivo.

Figura 32: Manifestação patológica em pilar do Bloco CV



Fonte: Própria do autor, 2017

Tratamento indicado: é indicado o mesmo tratamento citado no tópico 5.1.1 deste trabalho, pois são manifestações patológicas semelhantes.

Tabela 9: Matriz GUT para pilar do Bloco CV

PATOLOGIA	07	DESCRIÇÃO	Corrosão da armadura na base do pilar	
			4	5
ORDENAÇÃO	60	3		
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação,	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante

		uso não racional dos recursos naturais		
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

5.3 Caso 3 – Bloco CA

A terceira estrutura estudada foi o Bloco CA, também localizado no setor C, próximo ao bloco REENGE e ao lago do campus I. O bloco possui pavimento térreo e primeiro andar.

Até 2010 o CA era bastante utilizado pelas Unidades Acadêmicas de Matemática e Física, onde eram ministradas parte das aulas das disciplinas do básico para as turmas das engenharias. Desde 2011, quando o CAA foi inaugurado, esse bloco passou a ser menos utilizado, hoje em dia funcionando apenas algumas aulas de monitorias.

Figura 33: Bloco CA



Fonte: Própria do autor, 2017

5.3.1 Laje no corredor do primeiro andar

Descrição visual: infiltração de água na laje

Fase(s) de origem do problema: materiais de construção, execução, utilização.

Causas: não foi possível identificar a origem da água que está infiltrando, existe a possibilidade de ela ser proveniente tanto da água da chuva como de um vazamento em uma instalação hidráulica. Além disso, segundo a Prefeitura Universitária, nos últimos meses apenas a pintura do bloco recebeu manutenções.

Como consequência essa patologia pode desenvolver corrosão nas armaduras da laje, com o risco de haver um comprometimento da estrutura da edificação, colocando em risco a

segurança dos usuários. Além disso há deterioração do revestimento, prejuízo estético para a edificação, causa incômodo aos usuários e provoca depreciação do valor do prédio.

Figura 34: Manifestação patológica em laje do Bloco CA



Fonte: Própria do autor, 2017

Tabela 10: Matriz GUT para laje do bloco CA

PATOLOGIA	08	DESCRIÇÃO	Infiltração de água	
ORDENAÇÃO	30	5	3	2
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado: a correção do problema dependerá da origem da água que se infiltra. Caso a água seja proveniente da chuva, deve-se procurar o local de entrada na edificação e eliminar essa porta de passagem, impermeabilizando o local. No caso desta ser proveniente de um vazamento em uma instalação hidráulica, o recomendável encontrar o ponto do vazamento e verificar a necessidade de trocar a(s) peça(s); caso seja necessário, trocá-las o mais rápido possível.

É imprescindível corrigir esse problema o quanto antes para evitar que a umidade cause corrosão na armadura da laje.

5.3.2 Viga no térreo do Bloco CA

Descrição visual: armadura positiva da viga exposta.

Fase(s) de origem do problema: utilização.

Causas: a alvenaria abaixo da viga foi removida recentemente para abertura de uma nova porta para a escada do prédio. Acredita-se que durante o processo de retirada da alvenaria, a viga tenha sido atingida por alguma ferramenta, e devido ao choque, tenha sido desagregada uma parte do concreto, deixando um pedaço da armadura negativa exposta.

Como consequência, a exposição das barras de aço pode desencadear um processo corrosivo na viga caso não seja reparada rapidamente.

