

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE MATIAS DO NASCIMENTO CARDOSO

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE PATOLOGIAS E REFORÇO
ESTRUTURAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM SÃO LUÍS-MA.**

Orientador: Prof. M.Sc. Mikhail Luczynski

São Luís/MA

2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE MATIAS DO NASCIMENTO CARDOSO

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE PATOLOGIAS E REFORÇO
ESTRUTURAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM SÃO LUÍS-MA**

Trabalho de Conclusão de curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Mikhail Luczynski

São Luís/MA

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

MATIAS DO NASCIMENTO CARDOSO, FELIPE.
CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE PATOLOGIAS E REFORÇO
ESTRUTURAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM SÃO LUÍS-MA / FELIPE
MATIAS DO NASCIMENTO CARDOSO. - 2018.
110 f.

Orientador(a): Mikhail Luczynski.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil,
Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2018.

1. Condomínio Residencial. 2. Patologias. 3.
Recuperação estrutural. I. Luczynski, Mikhail. II.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FELIPE MATIAS DO NASCIMENTO CARDOSO

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DE PATOLOGIAS E REFORÇO
ESTRUTURAL EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO EM UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL EM SÃO LUÍS-MA**

Aprovado em: 10/07/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc. MIKHAIL LUCZYNSKI
Curso de Engenharia Civil – UFMA/CAMPUS SÃO LUIS



Prof. Dr. PAULO CESAR DE OLIVEIRA QUEIROZ
Curso de Engenharia Civil – UFMA/CAMPUS SÃO LUIS



Prof. Esp. JOSÉLIA SIQUEIRA MACHADO FITERMAN
Curso de Engenharia Civil – UFMA/CAMPUS SÃO LUIS

***Dedico este trabalho
primeiramente a Deus, por
ser essencial em minha vida
e aos meus familiares pelo o
apoio e incentivo ao ensino, e
a todos que de forma direta
ou indireta contribuíram para
a concretização deste sonho.***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado coragem e discernimento para não desistir dos meus objetivos.

Ao professor M.Sc Mikhail Luczynski pela dedicação e profissionalismo desde o princípio até a concretização desse nosso trabalho.

A todos os meus amigos, em especial Silas Rodrigues, Dayanne Ferreira, Ronald Carvalho, Newson Cruz, Roni Mendes e Fernando Freire por sempre estarem me ajudando.

A toda a família Marques, por todo o carinho e admiração.

A minha mãe, Maria Orneide que mesmo após a morte do meu Pai, Manoel Matias, esteve me incentivando a buscar pelos meus sonhos e permaneceu orando por mim.

Aos meus irmãos, Manoel Matias, Talia do Nascimento e Taiane Cardoso, pelo amor e preocupação ao longo desta etapa.

Aos meus tios, Catarino e Gracy Lima por terem me ajudado em tudo e acreditarem em mim.

A Universidade Federal do Maranhão, pelo apoio e incentivo à pesquisa, a qual desde quando fui transferido do campus de Balsas, esteve me ajudando com auxílio moradia e alimentação.

RESUMO

As técnicas de intervenções corretivas assim como a qualidade da recuperação das estruturas de concreto dependem da análise precisa das causas que os tornaram necessários e do estudo detalhado dos efeitos produzidos. Este trabalho mostra os procedimentos de recuperação estrutural baseada em análise das manifestações patológicas identificadas em um condomínio residencial na cidade de São Luís-MA, embasados em técnicas consolidadas no âmbito do reparo, recuperação e reforço de estruturas de concreto armado. Os elementos estruturais estudados foram da área de lazer do condomínio, sendo a piscina de concreto armado e o salão de festas. A partir das análises patológicas, verificou-se diversas patologias, além de erros de execução de obras, por exemplo, ausência de armadura passiva na ligação entre as paredes de concreto além de um processo de corrosão nos elementos estruturais e posteriormente escolheu-se a terapia mais eficiente a ser utilizada na recuperação das estruturas o que proporcionou a recuperação da capacidade funcional das mesmas.

Palavras chaves: Recuperação estrutural, Condomínio Residencial, Patologias.

ABSTRACT

The techniques of corrective interventions as well as the quality of the recovery of the concrete structures depend on the precise analysis of the causes that made them necessary and the detailed study of the produced effects. This work shows the procedures of structural recovery based on the analysis of the pathological manifestations identified in a residential condominium in the city of São Luís, based on consolidated techniques in the scope of repair, recovery and reinforcement of reinforced concrete structures. The structural elements studied were the condominium's leisure area, being the reinforced concrete pool and the ballroom. From the pathological analysis, several pathologies were verified, besides errors in works execution, for example, absence of passive reinforcement in the connection between concrete walls besides a process of corrosion in the structural elements and later the most efficient therapy was chosen more efficient to be used in the recovery of the structures which provided the recovery of the functional capacity of these structures.

Keywords: structural recovery, pathologies, residential condominium.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Joseph-Louis Lambot (a); Protótipo original do primeiro barco de concreto (b).	6
Figura 2: Joseph Monier (1823) (a); Primeira ponte de concreto armado (1875), feita por Monier (b).	6
Figura 3: Marquise no Jockey Clube do Rio de Janeiro	8
Figura 4: Patologias nas etapas de processo de construção.	9
Figura 5: Espaçamento irregular em armadura de laje (a); Armadura negativa da laje fora da posição.	11
Figura 6: Desenvolvimento da reação álcalis-agregado no concreto.	14
Figura 7: Bloco de concreto armado com fissuras devido à reação álcalis-agregado.	14
Figura 8: Esquema estrutural usado para cálculo de vigas em edifícios.	16
Figura 9: Comparação entre diferentes situações de detalhamento de armaduras.	18
Figura 10: Configurações genéricas das principais fissuras em função do tipo de solicitação.....	21
Figura 11: Fissuração em viga submetida a flexocompressão.....	22
Figura 12: Fissuras por compressão sem e com confinamento.	22
Figura 13: Fissuras em vigas originadas por esforço de flexão.....	23
Figura 14: Ensaio de compressão (a); Ruptura de corpos de prova submetidos à compressão uniaxial.....	24
Figura 15: Pilar submetido a flexão e compressão.....	25
Figura 16: Fissuras em vigas originadas por cisalhamento.....	25
Figura 17: Fissuras a 45° causadas por esforço de torção.	26
Figura 18: Torção em vigas e laje.	27
Figura 19: Viga com fissuras por esmagamento	27
Figura 20: Fissuras causada devido a deficiência de armadura (a); fissuras na face inferior da laje	28
Figura 21: Fissuras por esmagamento em lajes (a); Fissuras por flexão na fase superior da laje.....	29
Figura 22: Fissuração por torção.....	29
Figura 23: Configuração de fissuras por puncionamento.	30

Figura 24: exemplos de fissuração por retração em lajes de concreto.	31
Figura 25: Configuração de fissuras (a); Fissuras no elemento estrutural (b). 31	
Figura 26: Ilustração de fissuras por perda de aderência por efeito parede. ...	33
Figura 27: Pilar sofrendo corrosão.	34
Figura 28: Tipos de corrosão e fatores que provocam.	35
Figura 29: Desagregação do concreto em viga.	37
Figura 30: Pilar em concreto armado degradado por incêndio.	37
Figura 31: Esquema representativo dos componentes da resina epóxi.	39
Figura 32: Apicoamente manual em um pilar de concreto armado (a); Apicoamento mecânico com martelo pneumático (b).	44
Figura 33: Reparos superficiais com espessura máxima de 2 cm em Vigas, pilares ou laje.	45
Figura 34: Adesivo epóxi aplicado em superfície de concreto armado.	46
Figura 35: Corte em estrutura de concreto, com remoção profunda.	47
Figura 36: Situações de confrontação corte x comprimento de ancoragem e armarração de barras de complementação.	48
Figura 37: Preparação da fenda para o procedimento de injeção.	51
Figura 38: Etapas do processo de injeção em fissuras.	51
Figura 39: Ilustração de reparo de fissuras por costura. Estrutura de concreto grampeada por costura (a); grampos de aço (b); estrutura de alvenaria com concreto, com grampos de aço dispostos com inclinações diferentes.	52
Figura 40: Ilustração corte no concreto.	55
Figura 41: Esquema ilustrativo etapa 2.	55
Figura 42: Processo executivo na laje e apoio.	56
Figura 43: Esquema de disposição final, para grautemamento.	56
Figura 44: Esquema ilustrativo de reforço estrutural em lajes.	57
Figura 45: Reforço estrutural em laje submetida a momentos de flexão positivo.	58
Figura 46: Emenda por transpasse em viga de concreto.	59
Figura 47: Barra levemente inclinada para melhoria de emendas.	60
Figura 48: Pilar submetido ao reforço estrutural pelo aumento da seção.	61
Figura 49: viga submetida ao aumento da seção.	62
Figura 50: aumento na face superior da viga.	62
Figura 51: Vista aérea do condomínio com área de lazer a ser analisada.	63

Figura 52: Fissura observada na ligação parede-parede da piscina.....	70
Figura 53: Esquema representativo da disposição dos ferros de amarração..	70
Figura 54: Recobrimento ilustrativo.....	71
Figura 55: Fissura no meio do vão da piscina.....	64
Figura 56: Casa de bombas das piscinas.....	65
Figura 57: Furo na base da parede da casa de bombas.....	65
Figura 58: Curvas e conexões das tubulações da casa de bombas, deterioradas por corrosão..	67
Figura 59: Fissuras horizontais e verticais na extremidade em balanço da laje (a). fissuras inclinadas nos apoios da laje e nas paredes do salão de festa (b).	67
Figura 60: Adesivo Epóxi Sikadur 32..	68
Figura 61: Denverpóxi injeção componente A.....	69
Figura 62: Argamassa estrutural 250.	Erro! Indicador não definido.
Figura 63: Fluxograma das etapas executadas.....	75
Figura 64: Detalhe esquemático da emenda por transpasse associada com grampos de costura imagem em planta (a) e em corte (b); Grampos de aço utilizado.....	76
Figura 65: Execução do corte na parede da piscina	76
Figura 66: Estrutura reforçada com as barras e grampos de aço (66.a), com cobrimento de concreto $\geq 30 \cdot \emptyset$ ($\emptyset = 10 \text{ mm}$) (66.b).	77
Figura 67: Aplicação de injeção com resina epóxi na fissura do meio do vão da piscina.	78
Figura 68: Aplicação da emulsão asfáltica.	79
Figura 69: Injeção no furo com Denverpóxi injeção componente A..	79
Figura 70: Novas peças para encanação.....	79
Figura 71: imagem do pilarete gerado através do software Revit 2017, versão estudantil.....	80
Figura 72: imagem do pilarete gerado através do software Revit 2017, versão estudantil.....	81
Figura 73: imagem das formas gerado através do software Revit 2017, versão estudantil.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores determinantes da corrosão em estruturas de concreto.....	36
Tabela 2: Recomendações para tratamentos de fissuras.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS

NBR 6118 :2014	Normas Brasileiras de Projeto de estruturas de concreto.
IBTS	Instituto Brasileiro de Telas Soldadas
MPa	Megapascal
CO ₂	Gás carbônico
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo Geral	2
1.1.2 Objetivos Específicos	2
1.2 JUSTIFICATIVA	2
2. REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 HISTÓRIA DO CONCRETO	5
2.2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	8
2.2.1. Principais causas das patologias nas estruturas de concreto ..	10
2.2.1.1 Causas intrínsecas	10
2.2.1.2 Causas extrínsecas	15
2.3 PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	19
2.3.1. Principais configurações e causas de fissuras em estruturas de concreto	20
2.3.1.1 Configuração de fissuras devido a deficiência de projeto e execução	21
2.3.1.2 Configuração de fissuras em Lajes	28
2.3.1.3 Configuração de fissura provocada por retração do concreto	30
2.3.1.4 Fissuras devido ao assentamento do concreto e à perda de aderência	32
2.3.1.5 Corrosão em estruturas de concreto armado.	33
2.3.1.6 Desagregação do Concreto	36
2.4 MATERIAS USUAIS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL	38
2.4.1 Materiais a base de polímeros	38
2.4.1.1 Concreto e argamassas modificadas com polímeros	40

2.4.3 Materiais pré-fabricados	40
2.2.3.1 Argamassas prontas.....	40
2.2.3.2 Adesivos:	41
2.2.3.3 Materiais para injeção:.....	42
2.2.3.4 Graute:.....	43
2.5 TÉCNICAS DE REPARO E REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	44
2.5.1 Intervenções em superfícies de concreto armado	44
2.5.1.1 Restauração de elementos estruturais	45
2.5.2 Tratamento de peças fissuradas	48
2.5.2.1 Injeção de fissuras.....	49
2.5.2.2 Grampeamento de fissuras	52
2.5.3 Técnicas usuais de reforço estrutural	53
2.5.3.1 Técnicas de reforço estrutural em vigas de concreto	54
2.5.3.2 Técnica de reforço estrutural em lajes.....	57
2.5.3.4 Reforço estrutural por emendas das ferragens	58
2.5.3.5 Técnica de Reforço através do aumento da seção transversal ..	60
3 METODOLOGIA – ESTUDO DE CASO	63
3.1 EDIFICAÇÃO AVALIADA.....	63
3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS	64
3.2.1. Patologias presentes nas piscinas	64
3.2.2 Patologias presente na casa de bombas	66
3.2.3 Patologias presente no Salão de Festa	68
3.3 MATERIAIS UTILIZADOS.....	69
3.3.1 Adesivo Epoxi Sikadur 32	69
3.3.2 Denverpóxi Injeção	70
3.3.2 Argamassa estrutural 250	71

3.3.3 Concreto armado	71
3.4.1 Análise das manifestações patológicas	72
3.4.2 Plano e execução das ações interventivas	73
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1 MEDIDAS ADOTADAS	75
4.1.1 Reparo das fissuras das piscinas	75
4.2.2 Técnica aplicada para as patologias na casa de bombas	79
4.2.3 Solução empregada para as fissuras da laje do salão de festa..	80
5. CONCLUSÕES.....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ambrósio (2004), o crescimento da construção civil proporcionou um grande avanço científico e tecnológico na engenharia civil, mas, apesar desse avanço, vieram também alguns problemas de origem patológica devido a erros de projeto, execução ou materiais, e com isso algumas estruturas têm apresentado desempenho insatisfatório, devido a falhas involuntárias, falta de manutenção, má utilização dos materiais empregados, deterioração das estruturas, ou devido a falhas de projeto de detalhamento e execução.

Em boa parte das construções tem se optado por estruturas de concreto, por terem boa durabilidade, serem moldadas de diversas maneiras e formatos e, entre outras qualidades, a boa resistência ao fogo e ao tempo. No entanto, apesar de possuírem todas essas qualidades, as mesmas não são eternas, devido à deterioração com o passar do tempo e por não atingirem sua vida útil quando não são bem projetadas e executadas de acordo com as normas técnicas, e se não forem submetidas a uma manutenção preventiva adequada. As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto preconizem a conservação de sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil, segundo o item 6.1 da NBR 6118:2014.

Fazendo-se um paralelo com a medicina, em que o melhor procedimento a ser adotado é o preventivo, na engenharia civil o mesmo pode ser aplicado com muita propriedade, tendo em vista que é sempre muito mais eficiente e econômico quando se tem um projeto bem elaborado e executado, e, caso venha ocorrer alguma patologia, deve se diagnosticar corretamente as causas e os motivos geradores do problema e iniciar a recuperação com mão-de-obra especializada. De acordo com Marcelli (2007), um dos principais problemas presente nas construções é a fissuração originada por erro de projeto ou execução e até mesmo por mau uso da estrutura, e se não forem corrigidos no início da sua formação essas provocam uma diminuição da rigidez da mesma, podendo causar prejuízos exorbitantes sejam materiais ou humanos.

Diante dessa problemática, vários estudos sobre novas técnicas para reforço estrutural e novos materiais estão sendo desenvolvidos para serem empregados neste tipo de serviço, pois muitas estruturas de concreto existentes já se apresentam com

problemas de deterioração cada vez mais acentuados, sendo necessários trabalhos de reforço estrutural ou, em casos mais graves, a própria demolição. Por isso, para os resultados serem satisfatórios o uso dessas técnicas deve seguir as orientações especificadas pelo fabricante e utilizadas de acordo com a norma técnica vigente, proporcionando um aumento da capacidade de carga do elemento estrutural, desde que os materiais utilizados apresentem propriedades mecânicas equivalentes ou melhores aos das estruturas originais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar e analisar as patologias presentes nas estruturas das paredes de concreto das piscinas e do salão de festas em um condomínio residencial em São Luís – MA, tendo em vista as medidas corretivas como reforço estrutural baseado em normas técnicas e trabalhos anteriores.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma inspeção predial mediante a verificação “*in loco*”, quantificar e classificar as manifestações patológicas presente no condomínio;
- Analisar as possíveis causas para as patologias presentes nas estruturas das paredes de concreto das piscinas e do salão de festas neste condomínio;
- Executar medidas de recuperação e reforço estrutural solucionando assim as patologias presentes neste local.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Lichtenstein (1986), muitos edifícios em todo o mundo têm apresentado problemas que estão relacionados a um desempenho insatisfatório tanto em termos globais quanto locais, sendo estes causados por falhas de projetos ou execução e até mesmo pelo uso de materiais inadequados. Além disso, a falta de

manutenção no imóvel permite a propagação das patologias ao longo da sua vida útil, e quando não tratadas podem levar à ruína, como aconteceu com o edifício Wilton Paes de Almeida projetado, em 1960 e estar localizado no largo do Paissandu em São Paulo, onde devido à ausência de manutenção e o descaso em maio de 2018 as instalações elétricas que apresentavam defeitos, provocaram um curto circuito, que aliado a outros fatores provocou um incêndio (Folha de São Paulo, 2018).

Neste contexto, o professor de engenharia da USP Paulo Helene, afirmou que o calor das chamas levou a diminuição da resistência das estruturas e fundações provocando seu colapso, tal edifício de 24 andares possuía pilares metálicos, estruturas poucos resistentes ao fogo, e não contava com elementos de proteção térmica hoje muito comuns em construções desse tipo (Folha de São Paulo, 2018). Esse desastre poderia ter sido evitado se tivessem sido realizadas as manutenções ao longo do tempo, tomando as melhores medidas preventivas desde as técnicas de recuperação até reforço estrutural.

Trazer para o centro das discussões o conceito de patologias nas edificações e mostrar como isso pode impactar diretamente a vida útil dos imóveis, podem ser passos decisivos para que o aprendizado da engenharia estrutural deixe de ser apenas feito em nível de projeto e execução e seja desenvolvida uma nova visão na concepção dos projetos estruturais, em que a avaliação do que já existe, em termos de capacidade de desempenho futuro como resistência estrutural, vida útil e segurança sejam os pontos e características essenciais, a serem avaliados.

Portanto, as construções além de serem projetadas e executadas com todo cuidado, deverão receber manutenções ao longo do tempo, proporcionando aos usuários maior segurança e conforto, e as construtoras caso seja preciso realizar algum reparo também serão beneficiadas, pois quando não são tomadas as medidas corretas de recuperação ou reforço estrutural assim que as patologias se iniciam, o que está se fazendo é adiar o inevitável, uma vez que futuramente com o agravamento da situação, pode-se ter desastres catastróficos podendo ter perdas humanas e materiais

Assim, como a produção científica tem o objetivo de apropriar-se da realidade para melhor analisá-la, e posteriormente, produzir transformações, a discussão sobre as técnicas de recuperação e reforço estrutural voltadas para solucionar as patologias em um condomínio, tende a ter um aspecto prático muito relevante o que é importante

para o meio acadêmico. Nesse contexto, a maior produção de estudos e conteúdos sobre as técnicas citadas para solucionar essa problemática pode ser o início de um processo de transformação que começa na academia e estende seus reflexos para a realidade antes, durante e após a construção. Para o curso de engenharia civil e as áreas de conhecimento que envolvem terapia das construções, estruturas e avaliação de imóveis, pesquisas e trabalhos sobre métodos de recuperação e reforço estrutural são cada vez mais necessários e pertinentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HISTÓRIA DO CONCRETO

O concreto é um material de construção formado basicamente pela combinação de cimento, agregado e água, e quando é utilizado armadura passiva é denominado concreto armado. De acordo com Carvalho (2008), não se sabe ao certo a data de descoberta desse material, mas as primeiras evidências estão em uma cidade romana situada a 64 km de Roma, onde o concreto foi utilizado na construção dos seus muros por volta do século IV a. C, e no século II a. C. O concreto dessa época não é tão semelhante ao que hoje é utilizado nas construções, pois os romanos utilizavam a cal como material cimentício e a gordura animal, sangue e leite eram os aditivos incorporadores de ar.

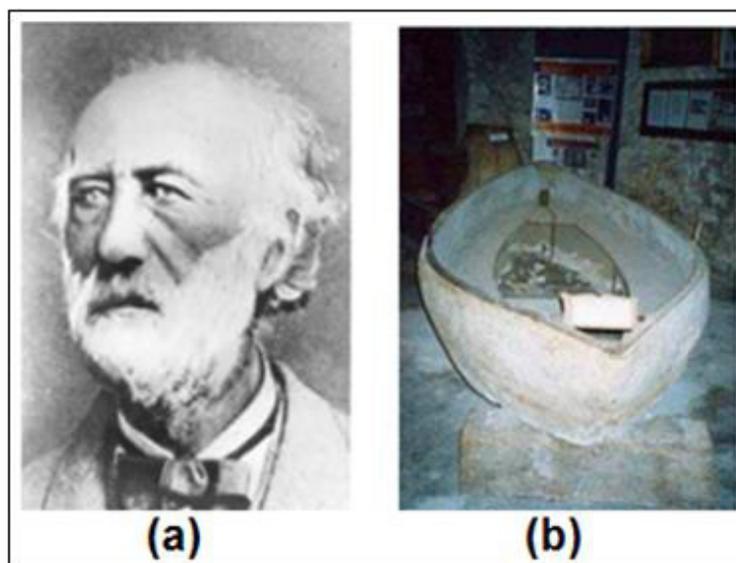
Segundo Guimarães (1997), os romanos se destacaram na antiguidade pelo domínio das técnicas de aplicação das argamassas e concreto, o que permitiu construir espaços amplos com diferentes formas geométricas e estruturas magníficas, combinando o concreto da época com tijolos de argila e outros materiais naturais. Uma das construções mais marcantes foi o Panteão construído em 27 a. C., com concretos de diferentes materiais em forma de abóbada e diâmetro de 43,3 m e o Coliseu que foi construído entre 69 a 79 d. C., a qual foi a maior obra construída pelos romanos, combinando pedras e concreto.

Apesar de todas essas técnicas e materiais de construções terem sido marcantes e tenham atendido as necessidades da época, teve-se a necessidade ao longo do tempo de criar estruturas que além de terem grande durabilidade e resistência deveriam assumir diferentes formas com rapidez e facilidade, então surgiu o concreto armado que aliou a durabilidade da “pedra” com a resistência do aço, o qual estaria protegido contra a corrosão.

De acordo com Carvalho (2008), o concreto armado foi descoberto no ano de 1849, quando agricultor francês chamado de Joseph-Louis Lambot (1814-1887) o qual é ilustrado na figura 1, construiu um barco de cimento reforçado com ferros (figura 1) o qual foi testado em lagoas da sua propriedade agrícola, e em 1855 foi patentado e apresentado na Feira Mundial de Paris. Tal material, apesar de não ter causado o

impacto esperado, chamou a atenção de um rico comerciante de plantas ornamentais, chamado de Joseph Monier que viu a possibilidade de subsistir seus vasos cerâmicos e de madeira, por esse material mais resistente e durável.

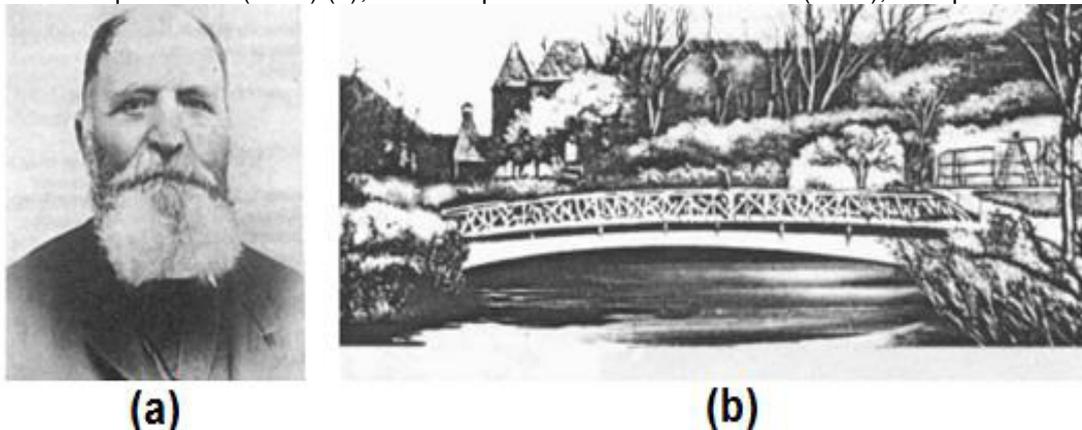
Figura 1: Joseph-Louis Lambot (a); Protótipo original do primeiro barco de concreto (b).



