

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção

Giulia Kelly de Melo

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE
CONCRETO ARMADO DAS INSTALAÇÕES DE UMA FÁBRICA DE
TECIDOS EM MINAS GERAIS**

Belo Horizonte
2024

Giulia Kelly de Melo

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE
CONCRETO ARMADO DAS INSTALAÇÕES DE UMA FÁBRICA DE
TECIDOS EM MINAS GERAIS**

Versão Final

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Orientador: Prof. Adriano de Paula e Silva.

Belo Horizonte
2024

M528a

Melo, Giulia Kelly de.

Análise de manifestações patológicas em estrutura de concreto armado das instalações de uma fábrica de tecidos em Minas Gerais [recurso eletrônico] / Giulia Kelly de Melo. - 2024.

1 recurso online (42 f. : il., color.) : pdf.

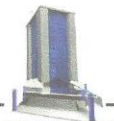
Orientador: Adriano de Paula e Silva.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG.

Bibliografia: f. 41-42.

1. Construção civil. 2. Concreto armado. 3. Patologia de construção. .
I. Silva, Adriano de Paula e. II. Universidade Federal de Minas Gerais.
Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: GIULIA KELLY DE MELO

MATRÍCULA: 2022693978

RESULTADO

Aos 09 dias do mês de setembro de 2024 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO DAS INSTALAÇÕES DE UMA FÁBRICA DE TECIDOS EM MINAS GERAIS"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

☒ APROVADO

☐ APROVADO COM CORREÇÕES

☐ REPROVADO

NOTA: 85

CONCEITO: B

Nome

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Assinatura

Adriano de Paula e
Silva:36512460600
Assinado de forma digital por
Adriano de Paula e
Silva:36512460600
Dados: 2024.09.12 07:54:28 -03'00'

Nome

Profª. Drª. Cristiane Machado Parisi Jonov

Assinatura

Cristiane Machado
Parisi:89497244649
Assinado de forma digital por
Cristiane Machado
Parisi:89497244649
Dados: 2024.09.12 07:55:08 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E AVALIAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES"

Belo Horizonte, 09 de setembro de 2024

Antônio Neves
de Carvalho
Júnior
Assinado de forma digital
por Antônio Neves de
Carvalho Júnior
Dados: 2024.09.12
20:46:42 -03'00'

Coordenador do Curso

EPÍGRAFE

*“Confie ao senhor tudo que você faz,
e seus planos serão bem-sucedidos.”
(Provérbios 16:3)*

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus que me deu forças para continuar, fé para acreditar e vontade para lutar.

À minha família meus pais Pergentino J. Melo, Solange Ap. Melo e minha irmã Juliana Ap. Melo, pelo o amor incondicional e por estarem ao meu lado e nunca me deixarem desistir. Mãe este trabalho é a prova que seus esforços por minha educação valeram a pena e seus conselhos para eu nunca desistir dos meus sonhos e obrigada por fazer eu acredita que sou capaz.

Ao meu esposo Robert Rocha pelo incentivo, por ter me encorajado a buscar a excelência e a superar meus próprios limites e por ser meu porto seguro.

Ao meu orientador Professor Adriano cuja dedicação, paciência e expertise foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do curso de especialização de Gestão e Avaliação da Construção pelo conhecimento e ensinamentos compartilhados.

RESUMO

A indústria da construção civil vivenciou uma grande expansão nos últimos anos. Contudo acarretou alguns agravantes como adaptações para entregar o maior número de obras com menor rigor de controle de qualidade dos materiais e dos serviços realizados, devido ao curto tempo de prazo para execução. Entre outros fatores também como falta de manutenção nas edificações, vêm culminando em uma avalanche de manifestações patológicas, as quais podem comprometer a obra em seus aspectos estruturais, estéticos e de durabilidade. As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado aparecem por diversos motivos citados ao longo do relatório. Este estudo tem por objetivo apresentar os diagnósticos realizados em uma edificação, e as técnicas para a tratativa e recuperação. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o assunto, buscando os mais variados autores e pesquisadores desta área. Para enfatizar a pesquisa apresentou-se um estudo de caso de um edifício comercial. Com esses estudos podemos enfatizar os diferentes níveis das patologias encontradas nas construções e as suas consequências como também procedimentos que podem minimizar ou eliminar algumas patologias. Ou seja, o surgimento e evolução da maioria das manifestações patológicas identificadas estão relacionadas as falhas de manutenção e de uso que corroboram para a deterioração precoce das estruturas, interferindo no atendimento dos requisitos de uso, como segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade.