Figura 35: Manifestação patológica em viga do Bloco CA



Fonte: Própria do autor, 2017

Tabela 11: Matriz GUT para viga do Bloco CA

PATOLOGIA	09	DESCRIÇÃO	Armadura positiva da viga exposta	
ORDENAÇÃO	30	2	3	5
GRAU	NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
MÁXIMO	5	Risco à vida dos usuários, colapso da edificação, dano ambiental grave	Evolução imediata	Em ocorrência
ALTO	4	Risco de ferimento aos usuários, avaria não recuperável na edificação, contaminação localizada	Evolução a curto prazo	A ocorrer
MÉDIO	3	Insalubridade aos usuários, deterioração elevada da edificação, desperdício dos recursos naturais	Evolução a médio prazo	Prognóstico para breve
BAIXO	2	Incomodo aos usuários, degradação da edificação, uso não racional dos recursos naturais	Evolução a longo prazo	Prognóstico para adiante
MÍNIMO	1	Depreciação imobiliária	Não evoluirá	Imprevisto

Tratamento indicado:

- Proceder com apicoamento, deixando a superfície rugosa para melhor aderência ao material de reparo e removendo qualquer parte de concreto que esteja solto na região;
- Realizar limpeza da armadura através de escovação manual e posteriormente, utilizar jato de ar comprimido;
- Aplicar um primer anticorrosivo a base de zinco para proteção das armaduras;
- Preencher a abertura com graute, que possui alta resistência e alta fluidez, por dentro de formas confeccionadas no local;

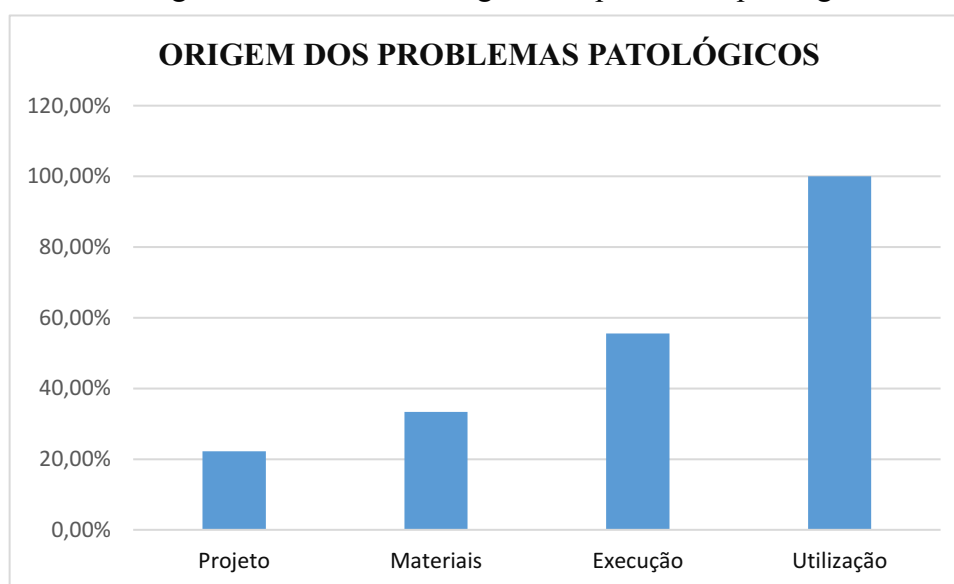
5.4 Patologia segundo suas origens

A síntese dos resultados obtidos, quanto a incidência ou não de patologias está agrupada na Tabela 11 e ilustrada no gráfico (Figura 37) a seguir:

Tabela 12: Origem dos problemas patológicos

ORIGEM DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS				
Patologia	Projeto	Materiais	Execução	Utilização
1	Sim	Não	Sim	Sim
2	Não	Não	Sim	Sim
3	Sim	Sim	Sim	Sim
4	Não	Não	Não	Sim
5	Não	Não	Não	Sim
6	Não	Sim	Sim	Sim
7	Não	Não	Não	Sim
8	Não	Sim	Sim	Sim
9	Não	Não	Não	Sim
Frequência(%)	22,2%	33,3%	55,6%	100,0%

Figura 36: Gráfico das origens dos problemas patológicos



Nas manifestações patológicas citadas, os problemas originados na fase de utilização (onde implicitamente está agregada a questão do baixo número – ou até mesmo falta – de manutenções), poderiam ter sido evitados completamente caso houvesse manutenções preventivas periódicas nos locais. Mesmo para os casos onde a utilização não foi a única fase que originou o problema, o grau de deterioração das peças poderia ser bem menor se a edificação fosse bem conservada.