Fonte: Clube do concreto, 2018

Segundo Appleton (2005), Monier (Figura 2.a) começou a produzir vários artefatos e estruturas de concreto armado, registrando várias patentes as quais merecem destaque: tubos de tanques (1868), painéis decorativos para fachadas de edifícios (1869), construção de pontes (Figura 2.b), e vigas de concreto armado (1875).

Figura 2: Joseph Monier (1823) (a); Primeira ponte de concreto armado (1875), feita por Monier (b).



Fonte: Walter *apud* Appleton, (2005).

A ponte de concreto armado criada por Monier foi um marco na engenharia civil, pois pela primeira vez na história se teve uma ponte em que o concreto estaria trabalhando à compressão e a armadura a tração.

De acordo com Guimarães (1997), Monier além de conseguir compreender as peculiaridades, vantagens e desvantagens dos materiais, ele também conseguiu combiná-los adequadamente, aproveitando assim as melhores características de cada um. Ele afirmou que o concreto era facilmente moldado e sua resistência tanto a compressão como ao esmagamento era considerável, no entanto sua resistência a tração ou ao cisalhamento deixava a desejar, o que poderia ser reparado com o uso de barras de aço, pois o mesmo é extremamente resistente à tração.

Portanto, sua principal colaboração meio que de forma intuitiva e empírica, foi a disposição correta das armaduras, colaborando assim para que os seus elementos de concreto armado tivessem resistência à compressão, tração e ao cisalhamento.

Mesmo com toda as descobertas de Monier, Polião (2002), afirma que a difusão do uso de concreto armado como sendo material de construção se deu em 1886 quando o engenheiro alemão Gustav Adolf Wayss (1851 – 1917), comprou as patentes de Monier, e então, conduziu as suas pesquisas em sua empresa a Wayss & Freytag e posteriormente, projetou e executou a construção de vários edifícios na Alemanha, França e Áustria, tornando assim esse material conhecido.

Já no Brasil, o uso desse material se iniciou um pouco mais tarde, sendo que de acordo com Vargas (1994), a primeira referência é de 1904, com a construção de casas e sobrados em Copacabana, no Rio de Janeiro, e o professor da escola politécnica do Rio de Janeiro, Antônio de Paula Freitas publica um trabalho no qual cita a execução de seus prédios projetados e do reservatório de água em Petrópolis. A partir de então, outras construções foram feitas, merecendo destaque a ponte de concreto armado de 28 metros de comprimento, construída em 1910 em São Paulo, na Avenida Pereira Rebouças sobre o Ribeirão dos Machados, que ainda hoje se encontra em ótimo estado de conservação.

No entanto, o desenvolvimento do concreto armado no Brasil de fato se deu em 1913, de acordo com Vasconcelos (1985), a chegada da empresa alemã Wayss & Freytag foi o ponto crucial para o desenvolvimento desse método construtivo. Por volta

de 1924, essa empresa passou a ser chamada de Companhia Construtora Nacional, funcionando até 1974, e construindo diversas obras, como por exemplo, 40 pontes de concreto armado. Apesar dessa empresa importar mestres de obras da Alemanha, a mesma serviu de escola para a formação de especialistas brasileiros, evitando a importação de mais estrangeiros.

Segundo Vasconcelos (1985), desde 1924 a maioria dos cálculos estruturais para as obras nacionais, começaram a serem feitos no Brasil, e um dos maiores nomes de destaque foi do engenheiro estrutural Emílio Baumgart. No século passado o Brasil colecionou diversos recordes e mundiais, com destaque a Marquise da tribuna do Jockey Club do Rio de Janeiro, a qual é ilustrada na figura 3, com balanço de 22,4 metros, a qual ganhou o recorde mundial em 1926.

Figura 3: Marquise no Jockey Clube do Rio de Janeiro



Fonte: Carvalho, (2008).

2.2 PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

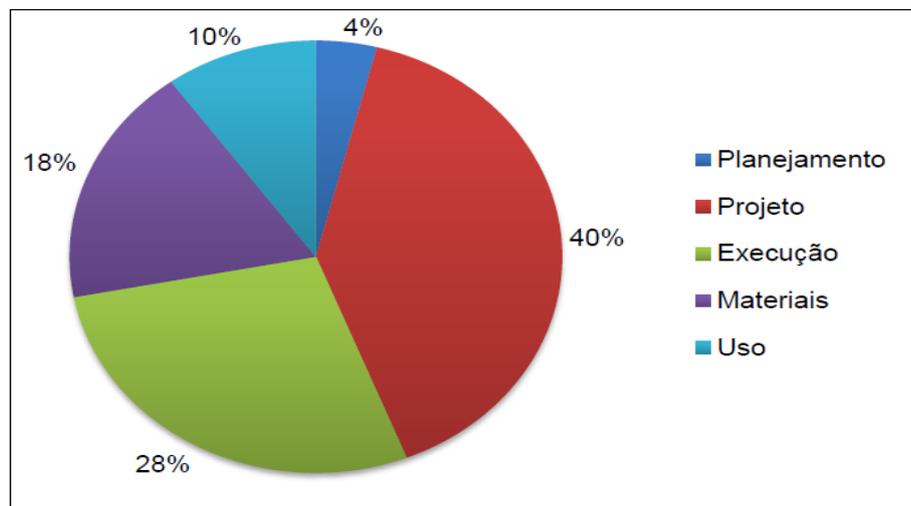
Desde os primórdios da civilização de acordo com Appleton (2005), o homem tem se preocupado com a construção de estruturas que atendam às suas necessidades, com isso a humanidade conseguiu acumular um grande acervo científico ao longo dos séculos, abrangendo desde os tipos de materiais até o detalhamento das estruturas, os cálculos e as diferentes técnicas a serem aplicadas. O que de certa forma proporcionou o crescimento da construção civil, e com isso veio se a necessidade de inovação e aceitações implícitas de maiores riscos.

Aceitar riscos que estejam dentro de certos limites, desde que esteja regulamentado das mais diversas formas, permitiu que a progressão do

desenvolvimento tecnológico acontecesse espontaneamente, de acordo com os estudos e análises dos erros acontecidos como a deterioração precoce ou acidentes mais graves. Com isso, atualmente mesmo existindo sérias limitações ao livre desenvolvimento científico e tecnológico, ainda se pode acontecer também falhas involuntárias ou até mesmo devido à imperícia, e segundo Ripper e Souza (1998), algumas estruturas acabam por ter desempenho insatisfatório comparado a sua finalidade a que se propunham, apresentando diferentes patologias.

Helene (1997), afirma que as principais causas das patologias em estruturas de concreto estão relacionadas a erros de projeto ou execução, e a utilização de materiais inadequados também representa um fator limitado para o bom desempenho das estruturas, a figura 4 mostra as porcentagens de cada causa. Mas, tudo isso poderia ser evitado com a adoção de conhecimentos mais abrangentes sobre o desempenho geral dos materiais, dos processos e das técnicas de execução.

Figura 4: Patologias nas etapas de processo de construção.



Fonte: Adaptado de Helene, (1997).

Quando as estruturas de concreto começam a apresentar anomalias, costuma se dizer que está “doente”, pois as patologias afetam a qualidade, durabilidade, estética e em casos mais grave a resistência, o que é um fator bastante preocupante. Quando não tratadas elas tendem a se manifestar durante toda a vida útil da estrutura, com isso os fenômenos patológicos em boa parte dos casos apresentam manifestações externas características, o que permite deduzir a sua origem, natureza e o mecanismos dos fenômenos envolvidos, podendo-se assim aplicar o “remédio”

necessário para o reparo exigido e assim garantir que após o reparo a estrutura não volte a sofrer deterioração.

2.2.1. Principais causas das patologias nas estruturas de concreto

De acordo com Cánovas (1988), o estudo das causas responsáveis pela implantação dos diversos processos de deterioração apesar de ser bastante complexo está em constante evolução e recentemente surgiram duas classificações que de certa forma resumem e ajudam a entender as razões dessas patologias que são as causas intrínsecas que estão inerentes às estruturas (entendidas estas como elementos físicos) e as causas extrínsecas que são externas ao corpo estrutural.

2.2.1.1 Causas intrínsecas

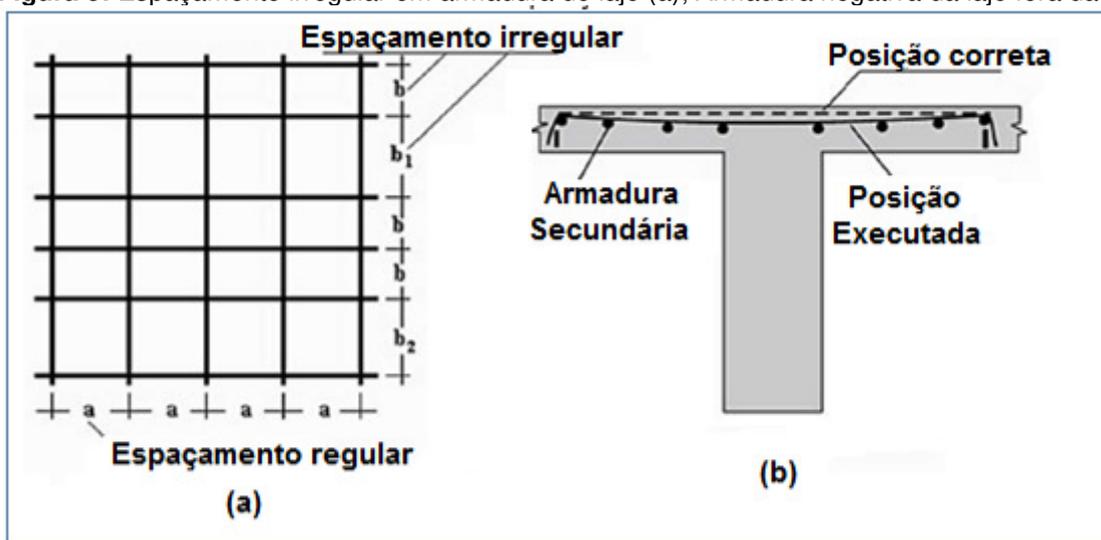
São todas as que têm origem nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução ou utilização das obras, podendo acontecer por falhas humanas ou ações externas como acidentes. Já as causas extrínsecas conforme Ripper e Souza (1998), afirma que essas independem do corpo estrutural em si, assim como da composição interna do concreto ou de falhas inerentes ao processo de execução, podendo ser vistas como sendo os fatores que atacam a estrutura “de fora para dentro”, durante as fases de concepção ou ao longo da vida útil da estrutura.

A seguir serão descritos os erros mais comuns praticados na fase de execução, posto que estão sendo estudadas as causas intrínsecas aos processos patológicos, e para as causas extrínsecas situações semelhantes serão tratadas, mas sob a ótica das falhas surgidas na etapa de projeto. De acordo com Marcelli (2007), os problemas patológicos provocados pelas deficiências ou erros na colocação das armaduras, são considerado como sendo por causas intrínsecas, e podem ser das mais diversas ordens como por exemplo:

- Insuficiência de armadura, o que provoca a diminuição direta da capacidade de suportarem as cargas;
- Mau posicionamento das armaduras, que pode acontecer devido ao espaçamento incorreto das barras, o que é muito comum em lajes (figura 5.a),

ou também no deslocamento das barras de suas posições originais que pode ser provocado pelo trânsito dos colaboradores e carrinho de mão por cima da malha de aço, durante a operação de concretagem muito comum nas armaduras negativas das lajes (figura 5.b), sendo mais crítico no caso de lajes em balanço, sendo que isso pode ser evitado com a utilização de espaçadores e pastilhas que permitem o correto posicionamento das barras da armadura.

Figura 5: Espaçamento irregular em armadura de laje (a); Armadura negativa da laje fora da posição.



Fonte: Adaptado de Rabello, (2010).

- Cobrimento de concreto insuficiente ou dosado de forma incorreta, o que facilita a implantação de processos de deterioração tal como a corrosão das armaduras e consequentemente dando acesso mais direto aos agentes agressivos externos;
- Segundo Marcelli, (2007), a deficiência nos sistemas de ancoragem, que é provocada pela utilização indevida de ganchos, o que acaba provocando estados de sobretensão, semelhante quando se tem o dobramento incorreto das barras, onde o aço venha a “morder” o concreto, provocando seu fendilhamento devido ao excesso de tensões trativas no plano ortogonal ao de dobramento, e quando o comprimento de ancoragem é insuficiente, acaba não conseguindo suportar os esforços transferido ao concreto. Em todas essas situações, o resultado será o surgimento de um quadro fissuratório que poderá em boa parte das situações provocar consequências bastante graves.

Portanto, outras situações podem surgir, mas em todos os casos isso por ser evitado com um correto e detalhado projeto, permitindo a prevenção contra estas patologias, e deverá conter no projeto a estrita observância aos desenhos e especificações de origem para facilitar as etapas de execução.

Segundo Cascudo (1997), a utilização incorreta de materiais de construção é uma outra falha que é considerada de origem intrínsecas e apresenta índice de incidência superior ao que poderia ser esperado e de certa forma é difícil classificar as patologias como resultado desta causa pois o defeito pode ser devido à má interpretação dos projetos.

Mas, quando a patologia de fato é fruto da utilização incorreta do material, de acordo com Mehta (1994), ela é gerada devido a incompetência ou dolo, por se tratar de um conjunto de decisões que na maioria dos casos é de responsabilidade dos engenheiros ou do responsável pela obra, diferente dos erros nas armaduras que os principais responsáveis são os armadores, o que também não isenta os cargos de chefia. Os casos mais comuns de patologias originados pela utilização de materiais de construção são:

- Dosagem errada do concreto ou com fck inferior ao especificado, o que é fruto do erro no fornecimento do concreto pronto e também pode acontecer por encomenda errada;
- Armaduras com tamanhos de bitolas diferentes das especificados no cálculo estrutural de projeto;
- Uso de agregados reativos, que desde o início podem gerar reações expansivas no concreto e conseqüentemente potencializar os quadros de desagregação e fissuração do mesmo.

Um erro corriqueiro que pode acontecer também é quando é adicionado água além do especificado, para que se possa ter uma melhor trabalhabilidade do concreto, o que provoca um aumento substancial do fator água/cimento tornando o concreto poroso e com elevada retração e conseqüentemente diminuindo sua resistência. O uso de areia úmida provoca também o aumento do fator água/cimento, mesmo sem fazer qualquer redução na quantidade de água adicionada à mistura.

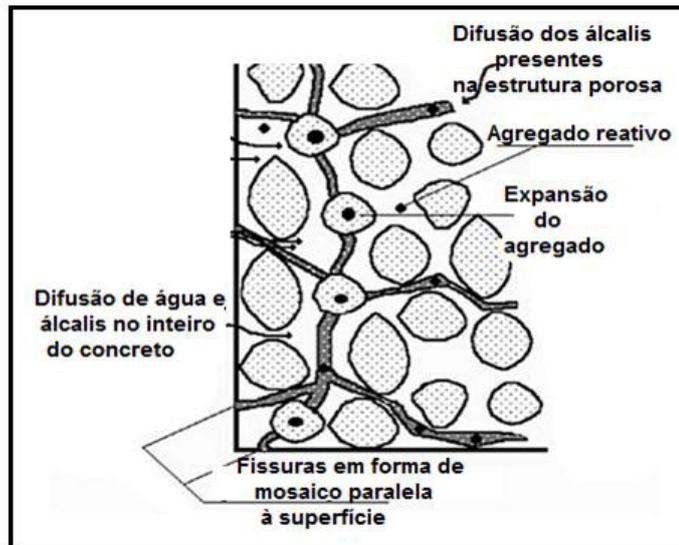
Portanto, para se evitar essas patologias se deve seguir as dosagens de acordo com o projeto e obedecendo a quantidade de água e cimento para a resistência desejada. Contudo, o concreto está sujeito também as causas naturais, onde segundo Mehta (1994), o objetivo principal das construções atuais é se preocupar mais com a durabilidade e a impermeabilidade do concreto, o que proporcionaria a defesa das estruturas, contra os ataques físico-químico de deterioração.

Visto que neste caso a questão da resistência não é o ponto crucial de preocupação segundo Mehta (1994), pois pode ser obtida de forma trivial, contudo os maiores esforços devem ser dirigidos à obtenção de concretos com baixos índices de permeabilidade e porosidade, proporcionando maior durabilidade pois quanto mais permissivo o material for ao transporte interno de água, gases e de outros agentes agressivos, maior será a probabilidade de sua degradação, o que acaba afetando o aço e provocando sua corrosão, pois a degradação está intimamente ligada a dois fatores que são a porosidade do concreto e condições ambientais da superfície.

Mas, como as condições ambientais não podem ser alteradas, então o que deve ser feito para proteger o concreto deve ser reduzir ao máximo a sua porosidade, o que pode ser atingido com a impermeabilização adequada.

As causas químicas de origem expansiva também podem ocasionar patologias nas estruturas de concreto, de acordo com Ripper e Souza (1998), essas têm a propriedade de anular a coesão dos materiais que compõem o mesmo, um exemplo clássico são as reações álcalis-agregados a qual é ilustrada na figura 6, ocorrem devido à interação entre a sílica reativa de alguns tipos de minerais utilizados como agregados e os íons álcalis (K^+ e Na^+) ambos presentes nos cimentos, que são desprendidos durante o seu processo de hidratação, mas, podem acontecer também devido a penetração de cloretos desde que contenha os mesmos íons.

Figura 6: Desenvolvimento da reação álcalis-agregado no concreto.



Fonte: adaptado de Ripper e Souza, (1998).

Tanto esta reação como as reação álcalis-dolomita e as reações entre rochas caulinizadas ou feldspatos calco-sódicos são consideradas como expansivas, pela formação adicional de sólidos em meio confinado o que provoca de início a fissuração da superfície do concreto, dando um aspecto semelhante a um mosaico e em seguida acaba provocando a desagregação da estrutura formando crateras profundas com aspecto cônico em que na maioria das vezes escorre gel de sílica.

Uma solução que pode ser adotada para esse tipo de patologia é adição de pozolanas que em quantidades adequadas podem inibir ou evitar a reação álcalis-agregados, e de certa forma é um recurso sempre que não for possível prevenir com a utilização de cimentos com baixo teor de álcalis.

Figura 7: Bloco de concreto armado com fissuras devido á reação álcalis-agregado.



Fonte: Aguiar, (2011).

As estruturas de concreto estão sujeitas também as causas físicas intrínsecas que de acordo com Amorim (2013), são resultantes da variação da temperatura externa, insolação e da ação do vento. A água também é um fator preocupante seja na forma de chuva, gelo ou umidade pois, causa solicitações mecânicas e podem provocar acidentes durante a fase de execução da estrutura, diferente da atuação dos agentes da natureza ocorrem durante os períodos de cura do concreto.

Segunda Costa (2009), as causas biológicas também são consideradas de origem intrínsecas pois o processo patológico é resultado do ataque químico de ácidos (produção de anidrido carbônico) gerados pelo crescimento de raízes de plantas ou de algas que se instalam em grandes poros ou fissuras do concreto. Podem acontecer de outra maneira como por exemplo a ação de fungos ou de sulfetos presentes nos esgotos, onde os sulfetos em forma de gás sulfídrico são dissolvidos na água e ao entrarem em contato com o cálcio do cimento Portland e em presença de bactérias aeróbicas criam o sulfureto de cálcio que descalcifica o concreto em razão do amolecimento da paste de cimento.

2.2.1.2 Causas extrínsecas

Outro fator de geração das patologias são as causas extrínsecas, de acordo com Arivabene (2015), elas independem do corpo estrutural em si, assim como da composição interna do concreto. Um exemplo são as falhas por modelagem estrutural inadequada, pois quando é adotado um modelo para uma determinada construção a primeira preocupação na etapa de concepção deveria ser a consideração dos condicionantes compostos pelas ações, os materiais constituintes e o comportamento da estrutura tanto em termos de resistência como de serviço, sem esquecer do critério de segurança.

Por isso, deve se analisar as questões relativas à segurança e ao comportamento das estruturas e escolher o sistema estrutural mais eficaz para a obra. Entretanto, apesar de ser obvia essa análise, existem vários problemas patológicos devido à incorreta observação das condições de equilíbrio e das leis da estática, que são simplesmente reguladas pelas seguintes equações:

Equação 1: somatório das forças verticais igual a zero.

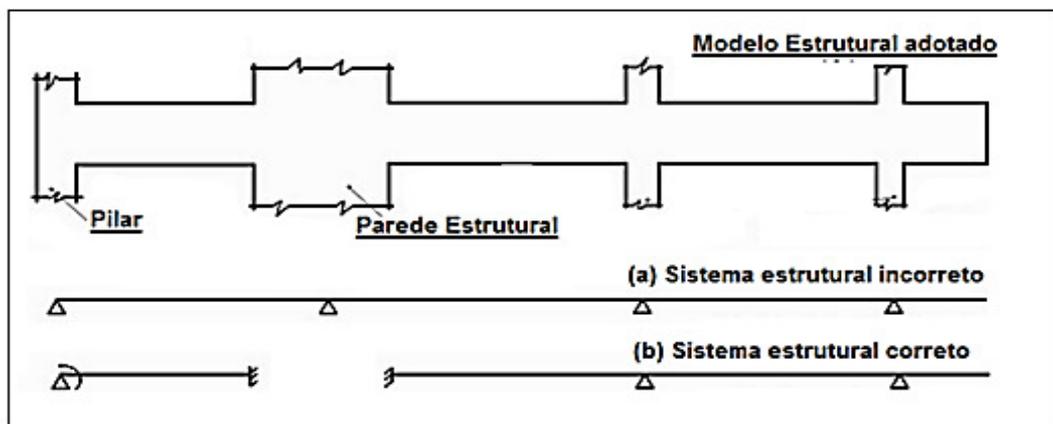
$$\sum V = 0$$

Equação 2: Somatório dos momentos igual a zero.

$$\sum M = 0$$

Um erro comum em termos de esquematização estrutural de edifícios, de acordo com Zucchi (2015), está na consideração das condições de engastamento total ou parcial das lajes e vigas, onde quando se trata de edifícios altos ou com peças de inercia muito diferentes entre si, pode-se agravar a situação. Por conseguinte, quando se trata de questões de engastamento parcial de vigas, devem ser consideradas as recomendações do item 3.2.3 da NBR 6118:2014 para apoios extremos, no caso de encontro de vigas com parede é comum acontecer erros conforme apontado na figura 8, ao se considerar o engaste como sendo um apoio de primeiro gênero, falhas como essas podem levar ao surgimento de trincas na face superior da viga.

Figura 8: Esquema estrutural usado para cálculo de vigas em edifícios.



Fonte: adaptado de Marcelli, (2007).

Portanto, quando não tiver uma correta interpretação da compatibilidade das deformações, tendo em conta a rigidez própria dos elementos estruturais e os nós existentes entre eles, e além de ser impossível idealizar corretamente os modelos representativos da estrutura é impraticável o correto detalhamento das armaduras.