Palavras-chave: patologia; manifestações patológicas; concreto armado.

ABSTRACT

The construction industry has experienced a major expansion in recent years. However, it resulted in some aggravating factors such as adaptations to deliver the largest number of works with less rigor in quality control of materials and services performed, due to the short deadline for execution. Among other factors, such as lack of maintenance in buildings, have culminated in an avalanche of pathological manifestations, which can compromise the work in its structural, aesthetic and durability aspects. Pathological manifestations in reinforced concrete structures appear for several reasons cited throughout the report. This study aims to present the diagnoses carried out in a building, and the techniques for treatment and recovery. To this end, a bibliographical review was carried out on the subject, searching for the most varied authors and researchers in this area. To emphasize the research, a case study of a commercial building was presented. With these studies we can emphasize the different levels of pathologies found in constructions and their consequences as well as procedures that can minimize or eliminate some pathologies. In other words, the emergence and evolution of most of the pathological manifestations identified are related to maintenance and use failures that contribute to the early deterioration of structures, interfering with the fulfillment of use requirements, such as structural safety, functionality and durability.

Keywords: Pathology; Pathological manifestations; Reinforced concrete.

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Fatores e agentes que influenciam na durabilidade do concreto e desempenho das estruturas.....	19
Figura 2- Relação de desempenho e vida útil.	20
Figura 3- Eflorescência no concreto armado.....	22
Figura 4- Algumas configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação predominante.....	24
Figura 5- Desenvolvimento da reação álcali-agregado no concreto.....	25
Figura 6- Representação esquemática das fissuras por corrosão.	28
Figura 7- Vista da laje de cobertura do pavimento térreo.....	32
Figura 8- Vista da laje de cobertura do segundo pavimento e piso da “cozinha”.	32
Figura 9- Outra vista da parte inferior da laje de piso da “cozinha” – presença de danos no cobrimento do concreto.	33
Figura 10- Vista de danos diversos na laje abaixo da “cozinha”.	33
Figura 11- Vista de danos generalizados em viga junto a laje abaixo da “cozinha”.....	34
Figura 12- Vista de rachadura situada em topo de pilar.....	35
Figura 13- Vista de região com ferragem exposta submetida a pintura recente.	35
Figura 14- Vista geral da cozinha – trechos danificados no piso com peças faltantes.....	36
Figura 15- Vista aproximada do piso – rejunte em péssimas condições.....	37

LISTA DE ABREVIações

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma técnica Brasileira

SÚMARIO

1.INTRODUÇÃO	12
2.OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Patologia nas construções.....	15
3.2 Manifestações patológicas.....	16
3.3 Tipologias de manifestações patológicas.....	16
3.4 Patologias em estruturas de concreto armado.....	17
3.4.1 Durabilidade e vida útil do concreto armado	18
3.4.2 Principais mecanismos das manifestações patológicas no concreto	21
4.MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Pesquisa de campo.....	30
4.2 Metodologia de obtenção dos dados	30
5. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS	31
5.1 Recomendações técnicas	38
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil vivenciou uma grande expansão nos últimos anos. Contudo acarretou alguns agravantes como adaptações para entregar o maior número de obras com menor rigor de controle de qualidade dos materiais e dos serviços realizados, devido ao curto tempo de prazo para execução. Entre outros fatores também como mão de obra não qualificada, vêm culminando em uma avalanche de manifestações patológicas, as quais podem comprometer a obra em seus aspectos estruturais, estéticos e de durabilidade.

A despeito das crescentes questões relativas as edificações nas últimas décadas. Como mecanismos de degradação das estruturas, suas causas e repercussões para durabilidade das construções, assim como técnicas de caracterização e reabilitação das construções. A patologia das construções tem sido um ramo da engenharia civil responsável por investigar as manifestações patológicas possíveis de ocorrerem em uma edificação. (CAPORRINO, 2018).

De acordo com Brito (2017), na construção civil a maioria das falhas está visível em obras de edificações, sendo consequência de deficiências na construção. Que podem ter sido geradas durante a execução da obra, do projeto ou adquiridas ao longo do tempo. Essas resultantes em deteriorações e falhas são denominadas manifestações patológicas.

Com o mercado da construção civil em alta, a aceleração da produção associado a uma redução dos custos incorridos, prazos curtos para execução. Alinhado a ausência de uma programação quanto a realização de manutenções periódicas preventivas das edificações. Fazem com a vida útil e o desempenho da edificação fiquem limitados e comprometam a sua eficiência, portanto, é necessário diagnosticar as edificações quando apresentam sinais de “doenças” em sua superfície. O gerenciamento dos processos da concepção da edificação e um controle de qualidade mais criterioso no canteiro de obras, com o intuito de selecionar a matéria prima utilizada nas construções e processos, podem retardar o aparecimento de patologias.