É possível afirmar que as três edificações avaliadas têm em comum a escassez de manutenções. Entretanto, a maneira como a edificação é utilizada no seu dia-a-dia influencia bastante na sua conservação.

O Bloco CV, apesar de antigo, é bem conservado pelos funcionários que o utilizam. Tanto na parte interna quando nos seus arredores, é possível ver que o bloco está sempre limpo. O Bloco CA, apesar de ter uma estrutura muito conservada, apresenta diversos problemas de revestimento que podem servir como passagem para agentes agressivos chegarem até os elementos estruturais.

Já o Bloco CS apresenta inúmeros problemas: além dos pilares citados neste trabalho, o mesmo apresenta problemas nas instalações hidráulicas, revestimento, alvenaria e esquadrias; somando-se a essas patologias, outra questão negativa é o fato de que os arredores do bloco estão sempre muito úmidos ou sujos. Mesmo este sendo um prédio antigo, todos estes fatores afetam de forma prejudicial e aceleram o fim da vida útil da edificação como um todo.

5.5 Situação dos blocos segundo o Método GUT

Organizando os valores obtidos de acordo com o Método GUT em forma decrescente (onde os maiores valores representam os problemas que necessitam de reparo com maior urgência), temos:

Tabela 13: Ordenação dos problemas patológicos de acordo com o método GUT

ORDEM	PATOLOGIA	GUT
1º	01 (CS)	60
1º	02 (CS)	60
1º	07 (CV)	60
2º	03 (CS)	45
2º	05 (CV)	45
3º	08 (CA)	30
3º	09 (CA)	30
4º	04 (CS)	15
5º	06 (CV)	2

A partir da Tabela 13 é possível ver quais elementos estruturais necessitam de reparo com maior urgência.

Fazendo a somatória dos GUT de cada bloco e dividindo pelo número de elementos avaliados, temos: Bloco CS – GUT = 45;

Bloco CV – GUT = 36;

Bloco CA – GUT = 30.

Mostrando o Bloco CS como aquele que precisa de intervenção com maior urgência. Além disso, o prédio apresenta problemas em mais 28 pilares além dos 4 citados neste trabalho.

6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

6.1 Conclusões

Considerando os estudos bibliográficos e os dados obtidos neste trabalho, é possível constatar que muitos dos problemas estruturais poderiam ser evitados caso houvesse um maior cuidado nas fases de planejamento/projeto, escolhas de materiais, execução e uso das edificações. Podendo assim retardar ou até mesmo evitar a necessidade de trabalhos de recuperação e reforço nas estruturas.

As principais origens dos problemas patológicos verificados nos blocos do Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, foram as seguintes:

- Falhas de projeto – 22,2%
- Emprego inadequado de materiais – 33,3%
- Falhas de execução – 55,6%
- Falhas de uso/manutenção – 100,0%

Para os dados utilizados neste trabalho observou-se que a falta de manutenção foi o principal fator contribuinte para o surgimento de problemas patológicos. Como citado no início do trabalho, as manutenções corretivas têm um custo de tempo e dinheiro muito mais elevado que as manutenções preventivas. Por se tratar de prédios públicos, além do tempo para a execução do reparo existe a demora do processo licitatório para a realização de reformas, que torna o processo ainda mais longo.

É importante ressaltar que, assim como citado no tópico 3.4 deste trabalho, a determinação das causas e origens dos problemas patológicos costumam variar de pesquisador para pesquisador, e uma das razões é que, em alguns casos, as causas são tantas que é difícil definir a preponderante.

Outro fator agravante é a idade avançadas dessas edificações, que mesmo se foram executadas e projetadas seguindo as normas técnicas, estas já estão ultrapassadas para os dias atuais. Necessitando de uma atenção maior ainda para suas manutenções, tanto por questão de segurança quanto por preservação dos prédios da universidade.