Sendo assim, é essencial adotar o tipo de análise estrutural mais adequada a cada situação e sempre levando em conta qual o tipo de peça estrutural ou conjunto

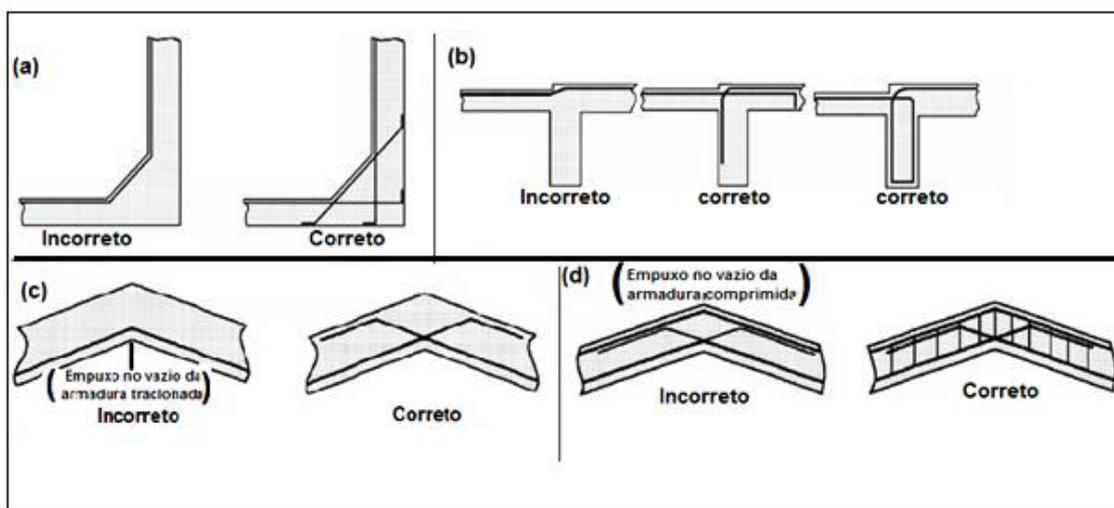
a ser analisado, e caso seja necessário considerar a linearidade por exemplo. Conseqüentemente, o perfeito conhecimento das inércias e deformações virá a evitar flechas acentuadas em lajes e vigas, pois mesmo quando estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas podem ocasionar o surgimento de trincas em alvenarias e revestimentos e a pouca rigidez de lajes e vigas podem ocasionar incômodos aos usuários devido ao aumento de vibrações.

Tanto nas estruturas com finalidade comercial como habitacional, a observação precisa das normas que regulam os carregamentos que devem ser adotados no projeto estrutural, são suficientes para assegurar que não vai ter cargas durante a vida útil da estrutura superiores as que foram consideradas quando foi desenvolvido o projeto, e quando se trata de detalhamento errado ou insuficiente isso pode ocasionar erros sérios de execução, sendo capaz de levar a estrutura a apresentar problemas patológicos graves, com implicações diretas no comprometimento da resistência ou da durabilidade da construção.

Conforme ilustrado na figura 9, de autoria de Ripper e Souza (1998), observa-se os tipos de exemplos práticos de situações de detalhamento de armaduras corretos e incorretos, na pratica da construção civil, o que é valido comentar:

- (a) é referente às ligações entre duas placas, semelhante à de parede e laje de fundo de uma caixa-d'água. Nessa situação é essencial evitar o empuxo no vazio, sendo necessário dispor de armaduras para a proteção dos cantos;
- (b) representa os casos de desnível em lajes, situação típicas em varandas de edifícios, em que a ancoragem e a continuidade das barras deve ser garantida, em ambos os lados do desnível;
- (c) e (d) descrevem o empuxo que acontece “no vazio”, sendo necessária a proteção do canto para assim garantir ancoragem da armadura principal e do estribo.

Figura 9: Comparação entre diferentes situações de detalhamento de armaduras.



Fonte: Adaptado de Ripper e Souza, (1998).

De acordo com Takata (2009), as deficiências no detalhamento das armaduras ocorrem na maioria das vezes por desconhecimento do projetista, outras como consequência da utilização de desenhos elaborados em escalas inadequadas, o que dificulta o trabalho do armador e do mestre de obras na interpretação do projeto, ocasionando-se assim a repetição de erros que vão desde barras que não cabem nas formas à ausência de armaduras, causando sérios prejuízos ao construtor.

É importante também prever sempre o espaço suficiente para a correta vibração do concreto, inclusive entre as armaduras, o que se torna mais trabalhoso quando se trata de peças densamente armadas, sendo necessário detalhamento específico.

As falhas humanas durante a vida útil da estrutura é um fator preocupante e são provocadas em particular pelos proprietários, que na maioria dos casos não fazem ideia dos danos que podem estar provocando, e em muitas situações dispensam a consultoria técnica especializada. Um exemplo clássico é quando aumentam o número de andares em edifícios sem a devida análise dos pilares e das fundações, além de não levarem em consideração os efeitos de 2ª ordem, pois passa a ter um aumento das cargas verticais e forças horizontais que acabam afetando o seu comportamento estático e resistente.

Quando transformam apoios de terceiro e segundo gênero em apoios de segundo e primeiros gênero respectivamente, segundo Reis (2001), tal execução pode levar a ruína a própria edificação, o que é caracterizado também como sendo patologias provocadas por ações extrínsecas. Outra situação muito comum que tem sido notada é quando se realizam aberturas de furos em vigas e lajes, o que pode acarretar sérios danos ao próprio conjunto estrutural, ou até mesmo a compatibilidade das armaduras existentes com a nova distribuição de esforços, além de provocarem microfissuras.

Além disso, sobrecargas exageradas são outros exemplos de causas extrínsecas, pois mesmo que os projetos tenham sido desenvolvidos com as corretas considerações de cargas e adotado a prescrição normativa em vigor, caso seja submetido a sobrecargas superiores às de projeto ao longo da vida útil da edificação, podem ocasionar sérios problemas patológicos, muito comuns nas situações que realizam a mudança de propósito funcional de edifícios.

Existem também as ações imprevisíveis ou acidentes, podendo ser frutos de ações mecânicas ou físicas que são submetidas às estruturas em períodos e intensidade diferentes, cujas suas ocorrências são inesperadas, como incêndios, sismos, inundações e esforços devido ao vento, pois se tratam de solicitações bruscas que podem provocar uma perda significativa de resistência do concreto, por isso é importante ser tomadas medidas preventivas de segurança, sendo essas passivas ou ativas.

2.3 PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

De acordo com Pereira (2012), ocorrem devido atuação tanto dos agentes intrínsecos como extrínsecos, e em boa parte das situações as suas causas são evidentes o que poderia ter sido evitado com uma escolha cautelosa dos melhores materiais e métodos de execução, sem esquecer de um projeto bem elaborado e detalhado, todavia se faz necessário um programa adequado de manutenção.

No entanto, podem acontecer situações em que a estrutura não foi dimensionada para receber ações imprevisíveis como sobrecargas, sismos e incêndios, que além de causar diferentes patologias podem levar a edificação à ruína.

Por isso, é importante que no processo de concepção e execução das estruturas de concretos sejam adotadas medidas precisas e rigorosas, mas caso a estrutura já esteja pronta e seja necessário buscar soluções para suas patologias, devem ser adotadas medidas de recuperação ou reforço estrutural associadas as condições químicas, físicas, ambientais e mecânicas às quais a estrutura esteja submetida além de conhecer os motivos que levaram a deterioração e os seus efeitos, conforme será tratado nos tópicos seguintes.

2.3.1. Principais configurações e causas de fissuras em estruturas de concreto

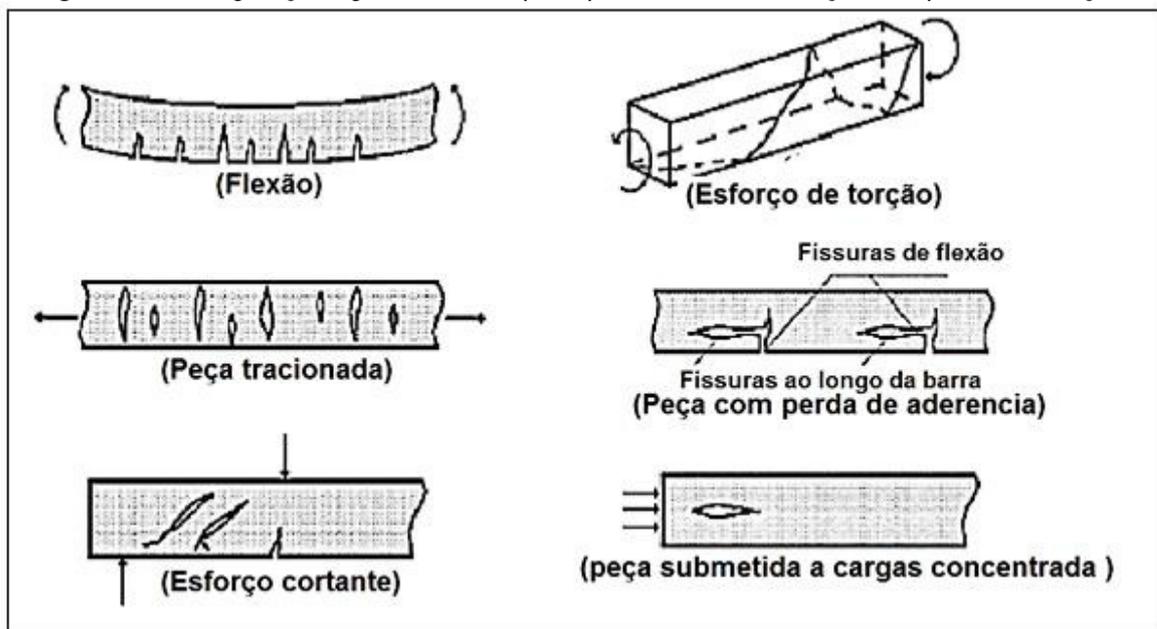
Conforme Pereira (2012), as fissuras são manifestações patológicas que se caracterizam como sendo cortes superficiais ou profundos, em estrutura de concreto ou alvenarias. Em alguns casos não é nem considerada como deficiência estrutural, quando se manifesta apenas no reboco devido a uma cura inadequada. No entanto, nas estruturas de concreto podem surgir devido às causas intrínsecas ou extrínsecas, e por ser um material de baixa resistência à tração estará sempre sujeito à fissuração, principalmente quando as tensões de tração forem maiores que a sua resistência última aos esforços de tração.

Em vista disso, quando se tem fissuras em uma estrutura de concreto inicialmente se deve realizar o mapeamento das mesmas e classifica-las em ativas quando a sua propagação ainda atua sobre a estrutura e em inativas ou estáveis sempre que sua atuação tenha sido durante um certo intervalo de tempo e depois deixou de existir. Após a sua classificação e com o mapeamento em mãos, deve-se determinar as possíveis causas, para assim estabelecer a melhor metodologia de recuperação ou reforço. Nos próximos tópicos será tratado sobre a configuração das fissuras em função das diferentes causas.

2.3.1.1 Configuração de fissuras devido a deficiência de projeto e execução

De acordo com Souza (1991), quando se tem falhas em projetos estruturais e as mesmas são levadas para a execução, elas podem provocar esforços indesejáveis, onde os elementos estruturais acabam sofrendo algumas fissuras que possuem configurações próprias e particulares, a figuras 10, busca ilustrar alguns exemplos de fissuras.

Figura 10: Configurações genéricas das principais fissuras em função do tipo de solitação.

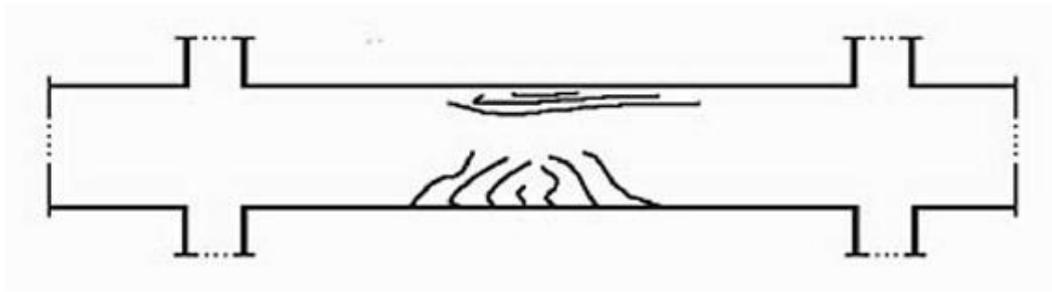


Fonte: Costa (2009).

Segundo Costa (2009), quando as estruturas de concreto estão submetidas aos esforços de compressão o quadro de fissuração possui também as suas particularidades conforme a figura 11, que representa as fissuras ocasionadas por flexocompressão, e na figura 12, que representa os casos onde a estrutura está também submetida aos esforços de compressão e quando não estão confinadas as fissuras tendem a serem longitudinais e contínuas.

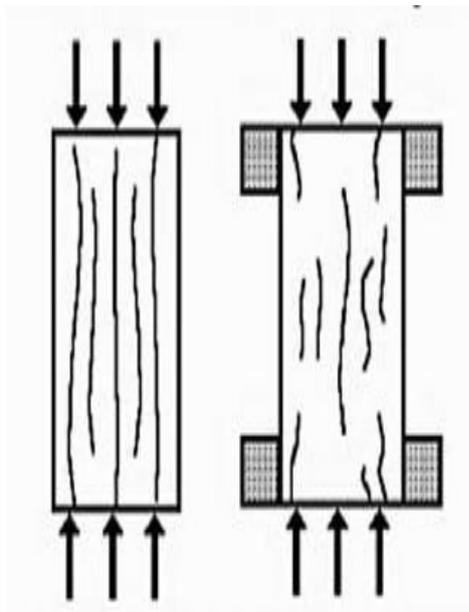
Logo, os quadros de fissuração sempre irão aparecer quando as resistências últimas do concreto forem ultrapassadas.

Figura 11: Fissuração em viga submetida a flexocompressão.



Fonte: Ripper e Souza, (1998).

Figura 12: Fissuras por compressão sem e com confinamento.



Fonte: Marcelli, (2007).

a) Fissuras em vigas causadas por flexão

De acordo com Thomaz (1989), estas manifestações patológicas em vigas de concreto armado, se iniciam na zona submetida à tração e ao se aproximarem da linha neutra tendem a reduzir de tamanho, até desaparecem na parte superior da viga devido ao esforço de compressão (figura 13). E quanto maior for o esforço de tração e a insuficiência da armadura, maior será o quadro de fissuração perpendicular à linha de tração do elemento estrutural.

Figura 13: Fissuras em vigas originadas por esforço de flexão.



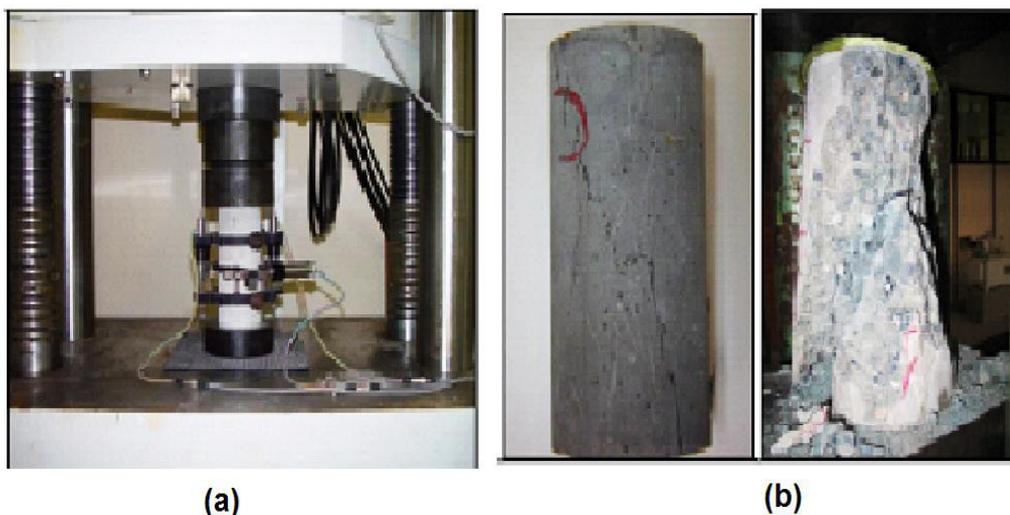
Fonte: Araldi, (2013).

A configuração dessas fissuras ocasionadas por flexão são praticamente verticais no terço médio do vão e tem aberturas maiores em direção à face interior do qual a viga está sofrendo maior esforço de tração. Nos apoios as fissuras possuem inclinação próxima a 45° com a horizontal, devido ao esforço cortante, já no caso de vigas que possuem alturas elevadas a inclinação tende a ser 60° . Portanto, Araldi (2013), afirma que deve se ter bastante cuidado durante a concepção do projeto e a execução, pois quando se tem estruturas de concreto armado com insuficiência de armadura, ocasiona várias fissuras pelo fato do concreto não resistir aos esforços de tração.

b) Configuração de fissuras devido ao esforço de compressão

Quando um elemento estrutural é submetido a um carregamento uniaxial de compressão, Leite (2001) afirma que a configuração das fissuras tende a se desenvolver paralelas ao sentido da máxima tensão de compressão. Esse comportamento é facilmente notado nos ensaios de compressão (figura 14), onde o corpo de prova é preso entre as suas extremidades e impedidos de sofrerem expansão lateral pelo equipamento, e conseqüentemente produz uma resistência cônica em ambas as extremidades da amostra, ao se manter a prensa deformando o corpo de prova, o mesmo se rompe bruscamente sem acusar aumento de carga.

Figura 14: Ensaio de compressão (a); Ruptura de corpos de prova submetidos à compressão uniaxial.

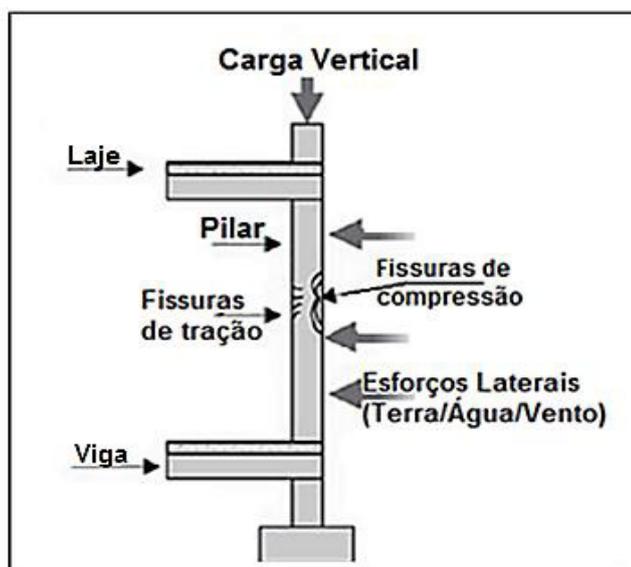


Fonte: Aguiar, (2011).

Por isso, quando se tem fissuras que são provocadas por compressão em vigas e principalmente em pilares, deve-se reaver as devidas providências o quanto antes, pois pelo fato do concreto ser o principal responsável em absorver a maior parcela dos esforços de compressão, ao se encontrar em estado de fissuração, pode significar que o elemento estrutural esteja na iminência de um colapso ou que já perdeu a capacidade de suportar a carga e assim levarem o edifício à ruptura.

De acordo com Pereira (2012), existem situações onde o elemento estrutural ao ser submetido aos esforços de compressão, podem surgir no mesmo período tanto fissuras de compressão como de tração (figura 15), como nos casos em que vigas e pilares absorverem esforços horizontais devido ao empuxo de terra ou de líquidos em grandes tanques de armazenamento.

Figura 15: Pilar submetido a flexão e compressão.



Fonte: Marcelli, (2007).

Portanto, para que não se tenha fissuras decorrentes tanto do esforço de compressão e de tração é essencial que seja feito o dimensionamento adequado considerando a ação de todos os esforços atuantes na estrutura, e que o uso da construção seja compatível com o carregamento previsto em projeto.

c) Configuração de fissuras causadas por cisalhamento

Segundo Cánovas (1988), esse tipo de patologia surge onde os esforços cortante são máximos, provocando o surgimento de fissuras diagonais, conforme ilustrado abaixo.

Figura 16: Fissuras em vigas originadas por cisalhamento.



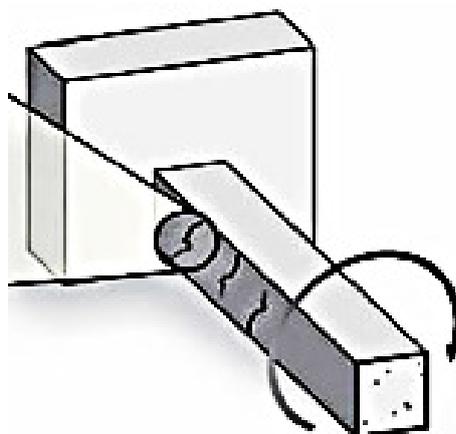
Fonte: Cánovas, (1988).

De acordo com Cánovas (1988), as principais razões para que venha acontecer esse tipo de patologia, são a ausência de seção de concreto suficiente ou a falta de armadura para resistir aos esforços cisalhantes, o que pode ter sido ocorrido devido a falhas na concepção do projeto ou na execução, do elemento estrutural, e essas fissuras se iniciam onde o elemento estrutural está apoiado e terminam na região onde a carga está sendo aplicada.

d) Configuração de fissuras em estrutura de concreto, devido à torção

Segundo Marcelli (2007), o esforço de torção acontece quando o elemento estrutural está sujeito a esforços de rotação em relação a sua seção transversal, e conseqüentemente ocasiona fissuras com inclinação em torno de 45° (figura 17), e aparecem nas duas superfícies laterais da viga.

Figura 17: Fissuras a 45° causadas por esforço de torção.



Fonte: Marcelli, (2007).

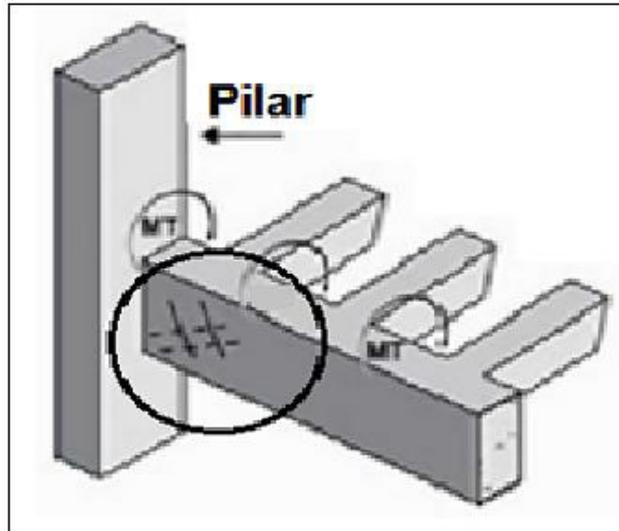
Esse tipo de patologia acontece devido a erros de projeto e execução, principalmente em sacadas, vigas e lajes que apresentam flechas excessivas e se apoiam em outra viga, provocando a rotação da mesma, podem surgir também em vigas que possuem lajes em balanço como marquises que são engastadas nelas mesmas. Na figura abaixo, Marcelli (2007), buscou ilustrar casos comuns que são afetados por essas patologias, na figura 18, tem se três vigas que estão apoiadas em uma maior, o que acabando gerando torção e conseqüentemente fissuras.

Figura 18: Torção em vigas e laje.

Legenda:

(—) Fissuras na face externa;

(- - -) Fissuras na face interna.

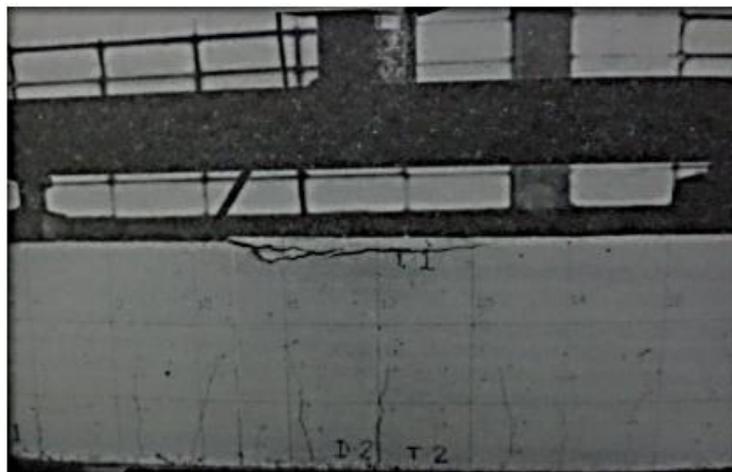


Fonte: Marcelli, (2007).

e) Fissuras provocadas por esmagamento do concreto

Quando ocorre o esmagamento do concreto em um elemento estrutural, de acordo com Cánovas (1998), surgem fissuras na zona de compressão e são paralelas ao eixo da viga, conforme a figura abaixo.