As patologias não acontecem de forma isolada e sem motivo, geralmente têm origem relacionada a alguma falha ou erro. Cometido em alguma das fases

do processo de concepção da edificação no projeto ou execução. Sendo importante o conhecimento da origem do problema e o histórico da construção para que se possa apontar em que fase do processo aconteceu a falha que veio a gerar determinado problema patológico (HELENE, 2003).

O estudo justifica-se por ser uma pesquisa que busca identificar as principais manifestações patológicas e os mecanismos de deterioração das estruturas de uma planta industrial da Companhia Tecidos Santanense e como a ausência de manutenções impactam na sua deterioração precoce e na redução da vida útil de projeto. Fazem uma avaliação das características de resistência e durabilidade do concreto componente da estrutura na área atingida pelos produtos químicos, verificando o nível de deterioração presente. É também objetivo do trabalho a elaboração de recomendações técnicas para a correção dos problemas identificados e sugestões de atuações de manutenção.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise de manifestações patológicas em estrutura de concreto armado das instalações de uma fábrica de tecidos localizada em Minas Gerais. Suas possíveis causas/origens e como as falhas nas atividades de manutenção impactam na deterioração precoce dessas estruturas.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral foi necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Revisão bibliográfica sobre os temas abordados;
- Levantar e classificar as anomalias construtivas do empreendimento;
- Proposição das soluções para correção dos danos;
- Forma correta de realizar as manutenções nas edificações para prevenção das patologias.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Patologia nas construções

Patologia uma palavra de origem grega (*páthos*, doença, e *lógos*, estudo), está relacionado à construção civil como definição de estudos de origem e causas de manifestações patológicas. Estuda as irregularidades ou possíveis doenças de uma edificação e as modificações físicas e funcionais provocadas na mesma (DO CARMO, 2003).

O presente termo patologia também é bastante utilizado na medicina para se referir as doenças dos pacientes. As manifestações patológicas consistem nos sintomas causados pelas patologias e através de estudos é possível diagnosticá-las para conter, ou curar, as deficiências de uma edificação as manifestações se tornam grandes aliadas na resolução de uma irregularidade, pois elas apresentam informações de que há alguma patologia existente (SOUZA, 1998).

Para Corsini (2010), patologia está relacionado à construção civil para definir o estudo das origens, causas e mecanismos de acontecimentos das manifestações patológicas e as devidas consequências quando não há o desempenho estabelecido, incluindo a terapia das construções, que é voltado para a correção dos problemas detectados. As patologias se derivam de uma série de causas, dentre a execução de obras empregando materiais de má qualidade e falta de acompanhamento técnico na execução dos serviços.

A má qualidade dos materiais ou a falta de planejamento adequado nos canteiros de obras pode levar as edificações a adquirirem algum tipo de patologia. Entende-se por edificação as casas, prédios, apartamentos, galpões, viadutos, igrejas, ginásio de esportes, fortes, aeroportos, torres de comando, faróis sinalizadores, postos de gasolina, usinas hidrelétricas, usinas nucleares, indústrias, estações de tratamento de água, etc. Enfim, é maneira genérica de se referir a qualquer instalação que com sua finalidade derradeira, sirva de abrigo para desempenhar as mais variadas funções do ser humano (PINA, 2013).

3.2 Manifestações patológicas

De acordo com Helene (1992) as manifestações patológicas têm suas origens relacionadas a etapa ou fase do processo de construção onde a mesma teve início. Essas fases podem ser: planejamento, projeto, fabricação de materiais, execução propriamente dita e uso.

O mecanismo é o processo a qual se instaura e desenvolve as manifestações patológicas. Neste sentido, “conhecer o mecanismo do problema é fundamental para uma terapêutica adequada” (HELENE, 1992, P.20).

Não há um consenso entre as etapas do processo de construção, mas baseando-se em Pires (2011) este pode-se dividir em: projeto, execução e uso. É de suma importância saber de onde surgiu a patologia para assim tomar as medidas de recuperação seguir, pois uma patologia pode causar muitas outras.

Muitas das doenças estruturais não se manifestam claramente ou são encobertas por outras, podendo passar despercebidas. Portanto, quanto mais criteriosa e aprofundada for a fase avaliativa, maiores serão os índices de acerto e eficiência da solução indicada (VISOTTO *apud* SACHS, 2015 p. 42).