Um projeto estrutural adequado ou o uso de tecnologias de última geração não garante o bom desempenho de uma edificação. Para se obter uma estrutura durável e eficiente é preciso que todas as etapas desde sua concepção até sua utilização sejam bem definidas e bem executadas. A fiscalização de uma obra como um todo não é uma tarefa fácil, mas se há o

mínimo de capacidade, empenho e especialização dos trabalhadores, já é possível reduzir a quantidade de erros significativamente.

Como foi visto no tópico 3.6 deste trabalho, há um grande número de técnicas e procedimentos de recuperação e reforço a serem adotadas de acordo com cada situação. Além disso, a cada dia surgem novos métodos e aprimoramentos dos já existentes, com o propósito de melhorar o desempenho das estruturas tratadas. Para os casos abordados foram indicados tratamentos baseando-se na situação em que os elementos foram encontrados durante a inspeção, mas os mesmos podem ser substituídos ou adaptados durante a execução, se for necessário.

Por fim, é necessário que se tenha cautela em todos os estágios, desde o diagnóstico até o reparo, quando se trata das patologias do concreto armado. Um diagnóstico correto associado a uma escolha adequada da técnica de recuperação e uma mão de obra qualificada, irá proporcionar um bom resultado. Porém, um erro em qualquer uma dessas etapas pode acabar agravando ainda mais o problema inicial.

6.2 Sugestões para futuras pesquisas

Seguem abaixo algumas recomendações para futuras pesquisas nesta temática:

- Realizar orçamentos para quantificar em termos de custo o valor dos reparos para as edificações avaliadas no presente trabalho.
- Realizar estudos, da mesma natureza do presente trabalho, envolvendo outros tipos de patologias das construções (instalações hidráulicas, revestimento, alvenaria, esquadrias, etc) tanto nas edificações abordadas neste trabalho como em outros blocos do Campus I da Universidade Federal de Campina Grande.
- Realizar estudos semelhantes a este em elementos estruturais das principais ruas de Campina Grande (como as marquises do centro da cidade).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674:2012: **Manutenção de edificações – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 6118:2014 **Projeto de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12654:1992: **Controle tecnológico de materiais componentes do concreto**. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931:2004: **Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREGO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118 e a proposta de 1999 (NB1/99)**. São Paulo, 2011.

CLIMACO, J.C.T.S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. Editora Universidade de Brasília: Finatec, Brasília, 2005.

DA SILVA, T. J. **Como estimar a vida útil de estruturas projetadas com critérios que visam a durabilidade**. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2002.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações / Eduardo Albuquerque Buys Gonçalves – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2015.**

GROCHOSKI, Maurício. HELENE, Paulo R. L. **Sistemas de reparo para estruturas de concreto com corrosão de armaduras**. - São Paulo: EPUSP, 2008. 21 p. - (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/5)

HELENE, Paulo R. L. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**; Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 1993.

MARCELLI, M. **Sinistros na Construção Civil: Causas e Soluções para Danos e Prejuízos em Obras** - São Paulo: Pini, 2007.

MOLIN, D.C.C.D.; PAULETTI, C.; POSSAN, E. **Carbonatação acelerada: Estado da arte das pesquisas no Brasil**. Ambiente construído, Porto Alegre, 2007.

SANTOS, Aleílson Vilas-Bôas dos Santos. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação**. Instituto de Pós-Graduação – IPOG. Salvador, 2015.

SILVA, Kathia Batista de Asevêdo. **Das patologias em edificações na cidade de Campina Grande e da necessidade de legislação preventiva eficaz** /Kathia Batista de Asevêdo Silva. – Campina Grande, 2010.

DA SILVA, E. A. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Erick Almeida da Silva. São Paulo, 2006

SILVA, LUIZA K. **Levantamento de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado no Estado do Ceará**. Trabalho de Conclusão de Curso. Fortaleza, 2011.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

TRINDADE, Diego S. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado**. Trabalho De Conclusão de Curso. Santa Maria, RS, 2015.