Figura 19: Viga com fissuras por esmagamento



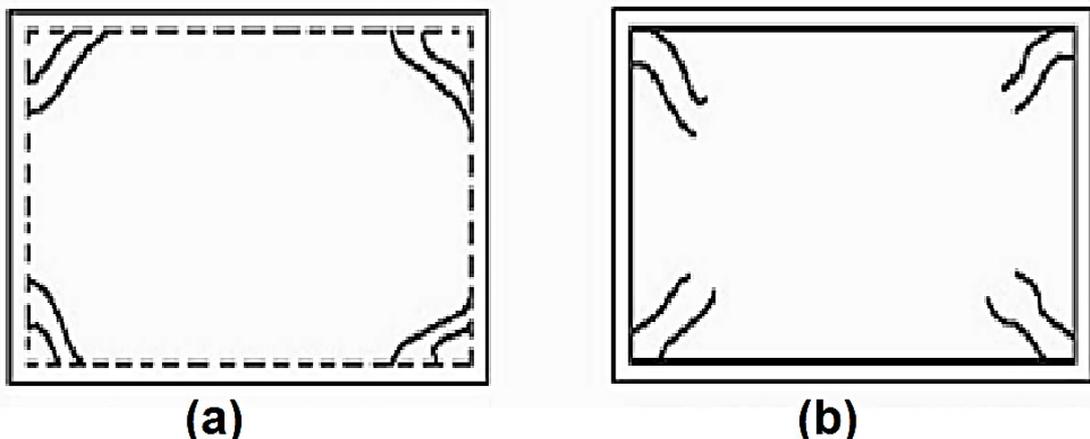
Fonte: Cánovas, (1988)

Segundo Thomaz (1989), esse tipo de patologia acontece quando se tem uma configuração de vigas superarmadas e que foram concebidas com concreto de baixa resistência. Pode acontecer também devido a insuficiência de armaduras, que ao sofrerem esforços de compressão, acabam sendo geradas fissuras por esmagamento do concreto.

2.3.1.2 Configuração de fissuras em Lajes

Lichtenstein (1969), afirma que quando as lajes são projetadas com insuficiência de armaduras elas vão apresentar deficiência de capacidade resistente o que pode gerar fissuras bastante peculiares, e um exemplo da configuração dessas fissuras é a figura 20.a, pois com a deficiência de armadura para combater os momentos volventes na face superior da laje, acabam gerando fissuras nos cantos superiores da mesma e quando as armaduras não foram projetadas e executadas para combater os momentos volventes inferiores as fissuras surgem embaixo da laje, saindo dos cantos com sentido ao centro da mesma, conforme a figura 20.b.

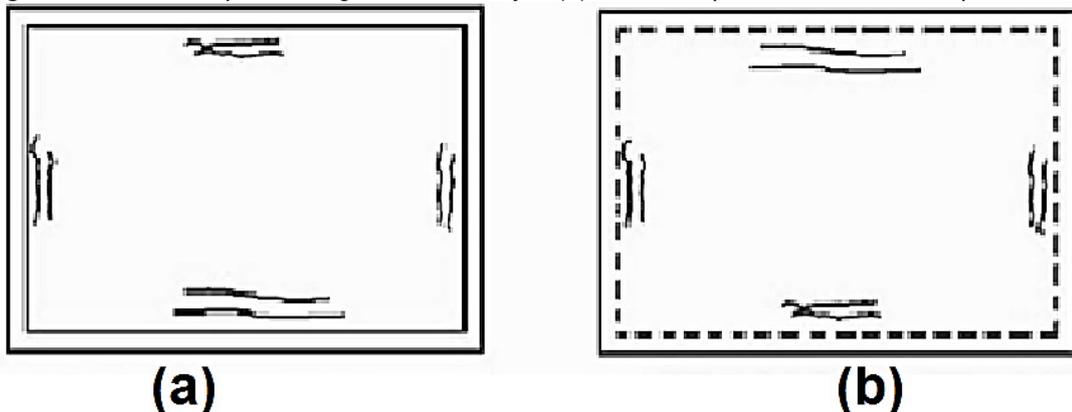
Figura 20: Fissuras causada devido a deficiência de armadura (a); fissuras na face inferior da laje



Fonte: Lichtenstein, (1969).

De acordo com Lichtenstein (1969), quando a laje possui espessura reduzida e ocorre o esmagamento do concreto com momentos negativos as fissuras ocorrem na face inferior da mesma conforme a figura 21.a, no entanto quando a laje possui insuficiência de armadura e é submetida a momentos negativos ocorre fissuração de flexão na face superior da mesma, conforme a figura 21.b.

Figura 21: Fissuras por esmagamento em lajes (a); Fissuras por flexão na fase superior da laje



Fonte: Adaptado de Ripper e Souza, (1998).

Porém, quando se trata de lajes armadas em uma só direção, o quadro de fissuração sucede somente ao lado de maior dimensão da laje, visto que a mesma assume o comportamento de vigas paralelas à menor dimensão, conforme afirma Lichtenstein (1969). No entanto, quando se analisa o comportamento conjunto de vigas e pilares, Lima (2001), declara que o quadro fissuração é um tanto complexo pois os esforços de torção existentes nas vigas são transmitidos ao pilar segundo as flexões transversais (figura 22).

Figura 22: Fissuração por torção.

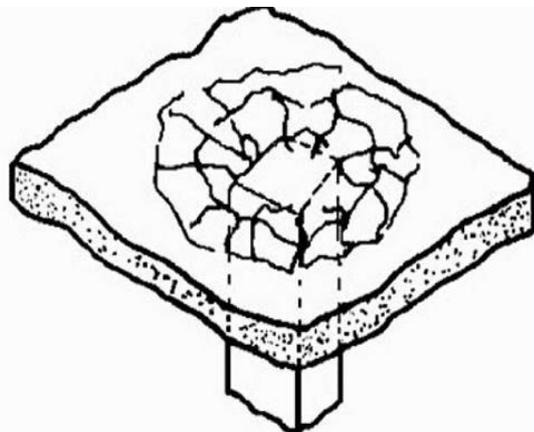


Fonte: Araldi, (2013).

No caso em que as lajes estão apoiadas diretamente no pilar e a mesma esteja sujeita a punção, devido a falhas de projeto ou execução, excesso de cargas, concreto com baixa resistência, Marcelli (2007), afirma que podem ocorrer fissuras que se

distribuem em formas circulares e continuam em volta do pilar, conforme ilustrado abaixo.

Figura 23: Configuração de fissuras por puncionamento.



Fonte: Rebello, (2010).

2.3.1.3 Configuração de fissura provocada por retração do concreto

Segundo Figueiredo e Nunes (2007), o concreto está sujeito também ao fenômeno de retração (figura 24) que consiste no “movimento natural da massa”, entretanto, quando se trata de estruturas de concreto armado, esse movimento natural de contração é impedido devido a presença das armaduras que são consideradas como obstáculos internos e também por outras peças estruturais que estejam vinculadas.

Para se evitar as fissuras por retração Figueiredo e Nunes (2007), afirma que é importante que seja avaliado o comportamento reológico tanto em nível de projeto como de execução, pois caso não seja avaliado e venha ocorrer essas patologias podem levar ao seccionamento completo das peças esbeltas como paredes e lajes. Além disso, importante que sejam analisadas as tensões de retração e que se realize a correta disposição da armadura de pele, sendo estas medidas adotadas como preventivas.

Figura 24: exemplos de fissuração por retração em lajes de concreto.

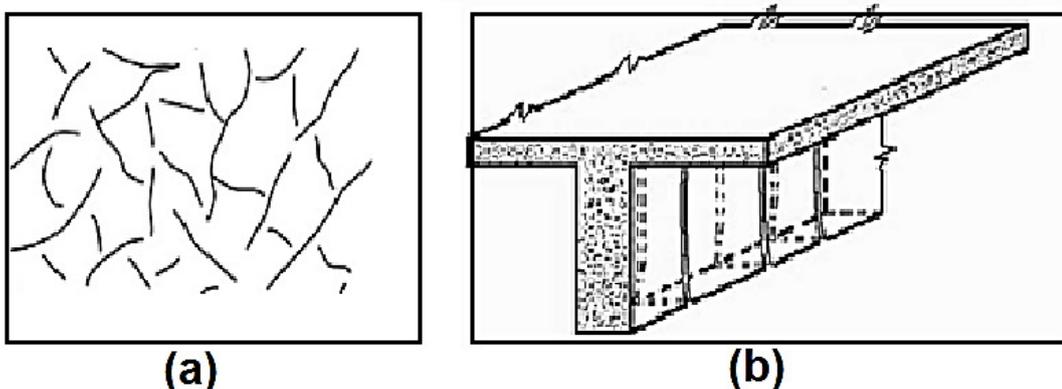


Fonte: Clube do concreto, 2018.

Durante o processo de concretagem da estrutura, de acordo com Figueiredo e Nunes (2007), deve se tomar o máximo de cuidado entre a interação da estrutura com o meio ambiente, pois a incidência direta de ventos, baixa umidade do ar e radiação solar são fatores extremamente prejudiciais, pois aceleram o processo de endurecimento do concreto, onde o mesmo precisa ter uma correta e eficiente cura do elemento estrutural, não podendo faltar água e nem a conter em excesso.

Quase em todas as situações as fissuras oriundas de retração só são verificadas após o endurecimento do concreto e essas possuem configurações intrínsecas, por exemplo no caso das lajes, em que as fissuras tem um aspecto de mosaico conforme a figura 25.a, já quando o elemento estrutural são vigas, as fissuras são distribuídas em qualquer ponto do vão e em todo o contorno da alma, paralelas entre si com intervalos próximos, conforme a figura 25.b.

Figura 25: Configuração de fissuras (a); Fissuras no elemento estrutural (b).



Fonte: Clube do concreto, (2018).

Em relação ao caso de contração plástica, Amaral (2011), afirma que as fissuras surgem antes da pega do concreto, ocasionando à redução de volume devido ao aumento da taxa de perda de água em relação à taxa de água que foi exsudada, causada pela rápida evaporação da água que está na superfície da mistura antes mesmo do endurecimento da pasta de concreto. Tal fenômeno é muito comum em elementos estruturais com grande área superficial, como lajes, em que as fissuras são superficiais e se configuram normalmente paralelas entre si e formam ângulo em torno de 45° com os cantos, no entanto quando as peças são muito esbeltas podem vir a ser seccionadas.

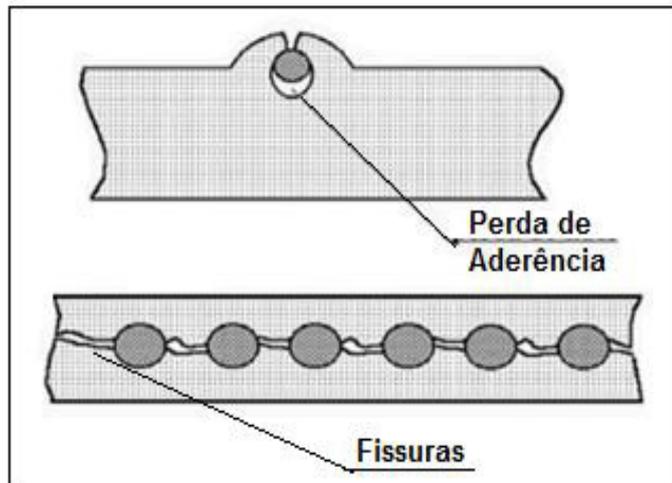
2.3.1.4 Fissuras devido ao assentamento do concreto e à perda de aderência

Segundo Amaral (2011), a perda de aderência acontece quando se tem dois concretos de idades diferentes, o que ocorre devido a um espaço de tempo muito grande entre duas concretagens consecutivas e a superfície de contato não foi devidamente preparada ou quando se tem trincas significativas no elemento estrutural, por isso é importante evitar as juntas de concretagens.

Durante a concretagem a pasta de concreto, tem a tendência natural de se acomodar pela ação da gravidade. No entanto, isso pode ser dificultado quando o espaçamento da armadura for inferior ao mínimo recomendado, pois as barras de aço acabam prejudicando a acomodação do concreto, gerando assim um quadro de fissuras que quando mais espessa for a camada de concreto maior será o grau dessas patologias.

De acordo com Ripper e Souza (1998), as fissuras que acompanham o sentido das armaduras, são originadas durante o assentamento do concreto, e acabam acarretando na formação de vazios na parte inferior das barras de aço (figura 26), promovendo assim a diminuindo da aderência entre o concreto e armadura, fenômeno conhecido com efeito sombra ou efeito parede.

Figura 26: Ilustração de fissuras por perda de aderência por efeito parede.



Fonte: Ripper e Souza, (1998).

Conseqüentemente, pelo fato dessas fissuras acompanharem o sentido das armaduras, são consideradas bastante nocivas em termos de durabilidade, pois oferecem acessos direto aos agentes agressores, o que acaba provocando novas patologias como a corrosão das armaduras.

2.3.1.5 Corrosão em estruturas de concreto armado.

Segundo Cascudo (1997), é entendido como corrosão o fenômeno patológico de destruição de um material. No caso do concreto armado, ela ocorre por meio de reações químicas e eletroquímicas não premeditadas, que se iniciam pela destruição da superfície do concreto.

Logo, o processo de corrosão do concreto depende das propriedades do meio onde ele se encontra e também das propriedades particulares do mesmo, pois é fundamental que o mesmo tenha cobertura suficiente e resistência adequada na figura 27, tem-se um pilar em processo de corrosão.

Figura 27: Pilar sofrendo corrosão.

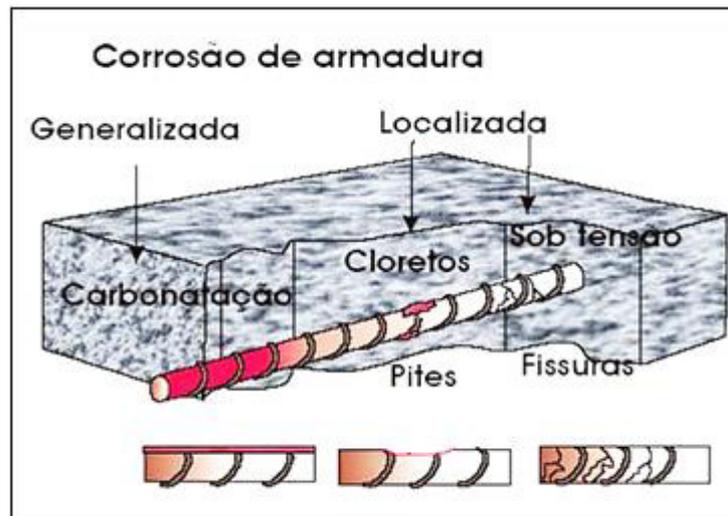


Fonte: Andrade, (1992).

Cascudo (1997), afirma que as estruturas de concreto armado promovem a proteção do aço contra o processo de corrosão, visto que o concreto é um meio altamente alcalino, o que garante a formação de uma película protetora de caráter passivo. Essa alcalinidade presente no interior do concreto sobrevém devido às fases líquidas presentes nos pontos em que se tem hidroxilas formadas da ionização dos hidróxidos de potássio, sódio e cálcio, e mesmo que o concreto se encontre com idade avançada ele continua oferecendo um meio básico, que preserva a armadura do fenômeno da corrosão.

De acordo com Cascudo (1997), a corrosão generalizada (figura 28), é causada devido a carbonatação do concreto que é um fenômeno físico-químico que acontece entre o CO₂ (gás carbônico) contido na atmosfera e os compostos do cimento que ao interagirem entre si, resultam na precipitação do CaCO₃ (carbonato de cálcio) em uma região qualquer de comprimento. Essa patologia acontece no sentido da superfície para o interior do concreto por intermédio de uma frente carbonatada que ao atingir as armaduras causa a desestabilização da camada passiva protetora dando início a corrosão.

Figura 28: Tipos de corrosão e fatores que provocam.



Fonte: Cascudo, (1997).

As observações feitas por Miotto (2010), afirmam que a corrosão e a deterioração constatadas nas estruturas de concreto estão relacionadas a fatores mecânicos, físicos, biológicos e químicos, o que é demonstrado por Gentil (2003), conforme a tabela abaixo.

Tabela 1: Fatores determinantes da corrosão em concreto.

Fatores Determinantes da Corrosão em Concreto	
Fatores Mecânicos	Entre os fatores mecânicos, as vibrações podem ocasionar fissuras no concreto, possibilitando o contato da armadura com o meio corrosivo. Líquidos em movimento, principalmente contendo partículas em suspensão, podem ocasionar erosão no concreto, com o seu consequente desgaste. A erosão é mais acentuada quando o fluido em movimento contém partículas em suspensão na forma de sólidos, que funcionam como abrasivos, ou mesmo na forma de vapor como no caso de cavitação.
Fatores Físicos	Os fatores físicos, como variações de temperatura, podem ocasionar choques térmicos com reflexos na integridade das estruturas. Variações de temperatura entre os diferentes componentes do concreto (pasta de cimento, agregado e

	armadura), com características térmicas diferentes, podem ocasionar microfissuras na massa do concreto que possibilitam a penetração de agentes agressivos.
Fatores Biológicos	Os fatores biológicos, como microrganismos, podem criar meios corrosivos para a massa do concreto e armadura, como aqueles criados pelas bactérias oxidantes de enxofre ou de sulfetos, que aceleram a oxidação dessas substâncias por ácido sulfúrico.
Fatores Químicos	Esses estão relacionados com a presença de substâncias químicas nos diferentes ambientes, normalmente água, solo e atmosfera. Entre as substâncias químicas mais agressivas devem ser citados os ácidos, como sulfúrico e clorídrico. Os fatores químicos podem agir na pasta de cimento, no agregado e na armadura de aço-carbono.

Fonte: Gentil, (2003).

Portanto, apesar do concreto armado possui propriedades mecânicas que o tornam resistente a ações estruturais, é importante que o mesmo seja dosado e moldado corretamente, para assim poder resistir a esses fatores de corrosão conforme citado acima, e caso venha ocorrer algum processo de corrosão, este deve ser interrompido o quanto antes, pois caso não seja tratado, além de enfraquecer a estrutura, acaba-se por se ocasionar algumas patologias como desagregação do concreto, fissuras e a própria corrosão do aço. Quando as estruturas se encontram com o quadro de corrosão em níveis bastante evoluídos, o processo de recuperação ou reforço estrutural pode se tornar inviável devido ao quesito financeiro.

2.3.1.6 Desagregação do Concreto

É um tipo de patologia que é compreendida por Cánovas (1988), como sendo a separação física do concreto em fatias, ocasionando a perda de sua coesão e resistência mecânica, não sendo mais capaz de suportar os esforços na região deturpada (Figura 29). Esse tipo de patologia acontece devido a várias razões, muitas delas relatadas nos tópicos anteriores, como por exemplo: corrosão do concreto,

fissuração, ataques biológicos e movimentação das formas. No entanto, se dá de forma quase que imediata, quando a estrutura é exposta a incêndios, pois a temperatura exerce função direta e por volta de 600°C o concreto já se encontra em processo de desintegração.

Figura 29: Desagregação do concreto em viga.



Fonte: Araldi, (2013).

Costa e Silva (2002), relatam que o fenômeno de calcinação do concreto acontece em situações de incêndio conforme citado no parágrafo anterior, pois quando o concreto está exposto a altas temperaturas os agregados são expandidos o que causa o surgimento de tensões internas que acabam fraturando o concreto. Como o agregado possui diferentes coeficientes de dilatação térmica, essas tensões que surgem possuem magnitudes e intensidades muito diferenciadas. A figura 30, ilustra um pilar de concreto armado degradado por calcinação.

Figura 30: Pilar em concreto armado degradado por incêndio.



Fonte: Ripper e Souza, (1998).

2.4 MATERIAS USUAIS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO ESTRUTURAL

Embora as estruturas de concreto ao serem bem projetadas e executadas se apresentem sãs ao longo do tempo, podem acontecer situações cujas causas são as mesmas, devido ao uso de materiais com baixa qualidade, apresentem sérias patologias, sendo necessário adotar medidas de recuperação ou reforço estrutural. Para isso, exige-se a escolha dos melhores materiais existentes no mercado, onde cada um possui suas particularidades e são feitos para os devidos fins específicos, portanto, é importante o conhecimento sobre as propriedades dos materiais para assim poder se empregar os mesmos com eficiência e eficácia.

Apesar dos componentes do concreto, serem passíveis apenas ao envelhecimento próprio, pode acontecer situações onde o mesmo seja afetado por diferentes anomalias. Essas patologias podem ser resolvidas, de acordo com Isaias (1988), com o uso de materiais poliméricos e pré-fabricados, cujos mesmos possuem propriedades que proporcionam a ligação entre o concreto de idades diferentes ou entre o aço e o concreto.

2.4.1 Materiais a base de polímeros

De acordo com Callister (2016), os polímeros são compostos desenvolvidos através de processo químico de associação molecular, gerados e controlados por catalisadores, onde os inibidores ajudam a controlar a velocidade da reação, impedindo a polimerização prematura durante o armazenamento do produto. O termo correto para polímeros, segundo Callister (2016), é monômero, e esses são usados na fabricação de concretos convencionais, sendo adicionados durante e após a mistura do cimento ou do concreto.

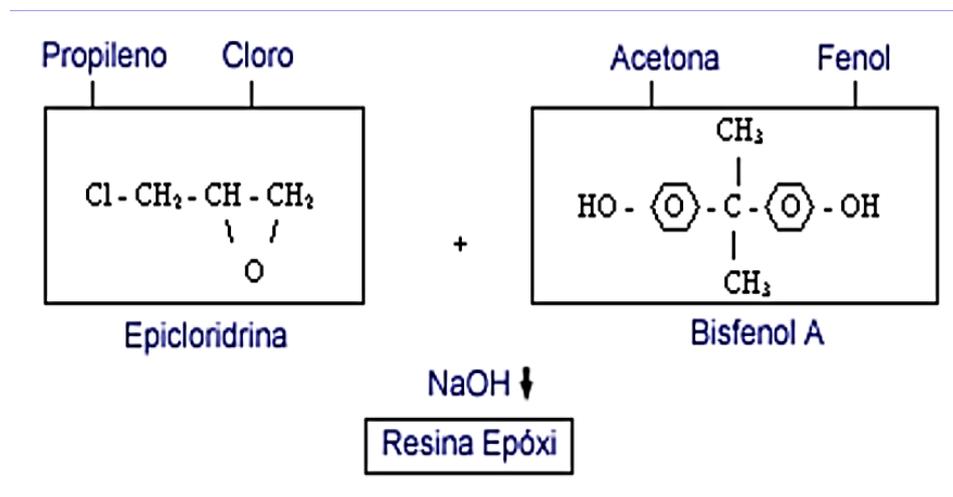
Os monômeros são utilizados quando se faz necessário em trabalhos de recuperação ou reforço estrutural, pois os mesmos são empregados na composição de ligantes estruturais e de produtos protetores das barras das armaduras. Os mais comuns que estão disponíveis no mercado são:

- Resinas poliéster-estireno;

- Resinas de ésteres-vinílicas;
- Resina epoxídicas;
- Resina poliuretânicas.

As mais utilizadas no Brasil, de acordo com Ripper e Souza (1998), são as resinas epoxídicas, cuja matéria prima é o petróleo, e ao combinarem bifenol e epicloridrina conforme ilustrado na figura 31, em diferentes proporções, tem-se um material com diversas propriedades, principalmente no que diz respeito ao peso molecular e a densidade.

Figura 31: Esquema representativo dos componentes da resina epóxi.



Fonte: autoria própria.

Os produtos de formulações epoxídicas são considerados com os melhores materiais de recuperação e de reforço de estrutura de concreto, pois são insensíveis à umidade e por isso podem ser empregadas no combate a corrosão nas barras de aço, e apresentam também boa aderência à maioria dos materiais, como argamassas e concreto, no entanto, têm como fator limitante superfícies sujas de óleos ou graxas, o que pode ser resolvido com uma ótima limpeza, garantindo assim a integridade e proteção da superfície de ligação.

Segundo Lima *et al* (2017), as resinas epoxídicas existentes no mercado, após a cura podem apresentar comportamentos rígidos ou flexíveis, portanto, é interessante em serviços com deformações significativas entre a resina e o concreto que se utilize resinas flexíveis por possuírem capacidade para acomodar as deformações impostas e assim evitar o aparecimento de patologias como fissuras e

deslocamentos excessivo. Além disso, deve-se tomar muito cuidados para temperaturas superiores a 30°C, visto que a polimerização é sensivelmente acelerada pela temperatura. Por isso, é importante que seja respeitado os períodos de plasticidade (chamado de “pot-life”) de cada resina e assim findarem o serviço.