3.3 Tipologias de manifestações patológicas

Segundo Pires (2013), fissuras, infiltrações, movimentações, descolamentos, corrosão da armadura, são as patologias encontradas com maior frequência nas construções. É necessário salientar que a tendência evolutiva e que as manifestações se agravam com o passar do tempo. Além do risco de surgimento de problemas associados aos iniciais.

Para Santos (2013) classifica como principais:

- Patologia das estruturas;
- Patologia das alvenarias;
- Patologia dos acabamentos;
- Patologia das pinturas;
- Patologias da umidade.

Cautelas em todo o processo de construção desde o planejamento ao uso final são importantes para proteger os usuários e as edificações, ampliando sua vida útil. Vale destacar, conforme Ripper (1998) *apud* Pires (2011), que ainda

que haja manutenções periódicas, isso não impede de que as edificações alcancem o fim de sua vida útil. A intenção é sempre tomar os devidos cuidados para prorrogar a durabilidade da construção.

3.4 Patologias em estruturas de concreto armado

As patologias em edificações são os principais problemas que comprometem a vida útil das construções. O concreto é o material mais utilizado na construção de estruturas de edifícios. É basicamente formado por cimento, areia, água e agregados. Quando no concreto é inserida uma armadura de aço, o mesmo é chamado de concreto armado. São essas estruturas que através de seus projetos e execução, irão delimitar o possível surgimento de patologias e a intensidade das mesmas. Dessa forma, observa-se a grande preocupação com a qualidade do concreto, para que se obtenha a durabilidade necessária, fator importante para diminuir o risco de possíveis patologias.

Conforme a norma técnica NBR 6118, define o que são elementos de concreto armado: “são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

A junção do concreto com o aço é satisfatória pois seus coeficientes de dilatação térmica são praticamente iguais. O concreto também tem outra finalidade a proteger a armadura contra a corrosão, garantindo a durabilidade do conjunto. Porém essa garantia só é possível com a existência de uma espessura mínima de concreto entre a barra de aço e a superfície (denominado cobrimento). Lembrando que outros fatores são determinantes para a proteção das barras de aço, como a qualidade do concreto.

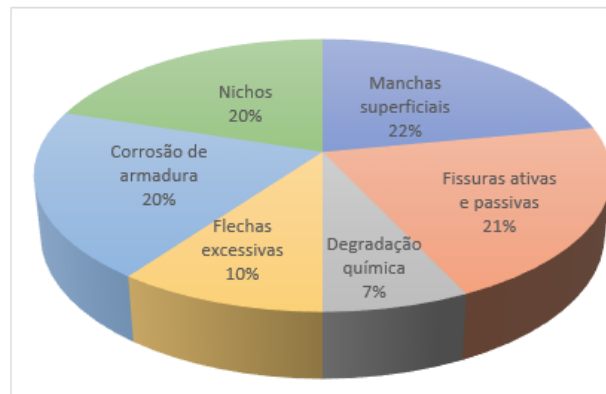
Para Verçosa (1991), há uma infinidade de fatores que podem danificar ou destruir o concreto armado com o decorrer do tempo. Os agentes de deterioração podem ser classificados em agentes químicos, agentes físicos, agentes biológicos e agentes mecânicos.

Em consequência dos fatores acima e outros podem aparecer as patologias como marcas de corrosão, descolagem de concreto externamente, trincas/fissuras, aparecimento de vegetação na estrutura, carbonatação, entre

outras. Esses indicativos alertam que a estrutura está sendo atacada e necessita de intervenção. (GONÇALVES, 2008 e SOUZA, RIPPER, 1998)

De acordo com Helene (1992), a distribuição de incidências de manifestações patológicas no concreto é a seguinte demonstrada na figura 01.

Figura 1- Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente.