2.4.1.1 Concreto e argamassas modificadas com polímeros

São materiais pré-misturados com adição de polímeros, para Arquez (2010), proporcionam o aumento das resistências mecânicas, abrasão e à adesão em serviços de recuperação e reforço estrutural, principalmente quando aplicado sob forma de camadas pouco espessas. O processo de preparo é bastante simples, pois são fabricados de maneira similar ao do concreto ou argamassa de cimento Portland comum.

Existem atualmente no mercado brasileiro diferentes tipos, como por exemplo: concreto e argamassa modificadas com látex, modificados com epóxi e também os modificados com resinas à base de PVA (Acetato de Polivinila). Uma das limitações em se usar esse tipo de material é que a cura do concreto não poderá ser realizada em meio úmido, pois a ação do polímero só é sentida quando a emulsão é rompida por secagem.

2.4.3 Materiais pré-fabricados

De acordo com Vasconcelos (2005), são todos os materiais produzidos industrialmente que ao chegarem no local da obra estão prontos para serem utilizados. Entre os diversos tipos de matérias pré-fabricados os mais empregados na construção civil, para serviços de recuperação e reforço estrutural são as argamassas prontas, materiais para injeção, adesivos e graute. Nos tópicos seguintes serão descritos sobre as particularidades de cada um.

2.2.3.1 Argamassas prontas

São indicadas para serviços em que o volume de utilização seja pequeno, entre as mais utilizadas são as argamassas de base cimentícias e as de base resina epóxi.

a) Argamassas de base cimentícia:

De acordo com Souza e Ripper (1998), existem diversas vantagens de se usar esse tipo de material em processo de recuperação ou de reforço estrutural, pois o mesmo não apresenta retração e não é corrosível e muito menos inflamável. De acordo com as orientações de alguns fabricantes, esse tipo de material é encontrado no Brasil em duas modalidades que são as argamassas autonivelantes, que possuem grande fluidez, recomendadas para aplicação em superfícies horizontais; e as argamassas tixotrópicas, essas não escorrem e podem ser aplicadas em superfícies com inclinações diferentes em relação à horizontal.

b) Argamassa de base resina epóxi:

Segundo Arquez (2010), são conhecidas também por argamassa de polímeros, apresentam boa eficiência nos serviços de reparos de patologias em elementos estruturas, entretanto são limitadas a falhas localizadas de pequenas dimensões, por razões econômicas. São bastante indicadas em trabalhos de reparo superficial, pois proporcionam a boa aderência entre o concreto e a barra de aço, por isso, podem ser empregadas na ancoragem de chumbadores e cobrimento de barras adicionais, sendo aplicada tanto em superfícies horizontais como verticais por ser tixotrópica.

Outro tipo de argamassa pronta indicada para recuperação e reforço de estruturas de concreto é argamassa estrutural 250, constituída por cimento e polímeros, impermeável e que possui grande resistência e é isenta de retração. Ela é indicada para serviços de revestimento ou reparo com espessura que varia entre 0,5 a 2,5 cm em estruturas de concreto ou alvenaria, e pode ser colocada em superfícies verticais pois não escorre, desde que a superfície se encontre limpa e seca, pois a presença de impurezas prejudica a aderência da argamassa.

2.2.3.2 Adesivos:

De acordo com Helene (1992), os adesivos têm a finalidade de unir materiais a elementos estruturais que já estão em uso, os mais utilizados são os a base de epóxi, base acetato de polivinila (chamado também polímero vinílico ou de PVA), e acrílico.

O uso de adesivos a base de polímeros acrílicos é semelhante aos de base PVA, muito empregados em tintas e impermeabilizantes. Os de PVA possui boa resistência ao intemperismo e são bastantes empregados no preparo de chapisco,

após diluídos em água proporcionam melhor aderência entre a argamassa e o substrato. Já os polímeros acrílicos, dispõem de resistência química e são bastante empregados em painéis de revestimento em paredes, como selante para juntas e também como material para execução de membranas.

Segundo Luczynski (2007), os adesivos de base epóxi são fornecidos em dois componentes, o catalisador e monômero. Um dos mais utilizados é o Sikadur 32, formado pela resina epóxi e o endurecedor de consistência fluida. É recomendado pelo fabricante que a superfície a ser tratada deve ser sólida e estar limpa, sem a presença de impurezas. No caso de substratos cimentícios pode haver umidade, mas desde que não tenha saturação.

Após a mistura dos componentes no caso do Sikadur 32, a resina epóxi e o endurecedor se comportam como catalisador, o material passa a ter uma consistência viscosa durante um determinado intervalo de tempo e em seguida começa a endurecer e se solidificar, adquirindo elevada resistência mecânica. De acordo com as instruções do fabricante, a proporção recomendada deve ser 2 monômero e 1 catalisador, sendo que o tempo de trabalhabilidade da mistura gira em torno de 40 minutos, e com 7 dias o produto alcança sua resistência mecânica final de aproximadamente 60 MPa.

2.2.3.3 Materiais para injeção:

São empregados em serviços que seja necessário restabelecer a monoliticidade dos elementos de concreto fissurados, garantindo a vedação e o bom desempenho da estrutura, além de impedir a infiltração de água e de outros agentes agressivos (NEWAS, 1993). Os tipos de injeção de resinas sintéticas mais utilizadas são as acrílicas, poliéster e as epoxídicas.

O uso de denverpóxi injeção componente A, é mais utilizado devido ao fato das resinas epoxídicas apresentarem boa resistência química e mecânica, além de boa adesão, e serem aplicadas em diversos meios, inclusive em meios com elevado teor de umidade. Durante a obra podem ser utilizados solventes para economizar a resina, o que garante um comportamento fluido, e com o uso de equipamento a ar comprimido

é possível fazer a injeção em fissuras com aberturas menores do que 0,1 mm. O uso desse material, apesar de ser aplicado em patologias de pequenas dimensões, garante o aumento da capacidade de suporte e vitalidade da estrutura de concreto.

2.2.3.4 Graute:

Conforme Souza e Ripper (1998), graute corresponde as argamassas industriais de base mineral ou de base epóxi, indicadas para serviços de recuperação em estruturas de concreto simples ou armado, pois esse material apresenta qualidades resistência mecânica elevada, ausência de retração e é facilmente aplicado.

Os de base mineral são formados por cimento, quartzos, aditivos superplastificantes, expensor e também por agregado miúdo. De acordo com Souza e Ripper (1998), só são possíveis serem aplicados em regiões de pequenas dimensões em elementos estruturais, pelo fato de apresentarem elevada fluidez e serem constituídos por aditivos expansores que possibilitam que todos os espaços da região de reparo sejam preenchidos. No caso do graute de base epóxi, possui também elevada fluidez e baixa viscosidade, e após o seu endurecimento apresenta resistência mecânica, abrasiva e química elevada. Portanto, em trabalhos de recuperação em que as patologias encontradas sejam pequenas e de acesso restrito o uso de graute se faz necessário.

2.5 TÉCNICAS DE REPARO E REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

O concreto é um dos principais materiais de construção civil, resultante da mistura dos agregados (miúdos e grãos naturais ou britados) com cimento e água. Está presente na maioria das edificações e construções, mas, o mesmo pode apresentar patologias, seja ele simples ou armado.

De acordo com Trindade (2015), os problemas patológicos exigem técnicas eficientes de recuperação, podendo ser apenas um simples tratamento na superfície ou em alguns casos reforço estrutural, o que exige uma conduta severa nas etapas preliminares, como a preparação e limpeza do substrato, pois mesmo que se use os melhores materiais existentes no mercado se o substrato não tiver preparado adequadamente, poderá comprometer a qualidade do serviço.

Diante disso, Ripper e Souza (1998), afirmam que as melhores técnicas usuais são o polimento e o apicoamento (figura 32). A primeira técnica consiste na diminuição da aspereza das superfícies de concreto armado o que diminui a possibilidade das partículas se desagregarem da estrutura ao longo do tempo, e no caso do apicoamento, este pode ser manual ou mecânico, antecede em boa parte dos serviços de recuperação/reforço estrutural, pois promove a retirada das camadas degradadas da superfície do concreto e assim possibilita a aderência entre as camadas que serão colocadas para aumentar o cobrimento.

Figura 32: Apicoamento manual em um pilar de concreto armado (a); Apicoamento mecânico com martelo pneumático (b).



Fonte: Zucchi, (2015).

2.5.1 Intervenções em superfícies de concreto armado

É realizado esse tipo de técnica em serviços em que não é necessário introduzir armadura para aumentar ou reconstituir a capacidade portante do elemento estrutural, podendo ser resolvidos as patologias apenas com produtos industrializados para cada situação específica.

Essas medidas de intervenções são classificadas de acordo com Trindade (2015), segundo a profundidade degrada do concreto, em recuperações superficiais se dar com profundidade menor a 2 cm, já no intervalo de 2 a 5 cm são denominadas de reparos semiprofundos e atingem em alguns casos a armadura sendo necessário realizar a limpeza da mesma com escovação manual ou jato de areia, e quando a profundidade degrada do concreto é maior a 5 cm é intitulado como reparos profundos.

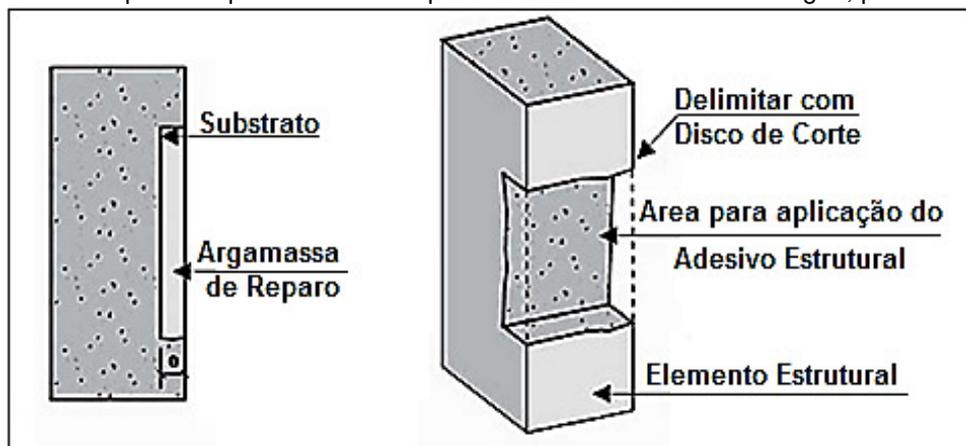
Em todas as situações, consiste em retirar todo o concreto danificado até atingir o concreto são, e então regularizar a superfície de forma que a aderência com o material de reparo não seja prejudicada, por isso é importante que o corte do concreto seja efetuado com bastante cuidado e se use a argamassa de restauro específica para solucionar a patologia.

2.5.1.1 Restauração de elementos estruturais

De acordo com Marcelli (2007), apesar das patologias afetarem as estruturas de concreto em diferentes graus de profundidades, existem diversos produtos industrializados para atender a cada situação específica. Como por exemplo, os grautes, as resinas, os adesivos epóxi's e a argamassa estrutural, estes produtos já vêm prontos para serem aplicados, no entanto, tem-se outros compostos que são vendidos separados e podem ser misturados na obra formando uma argamassa de restauro excelente.

O uso de aditivos químicos em microconcretos e argamassa proporcionam maior plasticidade e melhor aderência. É importante que essas argamassas de restauro, além de terem boa aderência, tenham alta resistência e não sofram retração, ajudando a preencher todo o vazio, resolvendo assim a patologia presente. A figura 33, mostra uma solução típica de corte para restauros que podem ser utilizadas em pilares, vigas e lajes.

Figura 33: Reparos superficiais com espessura máxima de 2 cm em Vigas, pilares ou laje.



Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

Então, seguido todo o tratamento da superfície do concreto, a limpeza e os reparos nas ferragens, o elemento estrutural pode ser restaurado. No entanto, para

um processo de restauração ser eficiente é necessário que exista uma boa aderência entre o concreto do reforço com o concreto existente, o que é inibido quando se tem concretos de diferentes idades, pois podem ter maior risco de surgimento de fissuras ou até mesmo a segregação de materiais, o que faz com que a peça não seja monolítica (Momayz *et al.*, 2005).

Portanto, para uma melhor aderência e um aumento da vida útil da estrutura e, assim, proporcionar um comportamento mais próximo do monolítico da peça reforçada (figura 34), faz-se uso de alguns materiais e técnicas existentes no mercado que podem ser empregados como, por exemplo, o restauro com adesivos à base de epóxi que são colas que possui um alto poder de aderir o concreto velho ao novo, além de ser uma eficiente barreira de proteção contra ataques de agentes agressivos, conforme relata Momayz *et al.*, (2005).

Figura 34: Adesivo epóxi aplicado em superfície de concreto armado.



Fonte: Zucchi, (2015).

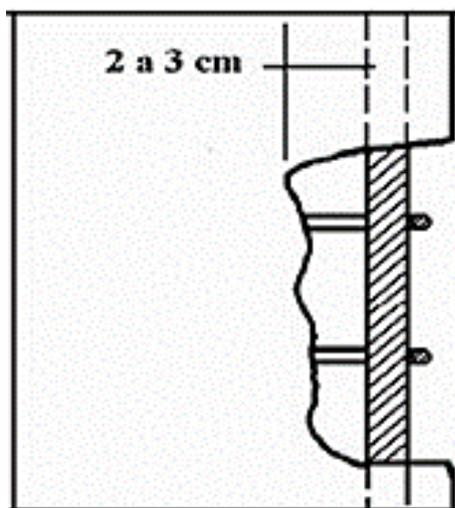
Amorim (2013), propõe outra forma de restauro com o uso de argamassas poliméricas que são à base de metil-metacrilato ou epóxi e apresentam as vantagens de fácil moldagem, boa aderência e promove resultados estéticos satisfatórios.

Dentre estas técnicas, uma alternativa é a realização de reparos com argamassa estrutural que não necessita de formas, sendo utilizadas apenas em reparos pontuais em pilares, lajes e vigas ou outras estruturas de concreto, uma vez que se trata de um material monocomponente feito com cimento e aditivos especiais, que ao ser misturado com quantidade específica de água resulta em uma argamassa

de consistência seca, com uma boa resistência mecânica com aplicabilidade em reparos de 2 a 6 cm.

Segundo Marcelli (2007), quando se tem áreas grandes e é preciso realizar a remoção profunda do concreto degradado, é empregado a técnica denominada de corte (figura 35), que utiliza um equipamento chamado martelo demolidor, responsável pela retirada do material nocivo à boa saúde das armaduras. Portanto, essa alternativa é indicada quando o aço das armaduras estiver com possibilidade ou já esteja sofrendo corrosão, garantindo assim a remoção total da parte degrada insuficiente e a inserção das barras em meio alcalino. O ideal é que esse corte tenha profundidade no mínimo de 2 cm ou equivalente ao diâmetro da maior barra da armadura, sem ferir o concreto sadio.

Figura 35: Corte em estrutura de concreto, com remoção profunda.



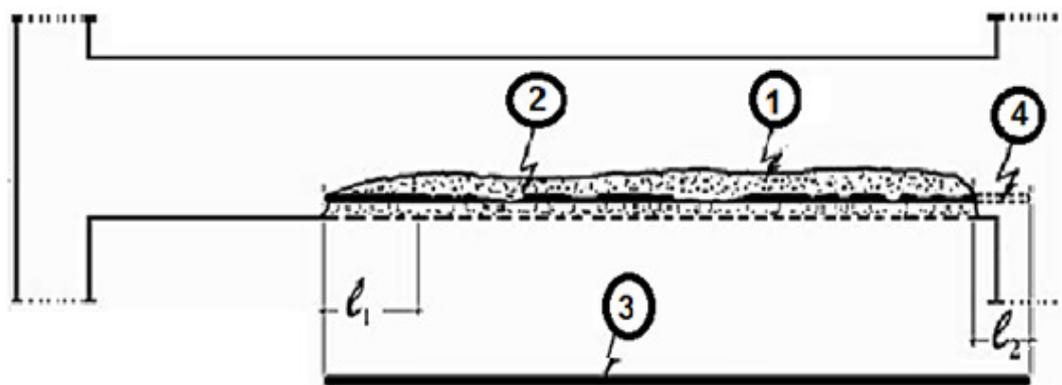
Fonte: Ripper e Souza, (1998).

De acordo com Souza (1993), quando não é possível realizar a extensão do corte, devido ao comprimento de ancoragem ou de emenda com a armadura existente é necessário à recolocação de armaduras tanto no caso de reforço como de complementação. Nesta situação são realizados furos no concreto existente, em seguida preenchido com graute ou epóxi, e então são imersas as barras da armadura ou em alguns casos as esperas conforme a figura 36.

Figura 36: Situações de confrontação corte x comprimento de ancoragem e armarração de barras de complementação.

Legenda:

- (1) Concreto degradado, já removido;
- (2) Barra de aço degradada.
- (3) Barra de complementação.
- (4) Espaço para a nova barra de aço.



Fonte: adaptado de Ripper e Souza, (1998).

Em relação ao rendimento dessa técnica, é difícil se definir uma taxa média, pois depende das condições locais como a densidade da armação, dureza do concreto existente, posição da superfície a ser tratada e profundidade do corte a executar, mas, está é uma medida que proporciona o aumento da vida útil da estrutura.

2.5.2 Tratamento de peças fissuradas

As fissuras indicam que algo de anormal está acontecendo em uma estrutura e podem ou não representar um risco de segurança aos usuários e à edificação, por isso, no tratamento desse tipo de patologia é necessário conhecer a causa e a variação de espessura, caso as fissuras provoquem a diminuição da capacidade resistente do elemento estrutural é necessário a execução de reforços estruturais, mas caso não esteja afetado o desempenho e capacidade portante, poderá ser realizado técnicas de injeção ou grampeamento de fissuras.

Ripper e Souza (1998), classifica as fissuras em ativas e passivas, no entanto, para as ativas só é possível realizar medidas reparadoras caso sejam eliminadas as causas que as gerou, então passam a ser tratadas como passivas, pois mesmo que seja feito o fechamento de fissuras ativas para promover o monolitismo da peça a mesma voltaria a se abrir em outro lugar ou no mesmo ponto, pois a causa geradora ainda persistiria.

Em razão disso, o primeiro procedimento a ser realizado é solucionar o que está levando a estrutura à fissuração, então é possível se realiza a vedação, cobrimento e preenchimento da fenda com material elástico e não resistente, promovendo assim uma obstrução que impeça a degradação do concreto. Para Ripper e Souza (1998), no caso das fissuras passivas, além de promover a proteção deverá garantir que o elemento estrutural também volte a apresentar bom desempenho, o que pode ser feito pela injeção de um material aderente e resistente, como a resina epoxídica.

Se porventura a estrutura de concreto apresente rede de fissuras e esteja bem penetrada no elemento estrutural, de acordo com Maia (1999), a técnica de reparo além de ser mais delicada, deverá recorrer ao uso de resinas epoxídicas, que são produtos mais caros. Já nas situações em que as fissuras são superficiais, o tratamento é mais simples, o que pode ser resolvido com a utilização de nata de cimento Portland incorporada com aditivos expansor.

Portanto, em todas as técnicas adotadas deverá ser promovida uma barreira que impeça a passagem de líquidos e gases nocivos ao concreto e armadura do elemento estrutural. A seguir será abordado as técnicas de injeção e grampeamento de fissuras, medidas usais no tratamento de fissuras.

2.5.2.1 Injeção de fissuras

Trata-se de um método que consiste no preenchimento das fissuras com material apropriado que possa reparar ao máximo esse tipo de patologia. De acordo com Cánovas (1988), esta técnica é indicada para os casos em que as fissuras possuem aberturas maiores que 0,1 mm e podem ser feitas sob baixa pressão, no entanto,

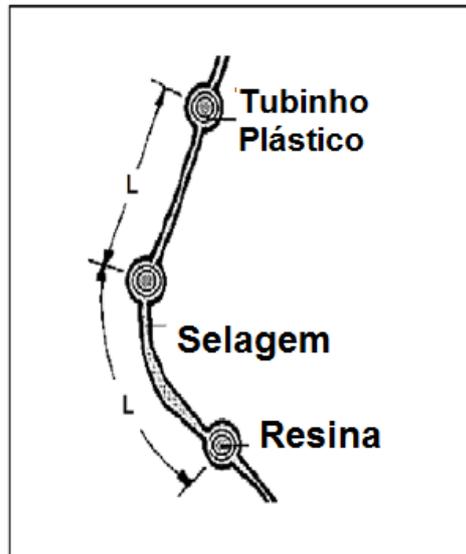
quando essas aberturas são maiores que 3 mm e não tão profundas o enchimento pode acontecer por gravidade.

Esta técnica deve garantir o monolitismo de fendas passivas onde são usados epóxi ou graute. Para Cánovas (1988), nos casos da vedação de fissuras ativas apesar esse método não ser tão indicado, pois, a patologia varia de tamanho com o passar do tempo e temperatura, e é necessário injetar resina poliuretânicas ou resinas acrílicas. As resinas epoxídicas também são muito indicadas nessas situações, por serem produtos de baixa viscosidade, terem alta capacidade aderente e resistente, e não serem susceptíveis a retração, apresentam bom comportamento na presença de agentes agressivos e endurecem rapidamente.

No processo de injeção, essa técnica deverá ser efetuada com ajuda de uma furadeira e consiste nas seguintes etapas de preparação da fenda (Figura 37), de acordo com a metodologia de Figueiredo (1989):

- Realizar aberturas dos furos com diâmetro de 1 cm e com profundidades inferiores a 3 cm ao longo de toda fissura, obedecendo o espaçamento (L) entre o intervalo de 5 a 30 cm, sem ultrapassar 1,5 vezes o valor da profundidade.
- Efetuar a limpeza da fenda e dos furos com ar comprimido, por aplicação de jatos e em seguida a aspiração para a remoção das partículas soltas.
- Proceder com a fixação de tubinhos plásticos para a injeção do produto, onde esses deverá ter parede pouco espessas e diâmetro com um ponto inferior ao da furação. O próprio adesivo proporciona a fixação, pois selará o intervalo de fissuras entre os furos.
- Com uma espátula ou colher de pedreiro se realiza a selagem com aplicação de uma cola epoxídica bicomponente, deixando um excesso pequeno de cola ao redor dos tubos para garantir a fixação.

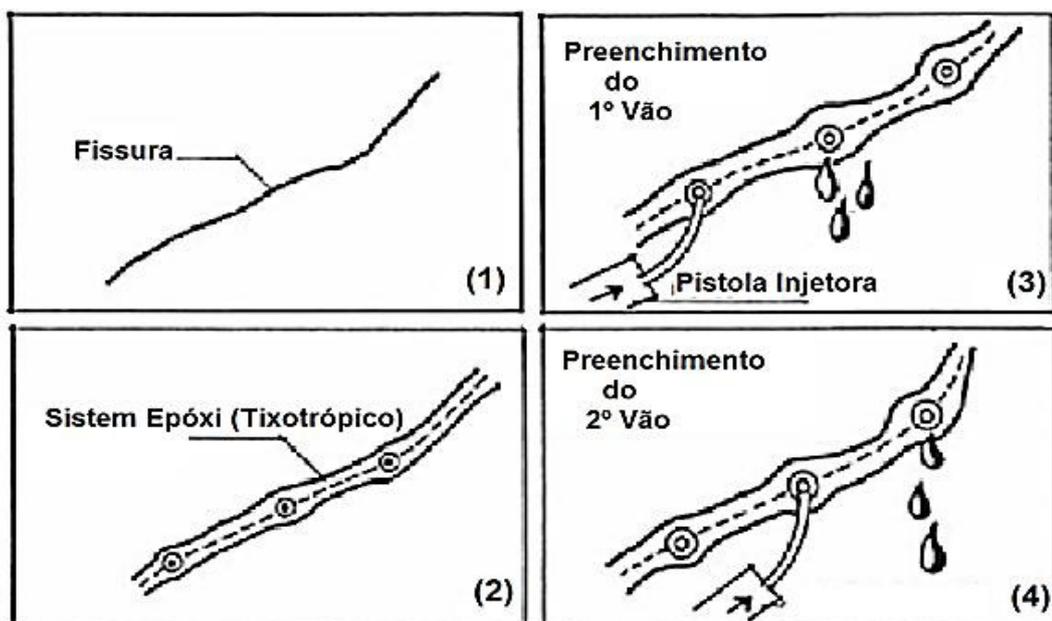
Figura 37: Preparação da fenda para o procedimento de injeção.



Fonte: Ripper e Souza (1998).

De acordo com Figueiredo (1989), após a preparação da fenda, realiza-se a injeção da resina partindo do ponto de cota mais baixo até que o material sai no furo seguinte e assim sucessivamente conforme a ilustração da figura 38. A selagem propociona a separação entre o meio externo e a abertura da fissura, tendo como limitante o fato dos tubinhos de plásticos serem conservados de meio dia a um dia após o término da injeção, quando serão removido, mas, promove a regularização dos locais onde estavam fixados com a própria cola de injeção.

Figura 38: Etapas do processo de injeção em fissuras.



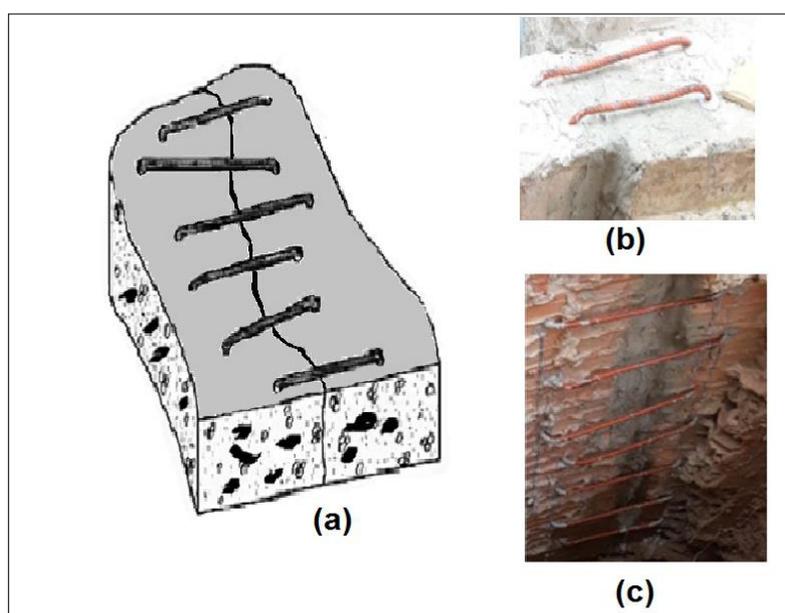
Fonte: adaptado de Figueiredo, (1989).

2.5.2.2 Grampeamento de fissuras

De acordo com Ripper e Souza (1998), é uma técnica que consiste em inserir armaduras de aço na solução de patologias como fissuras, em função da aparência e do propósito estas armaduras são denominadas de grampos e utilizada nas técnicas de costura das fendas, atuam como pontes entre as duas partes do concreto que estão separadas pelas fissuras (figura 39).

O uso de grampos é indicado para os casos de fendas ativas ocasionadas por deficiências localizadas de capacidade resistente, pois permite resistir aos esforços de tração extra que ocasionam a fendilhação, atua como armadura adicional proporcionando assim o aumento da rigidez localizada na peça, o que impede a propagação do esforço gerador da fenda.

Figura 39: Ilustração de reparo de fissuras por costura. Estrutura de concreto grampeada por costura (a); grampos de aço (b); estrutura de alvenaria com concreto, com grampos de aço dispostos com inclinações diferentes.



Conforme relata Cánovas (1988), no processo de costuras das fissuras, o grampeamento deve ser feito sem provocar esforços em linhas e nem de ancoragem no concreto, por isso é importante que o arranjo dos grampos esteja alocado com inclinações diferentes em relação ao eixo da fissura, pois caso não seja feito dessa forma poderá aumentar a rigidez em regiões localizados na estrutura, e se o esforço

que originou a fenda persistir será gerada uma nova patologia próxima à região “costurada”.

De acordo com a metodologia de Cánovas (1988), a execução da técnica de costura de fissuras consiste nas seguintes etapas:

- 1) No caso de elementos de concreto, deve-se descarregar a estrutura, caso seja apenas uma parede de vedação em alvenaria não é necessário;
- 2) Executar a furação na estrutura para amarração das extremidades dos grampos, estando os buracos preenchidos com adesivo adequado;
- 3) Caso seja necessária injeção nas fissuras com resina epoxídica ou cimentícias, deverá ser executado a selagem e o grampeamento posteriormente;
- 4) As fissuras devem ser costuradas nos dois lados do elemento estrutural caso esteja sofrendo tração.

2.5.3 Técnicas usuais de reforço estrutural

Reis (2001), afirma que as técnicas de reforço estrutural têm a finalidade de aumentar a capacidade portante das estruturas de concreto ou apenas regenerar caso a mesma se encontre bastante degradada devido à incidência de manifestações patológicas. Durante a aplicação dessas técnicas é importante considerar vários fatores que são: concepção original da edificação, contexto histórico e os tipos de patologias, além da disponibilidade de materiais e mão de obra disponível na região.

Deve-se fazer uso das técnicas de reforço estrutural em situações em que é preciso aliviar as cargas sobre peças de concreto armado, mas, sem retirá-lo da sua forma original, e as sobrecargas atuantes sejam as mesmas, pois é necessário que as medidas adotadas não contrariem as recomendações da NBR 6118:2014, para as condições específicas de uso.

Porém, caso optem pela redução da sobrecarga e, por conseguinte, não utilize o reforço estrutural, é necessário que as patologias como as fissuras existentes sejam preenchidas em razão da agressividade do meio ambiente, nos casos mais simples pode se utilizar as seguintes recomendações de Marcelli (2007).

Tabela 2: Recomendações para tratamento de fissuras.

AMBIENTES INTERNO E NÃO-AGRESSIVOS	AMBIENTES AGRESSIVO E ÚMIDO
Aberturas < 0,3 mm dispensar tratamento	Abertura < 0,1 mm dispensar tratamento.
Aberturas > 0,3 mm se for passiva, injetar resina epóxi.	Abertura < 0,1 mm se for passiva injetar resina epóxi.
Abertura > 0,3 mm se for ativa, trata com selante.	Abertura > 0,1 mm se for ativa, trata com selante.

Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

No entanto, se não for possível adotar as medidas citadas na tabela anterior, será necessário adotar as técnicas de reforço estrutural, principalmente quando o elemento de concreto apresentar flechas e fissuras além do limite permitido em projeto, o que é causado devido a uma avaliação incorreta das cargas que são aplicadas ou tenham sido utilizados materiais de baixa eficiência, e caso sejam submetidos a sobrecargas maiores do que as previstas em projeto. Todos esses fatores podem provocar diversas patologias e em diferentes graus a estrutura, exigindo assim adotar alguns métodos de reforço estrutural para cada situação em particular. A seguir serão descritos os mais comuns e eficiente métodos que podem ser empregados em algumas situações corriqueiras.

2.5.3.1 Técnicas de reforço estrutural em vigas de concreto

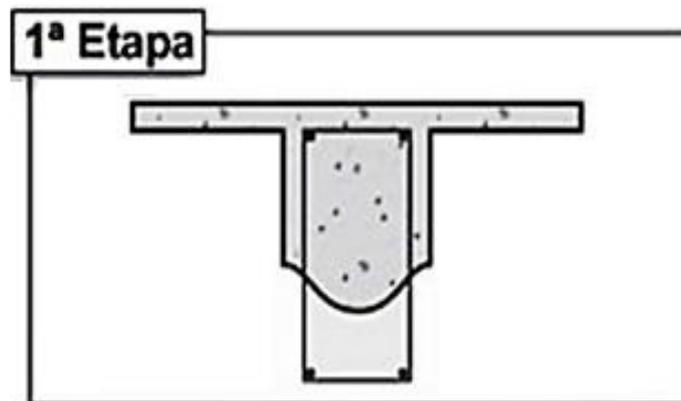
Conforme Zucchi (2015), existem diversas técnicas e materiais que podem ser empregados no reforço de vigas de concreto armado, quando a mesma se encontrar diante de agentes agressivos em função do meio ou devido a erros de projeto, e assim provoque a diminuição do desempenho do elemento estrutural. Diante dessa problemática vem a necessidade de escolher o melhor método que favoreça o custo e promova a longevidade da estrutura.

Uma das alternativas que podem ser adotadas de acordo com Marcelli (2007) em situações onde as vigas de concreto estão submetidas a esforços de flexão

ocasionados por excesso de carga e os estribos se encontram deteriorado em função da ação de agentes agressivos, pode ser a técnica de reforço onde se utiliza preenchimento com graute ou microconcreto, que consiste nas seguintes etapas:

- 1) Faz-se um corte no concreto da face inferior da viga;

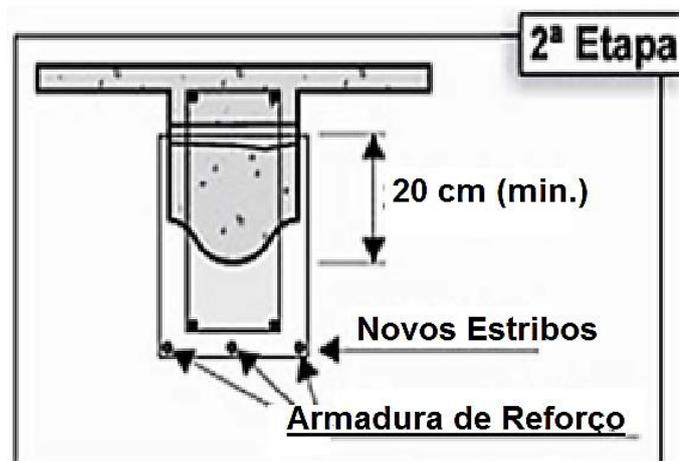
Figura 40: Ilustração corte no concreto.



Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

- 2) Caso seja necessário deve ser inserido novos estribos de reforço (figura 42);

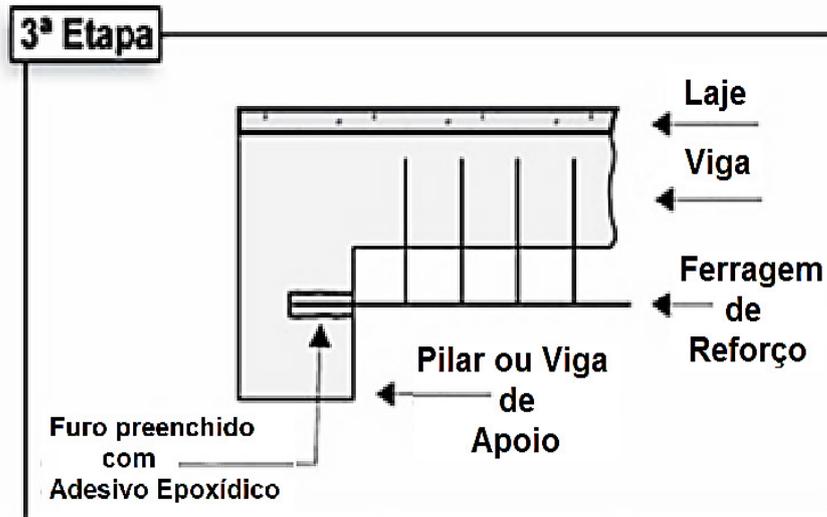
Figura 41: Esquema ilustrativo etapa 2.



Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

- 3) Após serem inseridos os estribos, deve ser fixada a ferragem de reforço nos furos devidamente preenchidos com adesivo epóxi nos apoios, podendo ser tanto em pilares como em vigas de apoio (figura 42).

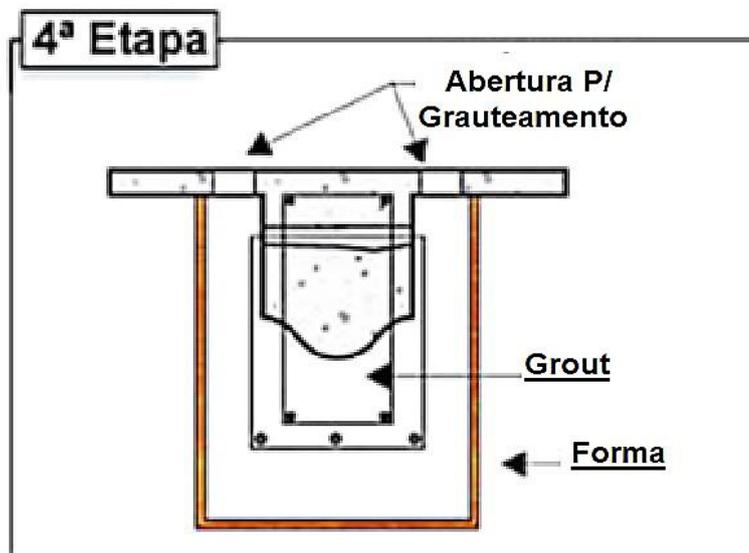
Figura 42: Processo executivo na laje e apoio.



Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

- 4) Finalizadas todas as etapas anteriores, coloca-se a forma e então se injeta o produto escolhido que pode ser tanto microconcreto ou graute (figura 43), sendo esse último indicado para as situações de difícil preenchimento.

Figura 43: Esquema de disposição final, para grautamento.



Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

Entretanto, apesar de cada patologia ter suas particularidades e especificações de tratamento de recuperação ou reforço, podem existir outras soluções e procedimentos de correção eficientes que garantam o aumento da vida útil da edificação.

2.5.3.2 Técnica de reforço estrutural em lajes

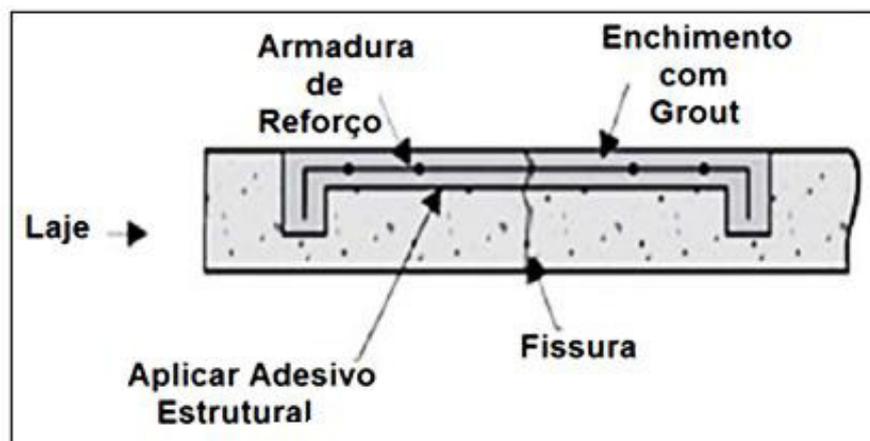
De acordo com Zucchi (2015), quando as lajes apresentam patologias como fissuras em função do excesso de cargas algumas medidas devem ser tomadas para evitar que tal problema possa se prolongar a tal ponto de levar a estrutura à ruína. Diante dessa problemática algumas recomendações técnicas podem ser utilizadas para a resolução desses problemas, como por exemplo, armadura adicional, enchimento com produto adequado e também colagem de chapa.

A técnica de reforço estrutural em lajes apesar de se assemelhar com o processo executivo feito em vigas é mais trabalhoso, pois necessita que se encontrem os momentos volventes com armadura e os de flexão positiva e negativa a qual a laje esteja submetida.

O reforço estrutural em laje é feito seguindo as seguintes etapas (figura 44), de acordo com a metodologia de Reis (2001):

- 1) Identificar as fissuras existentes na laje. Caso as aberturas sejam superiores às identificadas na tabela 1, deve se proceder com escarificação da superfície.
- 2) Realizar furos na laje e preencher com adesivo epoxídico, em seguida adicionar aos furos as armaduras de reforço.
- 3) Finalizado as etapas anteriores, deve-se realizar o enchimento com graute e esperar a cura do elemento estrutural até atingir a resistência requerida.

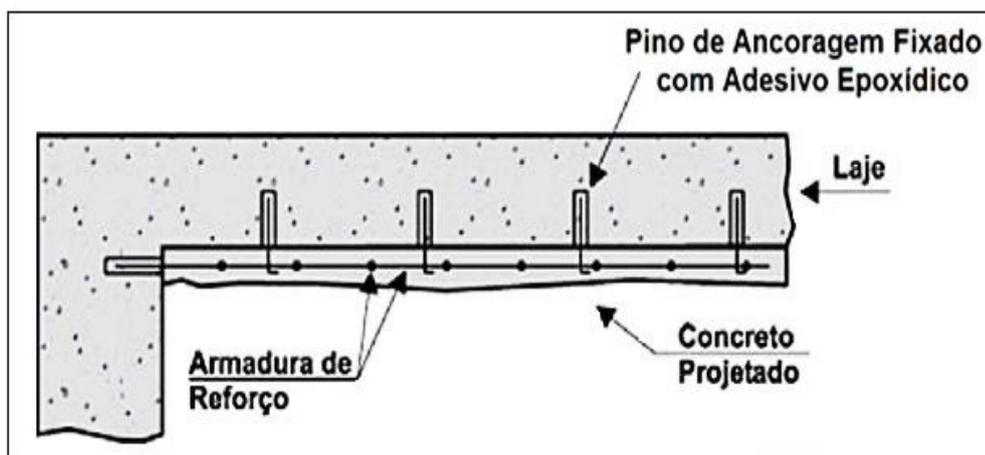
Figura 44: Esquema ilustrativo de reforço estrutural em lajes.



Fonte: Marcelli, (2007).

Caso a laje esteja submetida a flexão negativa, segue a mesma metodologia proposta por Reis (2001), conforme citada anteriormente, tendo como diferença o fato de que a armadura de reforço deverá ser colocada na parte inferior da laje (figura 45), e caso esteja sujeita aos momentos de flexão positivo deverá utilizar pinos de ancoragem fixados com adesivo estrutural na superfície inferior da laje.

Figura 45: Reforço estrutural em laje submetida a momentos de flexão positivo.



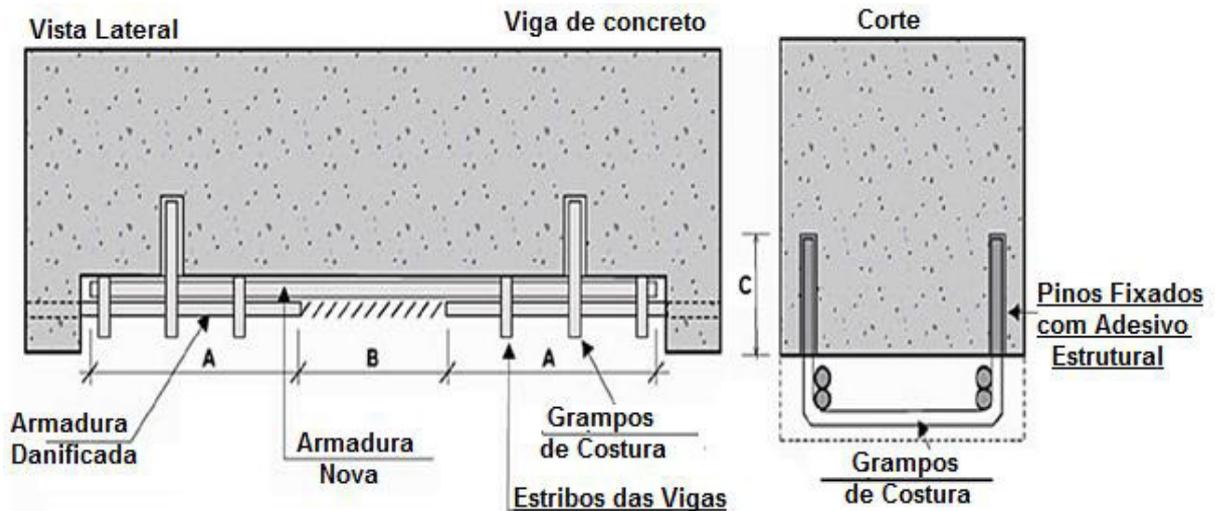
Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

2.5.3.4 Reforço estrutural por emendas das ferragens

É um método empregado quando o elemento estrutural se encontra com as armaduras deterioradas e tenha atingido sua vida útil, ou seja, quando é necessário aumentar a capacidade resistente e portante da peça. Diante dessa técnica, segundo Souza e Ripper (1998), o processo mais recomendado é o de emendas por transpasse, pois nem sempre é possível realizar a união do aço com a armadura de complementação através da emenda por soldagem, em razão do calor da solda alterar as propriedades da armadura como a redução da resistência do aço.

De acordo com Marcelli (2007), antes de efetuar as emendas por transpasse deve-se primeiro realizar o alívio das tensões e deformações a que a peça esteja submetida. Este método é bastante vantajoso quando é possível realizar abertura na estrutura para inserir novas barras de reforço a qual são fixadas com grampos de costura. A figura abaixo ilustra uma viga submetida a emendas por transpasse.

Figura 46: Emenda por transpasse em viga de concreto.



Legenda:

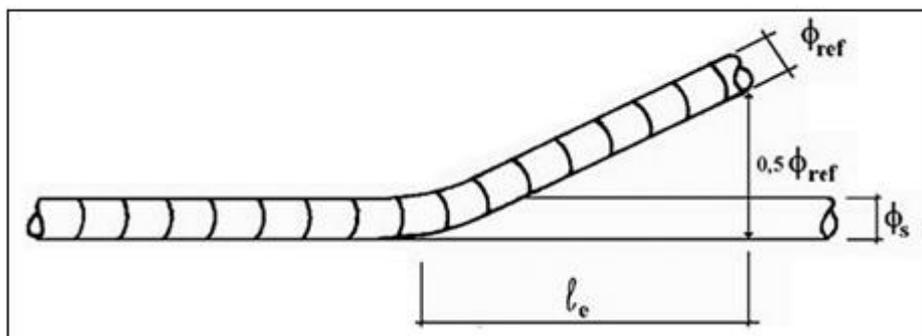
- (A) comprimento de transpasse;
- (B) Trecho oxidado com redução de seção;
- (C) comprimento de ancoragem no concreto.

Fonte: Adaptado de Marcelli, (2007).

Segundo Ripper e Souza (1998), o processo de execução seja para a recuperação ou reforço estrutural por emendas é mais trabalhoso e merece maiores cuidados do que para execução de uma nova construção, visto que deverá contemplar a necessidade de ocupar o menor comprimento longitudinal para que não se tenha a necessidade de remoção adicional de concreto e seja feita a mínima obstrução possível para o material cimentício de complementação.

Por via de regras sempre que se tenha espaço suficiente, Zucchi (2015), recomenda o uso de emendas, que ao ser auxiliados com barras levemente inclinadas (figura 47) e inserção de estribos para ajudar a compressão transversal, permitindo assim o confinamento do tirante metálico.

Figura 47: Barra levemente inclinada para melhoria de emendas.



Fonte: Zucchi (2015).

Apesar de existir outros meios de emendas como luvas mecânicas e dispositivos rígidos ou flexíveis que garantem a ligação das barras, o método por transpasse é mais simples e eficiente comparado às demais técnicas citadas, tendo como necessidade considerar a defasagem entre os pontos de emendas da mesma forma que para as construções originais.

2.5.3.5 Técnica de Reforço através do aumento da seção transversal

De acordo com Takeuti (1999), esse método consiste em aumentar a seção do elemento estrutural com armadura e concreto, é aplicada principalmente em vigas e pilares, tendo como desvantagens o fato de aumentar as dimensões da peça o que pode alterar o aspecto arquitetônico da edificação e também pela questão do tempo para o concreto atingir a resistência esperada, para assim garantir a boa eficiência do conjunto.

Cánovas (1988), afirma que a execução desta técnica deve ser feita com o apicoamento da superfície de concreto, seguida da limpeza da mesma. Após essas etapas deverá se adicionar resina epóxi para proporcionar aderência entre superfície e a nova camada de concreto, deve-se eliminar trechos de profundidade de 3 a 4 cm para ajudar a proporcionar reentrâncias na estrutura e aumentar a aderência ainda mais, concedendo a ligação do reforço com a peça.

Segundo Trindade (2015), caso o pilar esteja sofrendo patologias a tal ponto de atingir no máximo 45% da capacidade resistente do mesmo, o procedimento de reforço deverá ser feito com o escoramento da estrutura que está apoiada sobre o pilar, para retirar toda a parte do concreto degradado e inserir estribos de diâmetro

superior ou igual a 8 mm e espaçado no mínimo 10 cm da área deteriorada, conforme ilustrado na figura 48. Caso seja danificado apenas uma camada a espessura do pilar terá um aumento entre 7 a 10 cm, e se for duas camadas o aumento será em torno de 10 a 15 cm. Na figura 45 é mostrado um pilar em processo de execução dessa técnica.

Figura 48: Pilar submetido ao reforço estrutural pelo aumento da seção.



Fonte: Trindade, (2015).