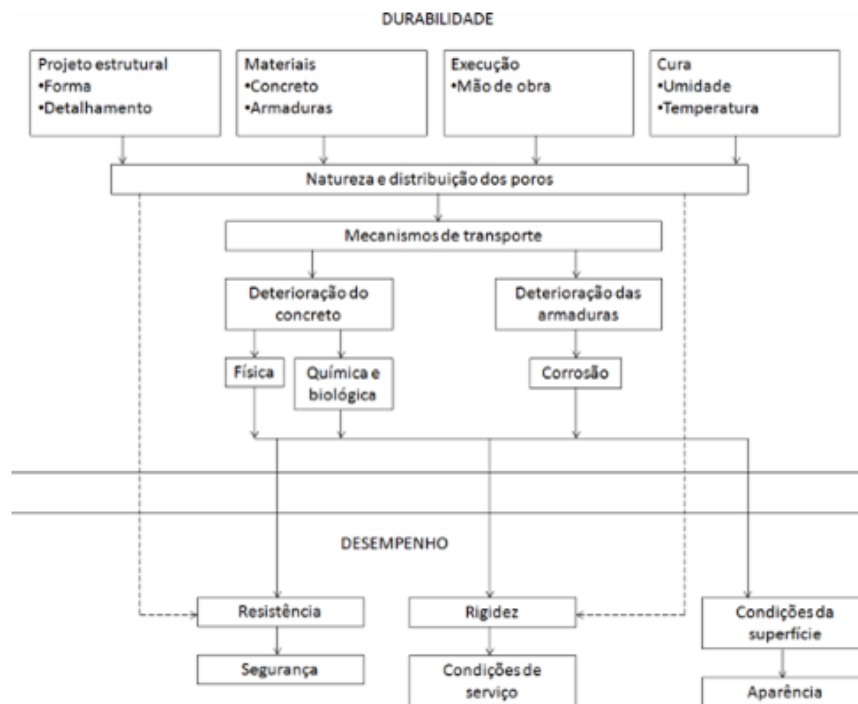
Fonte: Adaptação, (Helene 1992).

3.4.1 Durabilidade e vida útil do concreto armado

Durabilidade é algo que comumente se espera de uma estrutura em concreto armado, pois quando se propõe a construir uma edificação, o que se almeja é uma estrutura durável e resistente. No final do século XX, o conceito de durabilidade começou a ser difundido no setor da construção civil internacional, e além de edificações utilizáveis, iniciou-se a busca pela garantia de estruturas duráveis.

A figura 02 aborda alguns dos mecanismos e agentes que contribuem para o processo de deterioração precoce das estruturas em concreto e como influenciam na durabilidade e desempenho destas.

Figura 1- Fatores e agentes que influenciam na durabilidade do concreto e desempenho das estruturas.



Fonte: Rocha apud CEB (1989).

De acordo com Medeiros, Andrade e Helene (2011, p. 3): “durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção”.

A norma técnica da ABNT NBR 6118 estabelece a exigência de durabilidade, sobre a qual as estruturas de concreto sejam projetadas e executadas de maneira a conservar sua estabilidade, segurança e condições de serviço pelo período projetado de vida útil, mesmo sob a exposição a agentes ambientais, desde que sejam os mesmos fatores externos previstos em projeto e que sejam respeitadas as exigências de uso e manutenção (ABNT NBR 6118, 2014).

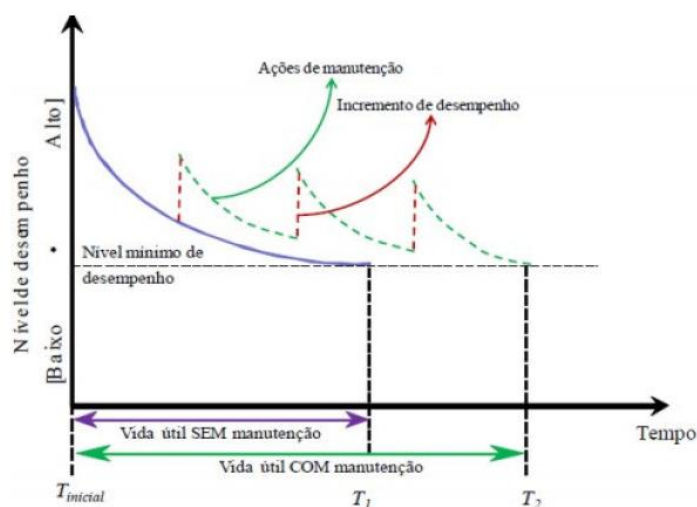
A norma referenciada entende à vida útil como o período de tempo no qual a estrutura mantém suas propriedades, uma vez que sejam respeitadas as determinações de uso e manutenção estabelecidas pelo projetista e os reparos necessários provenientes de danos acidentais. Já a norma de desempenho NBR 15575:2013, define a vida útil, de modo geral, como uma “medida temporal de durabilidade”.

A durabilidade das estruturas de concreto depende de diferentes fatores dentre eles, podem estar ligados à fase de projeto, produção e caracterização dos insumos, preparação do concreto, execução da estrutura e manutenções preventivas e corretivas. A Norma de desempenho chama atenção para o fato de que “é necessário salientar a importância da realização integral das ações de manutenção pelo usuário”, destacando que se este não realizar a manutenção indicada corre-se o risco de a vida útil de projeto não ser atingida (ABNT NBR 15575, 2013).

De acordo com a norma NBR 15575 (ABNT:2013) que regulamenta durabilidade e vida útil das construções. Estabelece que as edificações tenham uma vida útil num período de 50 anos. Para atingir essa longevidade, é necessário obviamente que as edificações passem por manutenções periódicas.

Helene (2001) durabilidade como sendo o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente, além das condições de uso, operação e também manutenção, portanto, não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ser diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la. Na figura 03 pode-se verificar a influência das ações de manutenção em uma edificação, as quais são necessárias para garantir ou prolongar a vida útil de projeto.

Figura 2- Relação de desempenho e vida útil.



Fonte: Adaptação, (Helene,2011 pg.08).

3.4.2 Principais mecanismos das manifestações patológicas no concreto

A estrutura da edificação sofre interações com meio ambiente a qual está exposta, que no decorrer do tempo, podem comprometer a sua estabilidade e funcionalidade. Essa interação pode correr tipo físico, químico, biológico ou mecânico. No caso de degradação física ocorre diretamente no concreto, em sua pasta de cimento ou nos agregados. Nos outros casos o principal fator para degradação do sistema é a armadura (SENA; NASCIMENTO; NETO 2020).

Os processos de degradação alteram a capacidade de o material desempenhar as suas funções, e nem sempre se manifestam visualmente. Os três principais sintomas que podem surgir isoladamente ou simultaneamente são: a fissuração, o destacamento e a desagregação.

O concreto exposto em ambientes agressivos, fica suscetível a uma variação de reações responsáveis pela sua deterioração. Os agentes agressivos são capazes de alterar a composição do concreto armado, propiciando a vulnerabilidade. Tal situação é prejudicial para o concreto, pois facilita a entrada de agentes agressores alterando sua composição e assim perdendo sua resistência.

Para Souza e Ripper (1998) apud Santos (2012), tais causas referem-se às solicitações mecânicas às quais as estruturas de concreto estão sujeitas, devido:

- Choques e impactos (por veículos automotores, por exemplo);
- Recalque diferencial das fundações;
- Acidentes imprevisíveis (inundações, grandes tempestades, explosões e abalos sísmicos).

Além de comprometer a capacidade resistente da estrutura a deterioração por causas mecânicas, facilita a entrada de agentes agressivos na estrutura danificada, principalmente quando o concreto e a armadura ficam expostos devido ao impacto das solicitações. (SANTOS, 2012).

A NBR 6118 (ABNT:2014), ressalta os mecanismos preponderantes de deterioração do concreto: lixiviação, expansão por sulfato, reação álcali-agregado. Já os mecanismos preponderantes de deterioração relativos à

armadura são: despassivação por carbonatação, despassivação por ação de cloretos.

- **Lixiviação do concreto**

Segundo Laner (2001), a lixiviação ocorre frequentemente nas estruturas de concreto sujeitas à ação da água, por intermédio da remoção de compostos hidratados da pasta de cimento pelas reações químicas em presença de água, formando manchas brancas na superfície de concreto, seguidas de precipitação de géis e, conseqüentemente, a formação de estalactite ou estalagmite.

De acordo com Sena, Nascimento e Neto (2020) apesar de aparentar inicialmente, um problema estético, na verdade, a ocorrência dessa anomalia evidencia a presença/percolação de água e revela que há perda de alcalinidade da estrutura, uma vez que o hidróxido de cálcio é o composto hidratado do cimento responsável por manter o pH básico. A redução do pH corrobora para a despassivação da armadura e, assim, compromete a camada de proteção, favorecendo o processo de corrosão da armadura.

Segundo Mehta e Monteiro (2014) a lixiviação é consequente da ocorrência de eflorescência no concreto, apresenta manchas brancas na estrutura. Essa mancha branca é o carbonato de cálcio (CaCO_3) resultante da reação entre o Ca(OH)_2 e o CO_2 presente na atmosfera. Na figura 04 é possível visualizar a eflorescência na estrutura de concreto armado.

Figura 3- Eflorescência no concreto armado.



Fonte: Arquivo pessoal.