Nesta técnica, quando se trata do aumento da seção transversal de viga (figura 49), o processo de execução é semelhante ao do pilar. De acordo com Almeida (2001), pode ser executado o aumento da seção quando a peça está sofrendo momento fletor e as etapas de execução são:

- 1) Realizar o apicoamento na fase inferior da viga até encontrar os estribos para então soldar as novas barras;
- 2) Após a etapa (1), colocam-se as formas ao redor da peça e adiciona o novo concreto;
- 3) Devem-se abrir sulcos na região tracionada da viga para adicionar os estribos, e depois preenchidos com argamassa epóxi.

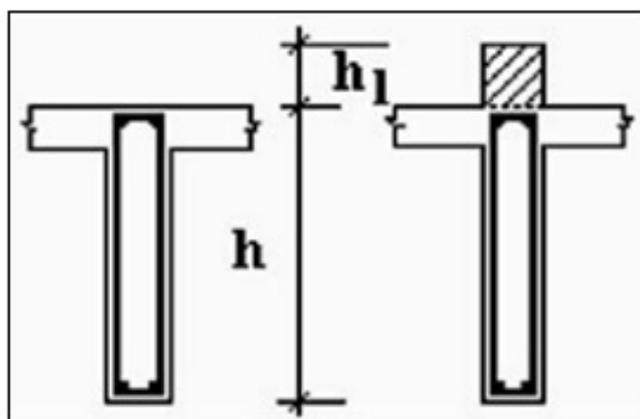
Figura 49: viga submetida ao aumento da seção.



Fonte: Araldi, (2013).

Ripper e Souza (1998), indica outra metodologia para o reforço em vigas de concreto armado (figura 50), que consiste em aumentar altura da seção transversal através do acréscimo de concreto na face superior da mesma, e conseqüentemente o braço de alavanca do momento resistente também aumenta, proporcionando assim o aumento da capacidade portante da estrutura.

Figura 50: aumento na face superior da viga.



Fonte: Ripper e Souza, (1998).

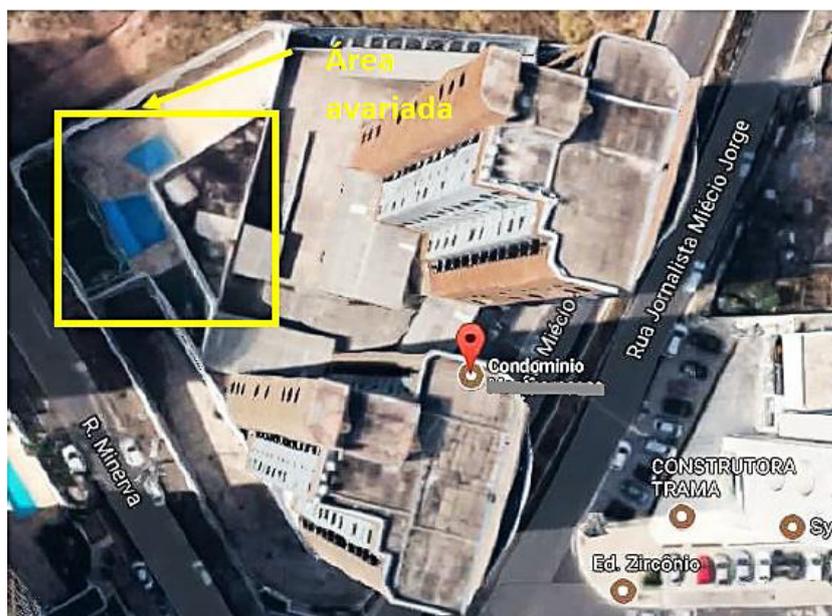
Portanto, esta técnica apesar de simples é bastante eficiente, de rápida execução e baixo custo, tendo apenas como desvantagens o fato de aparecerem saliências sobre o piso do pavimento estrutural em que está sendo executado o reforço, o que pode ser resolvido com a regularização do nível do piso com argamassa ou concreto.

3 METODOLOGIA – ESTUDO DE CASO

3.1 EDIFICAÇÃO AVALIADA

A edificação que foi analisada no presente trabalho é um condomínio residencial, situado em um terreno trapezoidal de 450,00 m² e perímetro de 140 metros, inaugurado em maio de ano de 2009, localizado em uma área nobre da cidade de São Luis-MA, composto por duas torres com vinte andares cada uma, executadas em elementos estruturais de concreto armado moldados in loco, e alvenaria de tijolos cerâmicos para vedação, conforme ilustrado na figura 51.

Figura 51: Vista aérea do condomínio com área de lazer a ser analisada.



Fonte: Google Maps.

A área de lazer deste condomínio a qual é objeto de estudos patológicos está localizada no terceiro pavimento de abrangência de suas duas torres, sendo composta por um salão de festa e por duas piscinas onde a maior possui dimensões de cinco metro de comprimento por sete metros de largura e profundidade de 1,6 m.

O presente trabalho objetivou identificar e analisar as patologias presentes nas estruturas das paredes das piscinas e do salão de festas deste condomínio, tendo em vista as melhores medidas corretivas como recuperação e reforço estrutural baseado em normas técnicas e recomendações bibliográficas.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

As patologias presentes no condomínio residencial analisado em São Luis-Ma se encontram nas paredes das piscinas feitas em concreto armado associados com alvenaria sem função estrutural, que conseqüentemente geram infiltração na casa de bombas. Outro elemento em que foram encontradas patologias foi nas paredes do salão de festas o qual apresentava fissuras a tal ponto de gerar preocupação aos moradores.

3.2.1. Patologias presentes nas piscinas

As patologias presentes nas piscinas foram notadas durante uma reforma no piso do salão de festas, após a etapa de escavação e reaterro, foi observado pelo proprietário, fissuras na região de amarração em um dos cantos da ligação parede-parede (figura 52) que se prolongava em toda a sua extensão na vertical, no caso o canto paralelo ao local aonde fica localizada a casa de bombas da piscina.

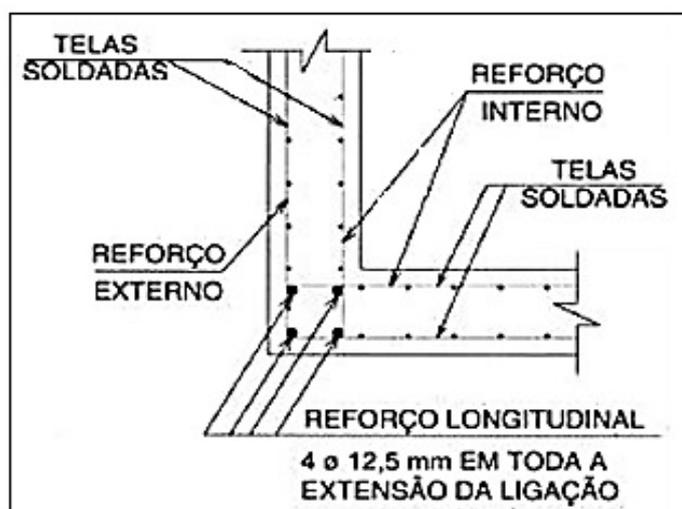
Figura 52: Fissura observada na ligação parede-parede da piscina.



Durante a visita foi realizada uma escavação em torno de sessenta centímetros de profundidade, o que não levou à instabilidade da piscina, pois a mesma estava parcialmente vazia, com o nível d'água em um metro para baixo, não havendo assim empuxo nas laterais da parede da piscina. Ao realizar a escavação, notou-se fissuras trespessante com aberturas consideráveis nas duas piscinas, que provocava vazamento e conseqüentemente infiltração no solo e na casa de bombas.

As prováveis causadas das fissuras nas piscinas foram a ausência de armaduras longitudinais passivas e armadura de ancoragem na ligação parede-parede dispostas de forma a proteger tanto o lado interno quanto externo das paredes. Tais fissuras poderiam ter sido evitadas caso tivesse feito armações complementares (figura 53), com ferragem em aço convencional, de modo a garantir uma perfeita amarração de toda a piscina. De acordo com IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas), este método proporciona a estabilidade do conjunto e aumento da vida útil.

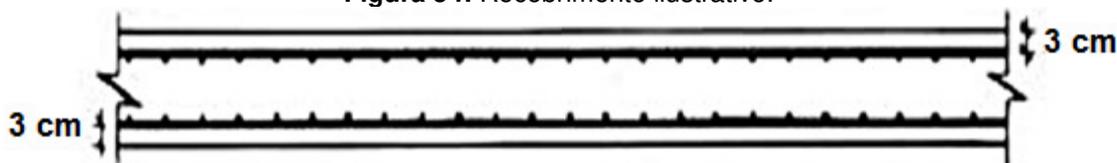
Figura 53: Esquema representativo da disposição dos ferros de amarração.



Fonte: IBTS.

Outro motivo também que levou ao surgimento dessas fissuras foi o cobrimento inferior a 3 cm, onde segundo o IBTS, para se ter uma boa proteção das armaduras o recobrimento do concreto indicado deve ser de 3 cm (figura 54), o que não foi obedecido na construção da piscina.

Figura 54: Recobrimento ilustrativo.



Fonte: IBTS.

Observaram-se outras fissuras trespessantes na parede adjacente à escavação (figura 55), a qual ocorre no meio do vão da parede da piscina e se caracteriza uma possível fissura de flexão que pode ter sido gerada devido

sobrecargas não previstas no projeto, esbeltes insuficiente para as solicitações, armadura longitudinal e ancoragem insuficiente ou mal posicionada no projeto ou na execução da estrutura. A abertura dessa fissura era inferior a 0,2 mm, o que está dentro do considerável de acordo com a NBR 6118:2014, que para a classe de agressividade ambiental três tolera fissuras com aberturas de até 0,3 mm.

Figura 55: Fissura no meio do vão da piscina.



3.2.2 Patologias presente na casa de bombas

Durante a inspeção na casa de bombas, localizada entre a piscina para adultos e a piscina para crianças, foi notado que o acesso a este local é por meio de uma abertura pequena de 50 cm x 50 cm no piso do nível das piscinas e não possui escada embutida, muito menos iluminação e ventilação.

De acordo com a NBR 10819:1989 que fixa as condições exigíveis para projeto e construção de casas de máquinas, vestiários e banheiro de piscina, a entrada na casa de máquinas deve bastante acessível para possibilitar a passagem de equipamentos. Além de ser bem iluminada e ventilada, deve dispor também de espaço suficiente para todos os equipamentos e permitir a circulação para manutenção e operação, o que não foi notado durante a inspeção conforme ilustrado na figura 56.

Figura 56: Casa de bombas das piscinas.



Foi informado por um morador que quando as piscinas estavam cheias para seu uso a água vazava para dentro da casa de bombas devido ao fato da mesma conter um furo na base da parede (figura 57), surgido por um erro de projeto e execução. Com o passar do tempo o diâmetro deste furo aumentava, devido o carregamento de areia da contenção com água advinda do vazando das piscinas.

Figura 517: Furo na base da parede da casa de bombas.



Com a presença de água no piso da casa de bombas, ocasionou outras patologias que afetaram a encanação, devido suas curvas e conexões serem locadas no piso, em contato com umidade, estavam sofrendo corrosão (figura 58). Não houve curto circuito das bombas com a presença de água, pois a rede da mesma não estava energizada a um bom tempo, e a manutenção da troca de água era feita de forma manual pois as tubulações de abastecimento eram inutilizadas.

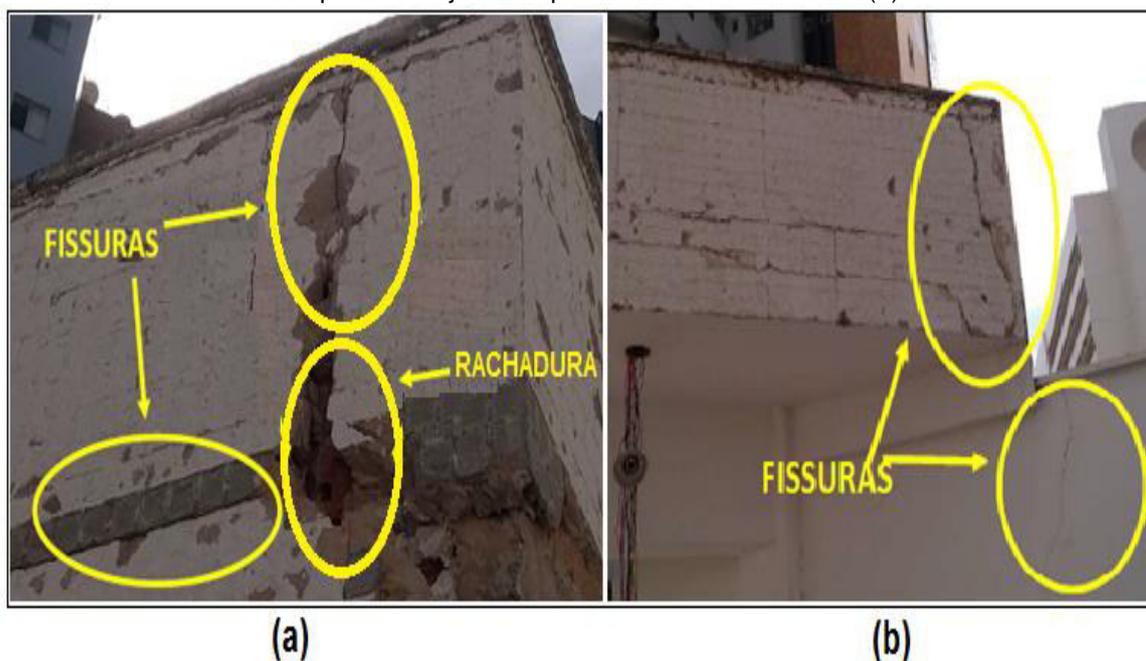
Figura 58: Curvas e conexões das tubulações da casa de bombas, deterioradas por corrosão.



3.2.3 Patologias presente no Salão de Festa

Durante a inspeção foi notado fissuras horizontais e verticais na laje de forro do salão de festas. Além da fissura na vertical possuía também uma rachadura com abertura considerável, na extremidade em balanço da laje de concreto armado (figura 59.a). A parte superior da laje foi construída em alvenaria cerâmica para fins estéticos conforme a arquitetura. Com o deslocamento na vertical da laje, a alvenaria por não ser estrutural, não acompanhou o deslocamento da mesma e por isso fissurou na vertical e na horizontal, ocorrendo assim um deslocamento da alvenaria com a laje. Essa patologia poderia ter sido evitada caso fosse executado algum elemento estrutural ao longo do seu comprimento que garantisse dessa maneira a rigidez entre a alvenaria e a laje.

Figura 59: Fissuras horizontais e verticais na extremidade em balanço da laje (a). fissuras inclinadas nos apoios da laje e nas paredes do salão de festa (b).



Outras fissuras oriundas das mesmas causas anteriormente descritas foram detectadas nas paredes de apoio da laje do salão de festa tanto na direção horizontal como inclinadas. Entretanto as fissuras nos apoios da laje tendem a ser inclinadas devido a incidência dos esforços de cisalhamento que são próximos ao esforço máximo cisalhante. Além disso, elas se propagaram para os elementos não-estruturais que estava nas suas adjacências como parede e esquadrias, conforme a figura 59.b.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

3.3.1 Adesivo Epoxi Sikadur 32

É um adesivo estrutural fornecido em dois componentes a resina epóxi e o endurecedor de consistência fluida (figura 60). Foi utilizado para o reforço estrutural nas paredes da piscina, ajudando na fixação das armaduras em reparo das fissuras. De acordo com Luczynski (2007), a duração do pot-life que é o período de plasticidade é em torno de 40 minutos, à temperatura ambiente de 25°C. A cura inicial acontece após 4 horas e a final após 7 dias, sendo que depois de finalizado a colagem, atinge-se a resistência mecânica final de 60 MPa, o que foi observado durante e após a execução do trabalho.

Figura 60: Adesivo Epóxi Sikadur 32.



Fonte: Téchne, (2010).

3.3.2 Denverpóxi Injeção

Para o furo existente na casa de bomba foi utilizado Denverpóxi injeção componente A (figura 61), pois apresentam boa resistência química e mecânica, e proporcionam a boa adesão, são empregadas em diferentes meios inclusive em situações com elevado teor de umidade, conforme afirma Newas (1993). Com o auxílio de equipamento de ar comprimido foi possível fazer a injeção no furo e fissuras existente na casa de bomba que se encontrava bastante úmida, concedendo assim o aumento da capacidade portante e vitalidade da parede da casa de bomba.

Figura 61: Denverpóxi injeção componente A.



Fonte: Denver, (2018).

3.3.2 Argamassa estrutural 250

Segundo Newas (1993), é uma argamassa pronta constituída por cimento e polímeros, e foi utilizada após a desforma do reforço na piscina, como impermeabilizante, pois a mesma possui propriedades particulares como grande resistência, é impermeável e isenta de retração.

Pode ser utilizada em serviços de revestimento ou reparo com espessura entre os intervalos de 0,5 a 2,5 cm em estruturas de concreto ou alvenaria. Graças às suas propriedades tixotropicas foi possível aplicar nas paredes vertical sem que o produto escorresse, pois, a superfície se encontrava limpa e seca, o que garantiu a aderência da argamassa estrutural 250 (figura 62).

Figura 62: Argamassa estrutural 250.



Fonte: Vedacit Impermeabilizantes, (2018).

3.3.3 Concreto armado

Como não tivemos acesso aos projetos executivos das estruturas de concreto armado do condomínio, de acordo com o histórico de construção das obras desde o ano de 2000 bem como a resistência característica mínima do concreto em 20 MPa (NBR

6118:2014) adotou-se como resistência característica do concreto em torno de 25 MPa.

O cimento utilizado foi o CP II – Z 32, por conter uma boa porcentagem de pozolana garantindo assim maior durabilidade e impermeabilidade ao concreto, e o aço empregado foi o CA-50 (Resistência característica de tensão de escoamento de 50 Kgf/mm² ou 500 MPa), de bitola de 10 mm para as barras de aço e 6,3 mm para os estribos.

3.4 MÉTODO

O desenvolvimento metodológico da monografia pode ser classificado de acordo com Santos (2000), como experimental científico de caráter exploratório, baseado em uma averiguação predial como “Inspeção Visual” que consistiu num “checkup” do condomínio mediante a verificação “*in loco*”, com a finalidade de identificar os fenômenos e manifestações patológicas e realizar as devidas medidas corretivas de recuperação e reforço estrutural, voltadas para o enfoque da segurança, estética, funcionalidade e vida útil da edificação.

3.4.1 Análise das manifestações patológicas

Se deu através dos dados coletados durante a visita técnica, por meio de informações dos moradores sobre as áreas com possíveis patologias, e então foi feito um relatório fotográfico para facilitar a assimilação dos defeitos e criar prioridades quanto à formulação do diagnóstico, levando em consideração a quantidade de manifestações patológicas e o grau de risco a insalubridade e segurança dos usuários, além dos aspectos estéticos.

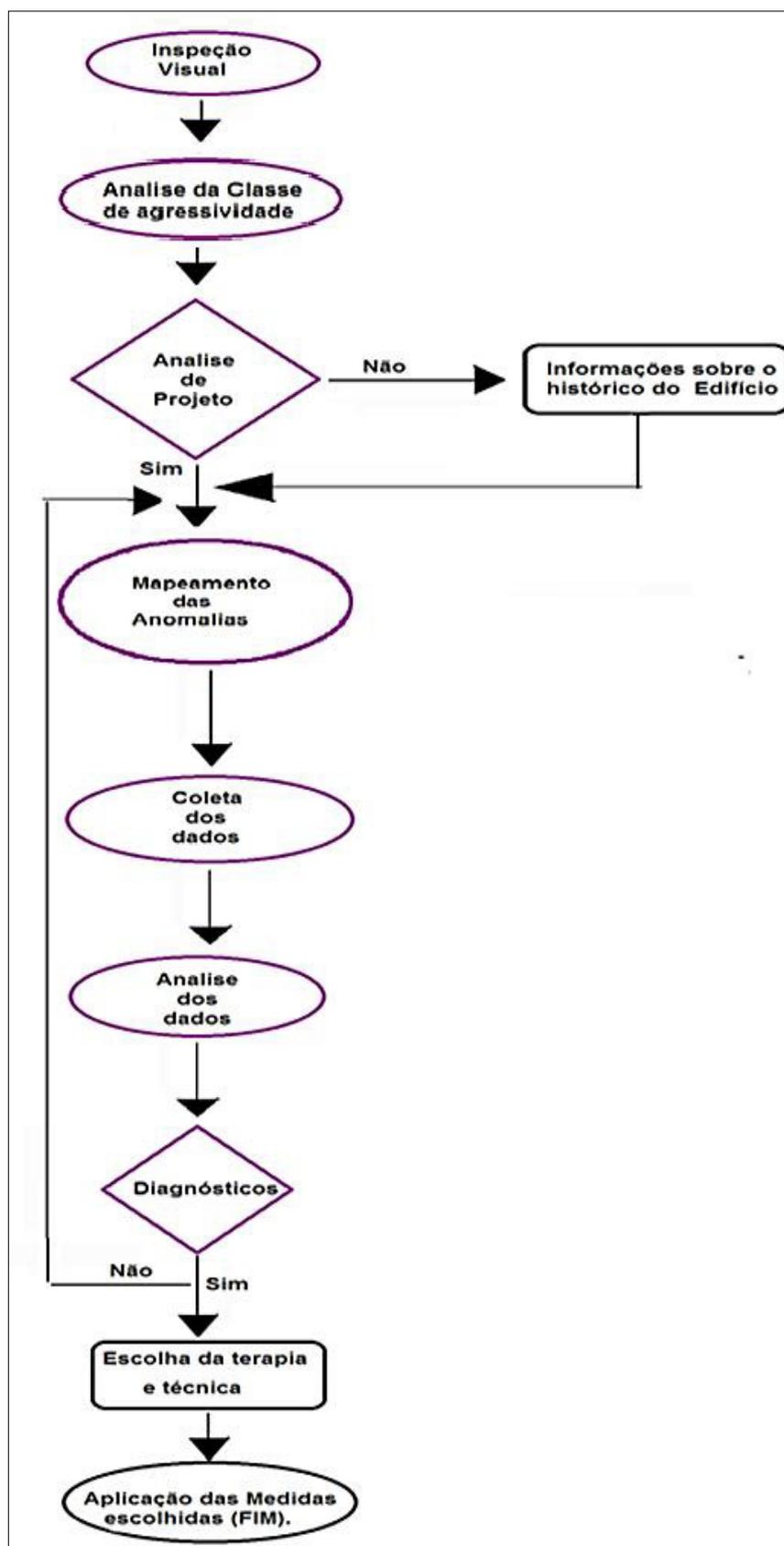
A vistoria técnica foi feita durante dois dias e com auxílio de paquímetro e trenas, com o intuito de analisar o tamanho e o comportamento das patologias, e o quanto as mesmas estariam prejudicando o desempenho da edificação para assim formular um plano de ações interventivas, que iniciaria pelas principais causas geradores das patologias do condomínio investigado.

3.4.2 Plano e execução das ações interventivas

Após os dados coletados foi formulado um plano de ações interventivas, visando frear os mecanismos de ocorrência patológica nas paredes da piscina e do salão de festa, e conseqüentemente solucionar o problema de infiltração na casa de bomba. Elaborou-se uma seqüência de acordo com a ordem de importância para a realização dos reparos segundo os níveis de agravos, atribuições estruturais e ação contínua das causas geradoras sobre as manifestações existentes, disponibilidade de materiais e ferramentas onde se encontra o edifício.

Os serviços de recuperação e reforço estrutural foram feitos gradativamente, pois era necessário manter o condomínio exercendo suas devidas funções e atividades, o que de certa forma permitiu uma análise pormenorizada e isolada de cada situação, facilitando assim os serviços de recuperação e reforço estrutural aplicados de acordo com o plano de ações interventivas. Todo o processo desde a inspeção até a solução das patologias e aplicação das técnicas de recuperação e reforço estrutural foi feito de acordo com o fluxograma abaixo:

Figura 63: Fluxograma das etapas executadas.