Em proporções menores a lixiviação não causas fortes danos a estrutura, porém quando em estágios avançados, a remoção de grandes quantidades de sólidos pode abrir caminho para a penetração de gases e substâncias nocivas. Desta forma cloretos, sulfatos e até o próprio CO₂, que pode causar a corrosão da armadura, podem comprometer a durabilidade e a resistência da estrutura. Para evitar o surgimento da lixiviação e conseqüentemente a eflorescência, recomendasse a utilização de cimentos com adições pozolanas, pois os mesmos produzem menos hidróxido de cálcio. Aditivos plastificantes para reduzir a quantidade de água a ser utilizada na mistura e assim obter uma pasta de concreto menos permeável.

- **Fissuras**

Para Sena, Nascimento e Neto (2020) elas são os primeiros sintomas visíveis a aparecer numa estrutura de concreto armado e podem se manifestar desde a concretagem até anos após a mesma. Sabe interpretá-la é muito importante, a depender de sua origem ela pode ser somente um problema estético ou significar que tem algo grave na edificação. A sua forma como ela é, sua posição, espaçamento e trajetória podem indicar como foi causada.

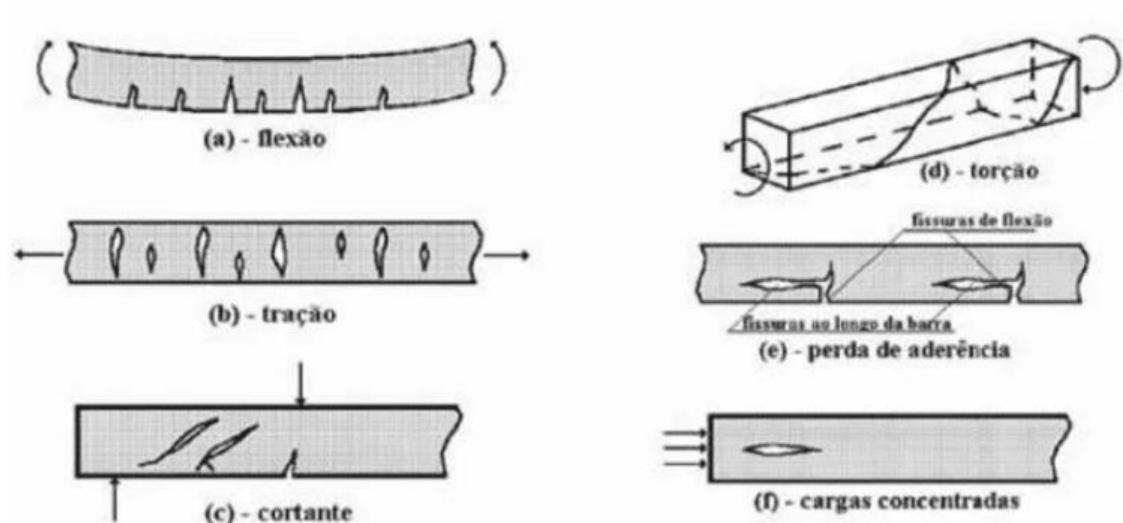
Segundo Thomaz (1989). As fissuras podem se manifestar em edificações de acordo com processos aparentemente aleatórios, porém na realidade, tem origem na grande maioria das vezes, fenômenos físicos, químicos ou mecânicos e, devido a um grande conjunto de variáveis e combinações presentes no decorrer dos processos de edificar. O autor ainda salienta que a atuação de sobrecargas, previstas ou não em projetos pode produzir fissuras nos elementos estruturais e de vedação. Elas ocorrem pelo carregamento excessivo de compressão.

Pelos critérios da norma NBR 6118 (ABNT,2014) é importante dizer que essas aberturas são locais por onde agressivos podem penetrar e por isso podem afetar o concreto armado em termos de durabilidade.

Segundo Verçoza (1991) as trincas e fissuras são classificadas de acordo com os tipos de aberturas (trincas e fissuras) como: as rachaduras que têm espessura inferior a 0,5mm são catalogadas como fissuras, as que variam de 0,5mm a 1,0mm são classificadas como trincas, as que estão entre 1,0mm a 1,5mm são rachaduras e as superiores a 1,5mm são relacionadas como fendas.

Trindade (2015) afirma que as patologias são oriundas de erro de projeto com influência direta na formação de fissuras como estão demonstradas na figura 05. Surgem de seu mal planejamento ou falhas técnicas, sejam por desconhecimento ou negligência. Podendo ser provocadas pelo mau lançamento da estrutura, por um erro na execução do anteprojeto ou, ainda, na elaboração do projeto de execução.

Figura 4- Algumas configurações genéricas de fissuras em função do tipo de solicitação predominante.



Fonte: Souza e Ripper (1998).