Fonte: Autoria própria

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

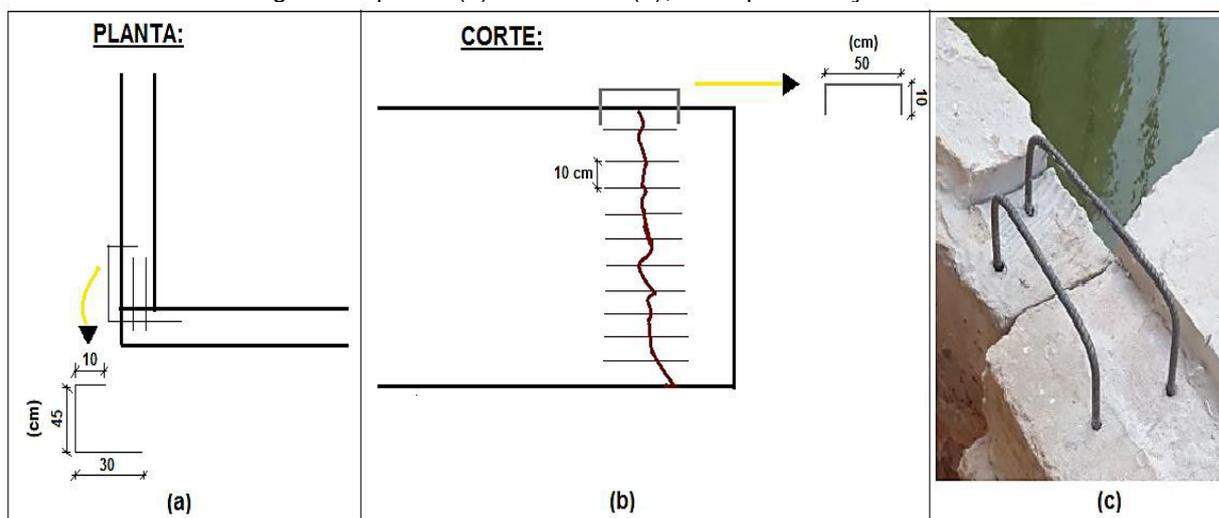
4.1 MEDIDAS ADOTADAS

Os resultados foram obtidos com a escolhas das melhores soluções para a correção das patologias, por meio das recomendações bibliográficas e normas técnicas, tendo em vista a escolha eficiente dentro do contexto de tempo e custos dos reparos estruturas, seguindo todo o fluxograma conforme citado na metodologia.

4.1.1 Reparo das fissuras das piscinas

A recuperação e o reforço estrutural iniciaram pelas fissuras da região do canto de amarração parede-parede. Foi utilizado emendas por transpasse para reconstituição da seção de armadura associada à técnica de grampeamento com resina epóxi e argamassa estrutural (figura 64) de acordo com a metodologia de Ripper e Souza (1998).

Figura 64: Detalhe esquemático da emenda por transpasse associada com grampos de costura imagem em planta (a) e em corte (b); Grampos de aço utilizado.



Fonte: autoria próprias

As etapas de execução aconteceram da seguinte forma:

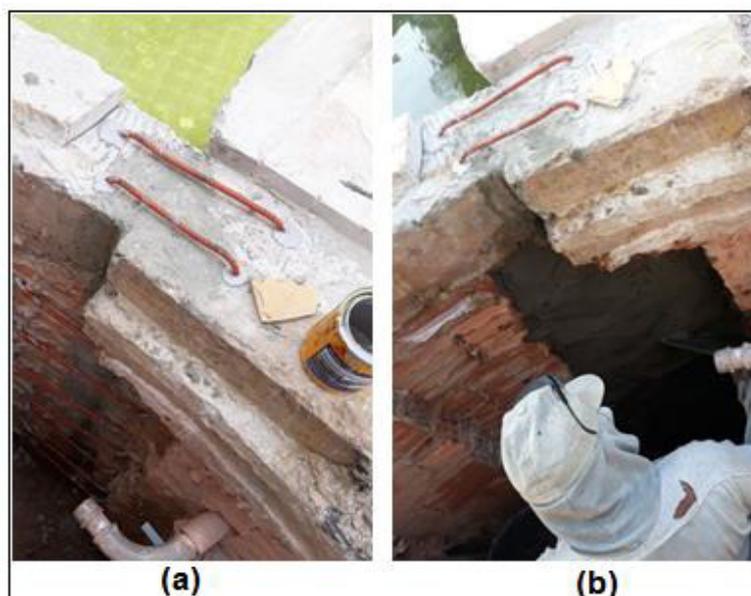
- Iniciou cortando o concreto e a alvenaria (figura 65), ambos deteriorados até a profundidade da piscina ou seja 1,65m.

Figura 65: execução do corte na parede da piscina.



- Realizou pares de furos com diâmetro um ponto superior ao das barras de 10 mm, espaçados a cada 10 cm na parede da piscina.
- Usou adesivo epóxi na colagem dos grampos de costura, o que ajudou na diminuição dos números de barras (figura 66.a). Em seguida realizou-se o lançamento do concreto (66.b).

Figura 66: Estrutura reforçada com as barras e grampos de aço (66.a), com cobertura de concreto $\geq 30 * \varnothing$ ($\varnothing = 10$ mm) (66.b).



- Após a desforma do concreto da parede da piscina, realizou a impermeabilização da estrutura com argamassa estrutural 250, por ser impermeável, ter boa resistência e isenta de retração. Outra vantagem é o fato

de não escorrer no sentido vertical da superfície o que ajudou a garantir o monolitismo da estrutura.

Para as fissuras no meio do vão da parede da piscina foi utilizado a técnica de injeção em fissuras com resina epóxi, por serem verticais e terem abertura inferior a 0,3 mm. Foi realizado de acordo com as seguintes etapas, segundo a metodologia proposta por Ripper e Souza (1998):

- Realizou furos ao longo de toda a fissura, com diâmetro de 10 mm e profundidade de aproximadamente 30 mm.
- Após os furos, fez-se a limpeza da fenda com ar comprimido seguido de aspiração para a remoção das partículas soltas.
- Foram fixados tubinho plásticos de diâmetro de 9 mm para injeção da resina.
- A selagem foi executada com cola epoxídica bicomponente, com auxílio de colher de pedreiro, para arrematar a injeção (figura 67).

Figura 67: Aplicação de injeção com resina epóxi na fissura do meio do vão da piscina.

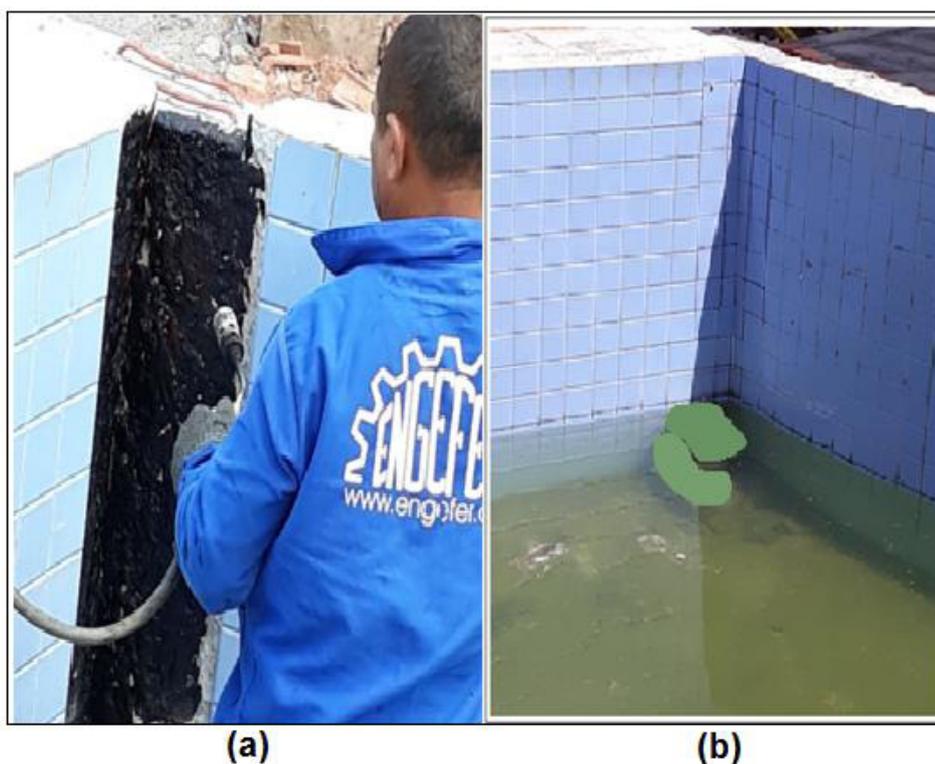


Conforme a metodologia proposta por Ripper e Souza (1998), associado as técnicas de emendas por transpasse, foi possível notar que de fato esta técnica é eficiente. Pois, além do reforço estrutural com armadura de bitolas de 10 mm fixadas com grampos de aço, foi preenchido com concreto o lado externo da piscina, o que proporcionou maior rigidez a estrutura, permitindo suportar as cargas triaxiais impulsionadas na parede.

A cura inicial do adesivo epóxi aconteceu conforme as especificações do fabricante de 4 horas, já a cura final se deu uma pouco antes de 7 dias, o que pode ter ocorrido pela questão da temperatura ambiente. Durante a aplicação da resina já era possível notar a união das fendas e preenchimento das fissuras, o que mostra ser um produtor eficaz e eficiente.

Decorrido o tempo de realização dos reparos nas fissuras e aplicação de reforço nas piscinas, realizou aplicação da emulsão asfáltica com maçarico (figura 68.a). Seguida do teste de estanqueidade, após a impermeabilização, foi preenchida com água até a cota para verificar a existência de vazamento, o que não aconteceu. Então, retirou toda a água de teste, para realizar o novo revestimento cerâmico. Com a conclusão de todas as etapas, foi liberada o uso da piscina. Portanto, seguida todas as recomendações técnicas e prescrição dos fabricantes sobre os produtos de reforços, foi possível reverter o quadro de patologias presente nas piscinas conforme ilustrado na figura 68.b., entretanto, foi necessário respeitar o tempo de cura de cada material para que o mesmo atingisse a resistência necessária, o que se tornou uma desvantagem por prolongar a duração do serviço.

Figura 68: Aplicação da emulsão asfáltica.



4.2.2 Técnica aplicada para as patologias na casa de bombas

Como se tratava de apenas um furo na base da parede da casa de bombas, e o problema de infiltração da piscina foi solucionado, utilizou a mesma técnica de injeção de fissuras só que com o material denverpóxi injeção componente A (figura 69), de acordo com a metodologia de Ripper e Souza (1998), teve também que selá-lo de forma que a estrutura de concreto tenha total estanqueidade.

Figura 69: Injeção no furo com Denverpóxi injeção componente A.



Depois da realização do reparo, consequentemente o carregamento de areia pela captação de água advindas da infiltração foi resolvido, no entanto as tubulações que estavam no piso em contato com a umidade, ficaram bem deterioradas por conta da corrosão. Por isso, tiveram que ser trocadas por novas peças (figura 70), possibilitando um aumento de vida útil.

Figura 70: Novas peças para encanação.



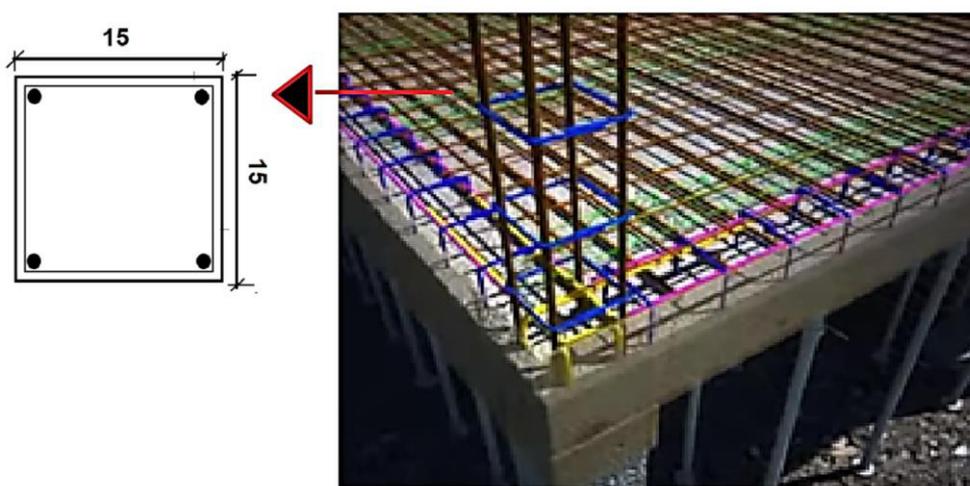
Embora se tenha resolvido o problema de infiltração e corrosão da encanação, não foi possível alterar arquitetura da casa de bombas a tal ponto de seguir todas as recomendações propostas pela NBR 10819:1989, devido ao fator custo.

4.2.3 Solução empregada para as fissuras da laje do salão de festa

Conforme o item 13.2.4.1 da NBR 6118:2014, para lajes de cobertura e parcialmente em balanço, deve ter a espessura maior ou igual a 10 cm, se não for obedecido esse quesito a mesma deverá ser demolida. O que não foi preciso, pois a mesma possui o mínimo recomendado, sendo necessário atuar apenas nos elementos não-estruturais, nesse caso é a alvenaria cerâmica em cima da laje ao longo do comprimento da mesma. As etapas de execução foram:

- Iniciou com a escarificação de todo o revestimento que compõem a alvenaria e a laje;
- Nas extremidades foi feito cortes na alvenaria e executou pilaretes (Pilares curtos) com dimensões de 15 cm x 15 cm, com altura de 1 metro conforme ilustrado na figura 71, e então possibilitou o travamento da alvenaria na estrutura. Espaçamento a cada dois metros nas duas direções da laje;

Figura 71: imagem do pilarete gerado através do software Revit 2017, versão estudantil.



- Nos pontos que foi inserido os pilares foram abertos 4 furos na laje e espaçados a cada 10 centímetros na horizontal e vertical. Utilizou 4 barras de bitolas de 10 milímetro para as longitudinais e bitolas de 6,3 milímetros para os estribos espaçados a cada 10 centímetros (figura 72). Os furos foram preenchidos com adesivo epóxi, e eram retos com comprimento de dez centímetros;

Figura 72: imagem do pilarete gerado através do software Revit 2017, versão estudantil.



- Depois foram colocadas as formas de compensados (figura 73), e concretou com concreto de Fck 25 MPa;

Figura 73: imagem das formas gerado através do software Revit 2017, versão estudantil



- Após a desforma dos pilaretes realizou a amarração da alvenaria nos mesmos preenchendo entre a alvenaria e o pilarete com argamassa comum; Posteriormente, foi executado os revestimentos e acabamento de acordo com o padrão arquitetônico do condomínio.

Seguidas as etapas, conforme as recomendações técnicas e bibliográficas, foi possível notar que de fato o pilarete possibilitou o aumento da rigidez na laje, combatendo os esforços cisalhantes e momentos. Medida essa que pode ser adotada para situações em que o corpo estrutural não seja capaz de suportar as cargas previstas em projeto.

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho teve a finalidade realizar um estudo de caso prático sobre as patologias presente em estruturas de concreto armado de um condomínio residencial em São Luis-MA. Foi notado que as principais patologias eram fissuras, o que pode ter sido geradas por erro de execução, pois não tivemos acesso ao projeto do edifício.

Com o embasamento teórico, foi notado que são inúmeras as causas que podem provocar sérios danos ao bom desempenho da edificação, e foram classificadas em: causas extrínsecas ou intrínsecas e processo físico de deterioração. Essas podem ser originadas tanto por fatores internos como externos, ou em algumas situações por ambos. Devido a isso, podemos notar que as manifestações patológicas presente nas paredes das piscinas e do salão de festas, apresentava configurações particulares de acordo com a literatura, que ajudou a escolher a melhor técnica para se ter um diagnóstico correto. As fissuras só foram possíveis ser tratadas pois se encontrava em estado passivo, o que não levaria a necessidade do reforço sofre solicitações indesejáveis.

Apesar dos processos de reparos e reforços estrutural serem bem eficientes, eles podem apresentar algumas desvantagens o que leva a buscar por novas soluções para se ter resultados ainda mais satisfatório. No entanto as técnicas de grampeamento de fissuras auxiliada com as emendas por transpasse foram bem eficiente e econômica.

Portanto, em toda construção se deve buscar pela qualidade em primeiro lugar, o que pode ser alcançado com a inclusão de todas as áreas envolvidas, desde o projeto bem detalhado até a execução, por isso deve se escolher materiais de ótima qualidade e seguir as recomendações do fabricante, para evitar futuras patologias. Outro motivo que poderia dificultar o serviço seria a condição climática, pois alguns materiais não conseguem alcançar total desempenho devido a umidade, o que não foi um fator limitante para a execução deste trabalho.

Todas as construções, tende a sofre deterioração ao longo do tempo, devido a vários fatores conforme citado no trabalho. Por isso, o conceito de estabilidade não deve estar apenas ligado ao dimensionamento das seções dos elementos estruturais, mas, vai mais além estando interligado a durabilidade da estrutura. Por isso, tem se a

necessidade de estar em constante estudo e aprendizado para futuras patologias que possam surgir e criar novas metodologias que sejam eficientes e eficazes.

Portanto, apesar das patologias encontradas no condomínio estarem localizadas no terceiro pavimento, o que dificultou o serviço, foi possível executar as técnicas de reparo e reforço estrutural de acordo com a norma vigente e recomendações bibliográficas, associado com os melhores materiais existentes no mercado. Logo após todo o trabalho, pode-se conceber a utilização das piscinas, salão de festa e a casa de bombas, essas estruturas agora passam a ter uma vida útil maior para resistir a ação do tempo e esforços solicitantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro, 2014. 256 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10819**: Projeto e execução de piscina, casa de máquinas, vestiários e banheiro. Rio de Janeiro, 1989. 2 p.

AMARAL, J. C. **Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

AMBRÓSIO, T. S. **Patologia, tratamento e reforço de estruturas de concreto no metrô de São Paulo**. Trabalho de conclusão de curso: São Paulo, 2004.

AMORIM, Denis C. S. **Técnicas de reforço estrutural para edificações antigas, estudo de caso na cidade de Rio Branco – Acre**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Pini, 1992. 104 p.

APPLETON, J. **Construções em betão: nota histórica sobre a sua evolução**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2005. Notas de aula de Betão Armado e Pré-moldado.

ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ARIVABENE, Antônio Cesar. **Patologias em estruturas de concreto armado estudo de caso.** Revista Especialize On-line IPOG. Goiânia. v. 1. Edição 10, p. 2-19. Dez de 2015.

ARQUEZ, A. N. **Aplicação de laminado de polímero reforçado com fibras de Carbono (PRFC) inserido em substrato de microconcreto com fibras de aço para reforço à flexão de vigas de concreto armado.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

CALLISTER JR., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 9 ed., Rio de Janeiro, Editora LTC, 2016.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado.** 1 Ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522 p.

CARVALHO, J. D. N. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Revista tecnológica, Maringá**, v. 17, p. 19-28, 2008.

CASCUDO, Osvaldo. **O Controle da Corrosão das Armaduras em Concreto.** Inspeção e Técnicas Eletroquímicas. São Paulo: Pini, 1997.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Estruturas de concreto em situação de incêndio.** In: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 30 p., 2002, Brasília. Anais... Brasília: PECC-UnB/ ASAAE, 2002.

COSTA, Vitor Coutinho de Camargo. **Patologia em edificações ênfase em estruturas de concreto.** 2009. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado

como exigência parcial para a obtenção do título de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2009.

Clube do concreto. **Fissuras de retração**. 2018. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br>>. Acesso em: 22 maio de 2018.

Denver sua obra sem umidade. **Produtos**. 2018. Disponível em: <<http://denverimper.com.br/produtos/detalhes/115>>. Acesso em: 29 maio de 2018.

DE SOUZA, V.C.M.; SALLES, M.T. **Secionamento de pilares em um prédio de 23 pavimentos em Niterói, Brasil, ocasionado pela ruptura de um muro de contenção**, *ANAIS / Congreso Latinoumericano de Patología de la Construcción. III de Com rol de Calidad*. Córdoba, 1991.

DE SOUZA, V.C.M. **Reforço de elementos estruturais: aspectos de projeto**. Tese apresentada no concurso para professor titular de Estabilidade das Construções, Universidade Federal Fluminense, 1993.

FIGUEIREDO, E. **Terapia das Construções de concreto: Metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto**. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1989.

PRÉDIO INVADIDO DESABA EM INCÊNDIO NO LARGO DO PAISSANDU, CENTRO DE SP. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 2 maio. 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/05/incendio-de-grandes-rcoes-atinge-um-edificio-no-largo-do-paissandu.shtml>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo: Pini, 1997. INGALLS Building. 2008. Disponível em:<<http://www.concretecontractor.com/graphics/ingalls01.jpg>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992. 119 p.

HELENE, Paulo Roberto Lago. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

HELENE, Paulo R. Do Lago. **Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, Red Rehabilitar, 2003.

ISAIA, Geraldo C. **Controle de Qualidade das Estruturas de Concreto Armado**. Santa Maria: Edições UFSM, 1988. 119p.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290 p. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre.

LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções. **Boletim científico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo EPUSP**, n. 6, 1986. 35 p.

LIMA, J. S. **Verificações da punção e da estabilidade global em edifícios de concreto: desenvolvimento e aplicação de recomendações normativas**. 2001. 249 p. Dissertação (Mestrado) – EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

LIMA, J.E.S., ASSUMPÇÃO, T.A.A., AZEREDO, E.A., et al. “**Estudo preliminar de reforço de material polimérico por meio de fibras de carbono**”. Revista Caleidoscópio, v.1, n.9, pp.22-29, 2017.

LUCZYNSKI, M. **Sistemas de ancoragem de barras de aço no concreto utilizando resina epóxi**. 2007. 41 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

MAIA, Élcio A. **Patologia das Edificações. Noções Fundamentais–Fundamentos de Avaliações Patrimoniais e Perícias de Engenharia**. Editora Pini Ltda., São Paulo, 1999.

MOMAYEZ, A.; EHSANI, M. R.; RAMEZANIANPOUR, A. A.; RAJAIE, H.. **Comparison of Methods for Evaluating Bond Strength between Concrete Substrate and Repair Materials**. Cement and Concrete Research 35, pp 748-757, Elsevier, 2005.

MARCELLI, M. **Sinistros na Construção civil: Causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. Editora PINI, 1. Ed. São Paulo, 2007.

MARCOLIN, N. **Criação no concreto**. Pesquisa FAPESP Online. n.127, Set. 2006. Disponível em:< <http://revistapesquisa.fapesp.br/> >. Acesso em: 18 abr. 2018.

NEWAS, G.M. “**Polymer matrix composites, in structure and properties of composites**”. v.13 . In: Chou, T. W. Material Science and Techonology Series. VCH Publishers, USA (1993).

NUNES, N. L.; FIGUEIREDO, A. D. **Retração do Concreto de Cimento Portland Boletim Técnico**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007.

PEREIRA, L. M. **Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da ufsm**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa maria, 2012.

PEREIRA, B. M. G. **Modelos Analíticos para a previsão do Desempenho de Pilares Confinados com Fibras de Carbono**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção) - Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança. Bragança Paulista, 2012.

PFEIL, Walter. **Concreto Armado: Dimensionamento a compressão, flexão, Cisalhamento**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1989. 361 p. v. 2.

POLIÃO, M. V. **Da Arquitetura**. São Paulo: 2002. Editora Hucitec Ltda.; Annablume editora e comunicação, Tradução de: Vitruvii De Architectura Libri Decem, por Marco Aurélio Lagonegro. 248 p. ISBN 85-271-0506-3.

RABELLO, F. T. **Análise comparativa de normas para a punção em lajes de concreto armado**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

REIS, L. S. N. **Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado**. 2001. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

REIS, L. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

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

SILVA, A. P. **Novo dicionário brasileiro melhoramentos ilustrados. 5. ed. Revista e ampliação**. São Paulo: Indústrias de Papel, 1969.

TAKATA L. T. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em concreto armado: Estudo de caso**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de Pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 1999.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

TUUTTI, Kyösti. **Corrosion of steel in concrete**. Stockholm, Swedish Cement and Concrete. Research Institute, 1982.

Vargas, M. **História da Técnica e da Tecnologia no Brasil**. São Paulo: Ed. UNESP, Centro de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994.

VASCONCELOS, Augusto C. **O Concreto no Brasil: Recordes - Realizações - História**. São Paulo: Copiare, 1985.

Vasconcelos, A. C. **O Concreto no Brasil: Recordes - Realizações - História**. São Paulo: Pini, 1992.

Vasconcelos, A. C. e Carrieri Jr, R. **A Escola Brasileira do Concreto**. Axis Mundi, SP. 2005.

Vedacit impermeabilizantes. **Argamassa estrutural 250**. 2018. Disponível em: <<https://www.vedanews.com.br/produtos/argamassa-estrutural-250>>. Acesso em: 28 maio de 2018.

ZUCCHI, F. L. **Técnicas para reforço de elementos estruturais**. 2015. 50 p. Monografia (Engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.