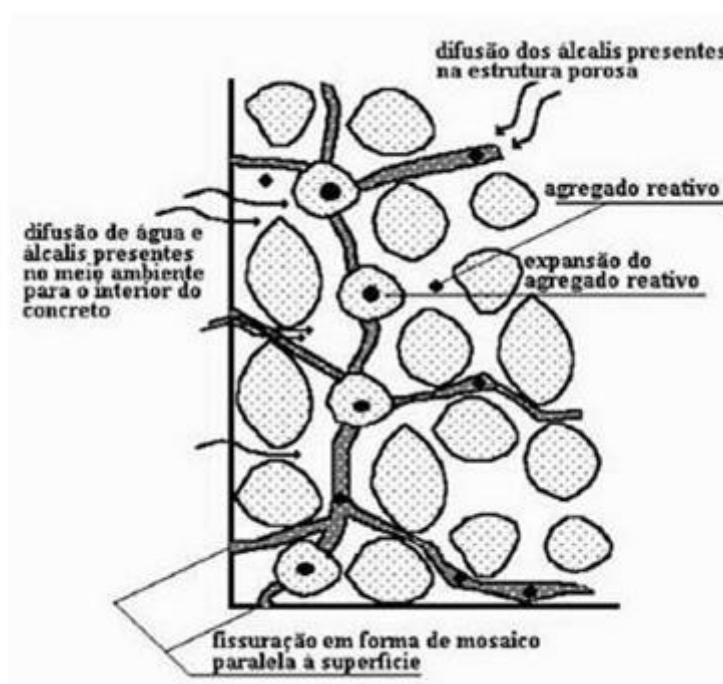
• Reação Expansiva Álcali Agregado

Sena, Nascimento e Neto (2020) delimitam que a reação álcali-agregado é um fenômeno resultante da interação química entre os compostos hidratados do cimento com minerais reativos dos agregados, formando compostos que, na presença de umidade, possuem características expansivas que podem levar a fissuração e a degradação do concreto.

No Brasil a reação mais recorrente nas estruturas em concreto armado, ocorre com agregados (areias) que contenham certos tipos de sílica amorfa. Os íons hidroxilas presentes na pasta de cimento em contato com os álcalis óxido de sódio e óxido de potássio, ao interagirem com a sílica integrante do agregado e na presença de água, resultam na destruição da ligação da estrutura da sílica e na formação de um gel de silicatos de cálcio e álcalis, conforme

evidenciado na figura 06 a seguir. Esse gel é higroscópico, sendo capaz de absorver água e gerar pressão hidráulica, ocasionando forças de tração que expandem o concreto e criam um estado vulnerável a fissuras (SENA; NASCIMENTO; NETO 2020, p.49).

Figura 5- Desenvolvimento da reação álcali-agregado no concreto.



Fonte: Souza e Ripper (1998).

Segundo Silva (2009) as reações dos álcalis presentes no concreto, juntamente com íons de hidroxila e minerais siliciosos, podem reagir fissurando o concreto isto ocorre devido à expansão provocada, também pela perda de resistência e o módulo de deformação. Esta reação química é conhecida como reação álcali-agregado ou álcali-sílica (RAS).

Podem ser observadas severas fissuras nas estruturas ocasionadas pela expansão dos agregados. Para Andrade (2005, p.128).

“O mecanismo que causa esta reação não é perfeitamente entendido. É conhecido que certos agregados, como algumas formas reativas de sílica, reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio do cimento, e formam um gel em volta dos agregados reativos. Quando o gel é exposto à umidade ele expande-se, criando tensões internas que causam fissuras em torno dos agregados (umidade interna do concreto em torno de 80%)”.

Segundo Sena, Nascimento e Neto (2020) a prevenção da Reação Álcali-Agregado é de fundamental importância na fase de projeto. A escolha do cimento é de extrema importância para essa prevenção. A especificação do Cimento Portland deve ser com baixo teor de álcalis e com adições pozolânicas ou de alto forno. A ABNT NBR15577, orienta a recorrer a agregados não reativos e como limitar o teor de umidade, pois a reação só ocorre em presença de água.

- **Reação expansiva por Sulfato**

De acordo com Filho (1994), os íons sulfatos ao reagirem com os compostos do cimento hidratados na presença de umidade podem resultar na expansão e fissuração do concreto e na perda progressiva da resistência, rigidez e massa do concreto.

A norma técnica ABNT NBR 6118 determina que o processo de expansão por sulfatos é um dos mecanismos preponderantes de deterioração da estrutura em concreto, e, ainda, define o processo como uma reação proveniente da ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados por sulfatos que, em contato a pasta de cimento hidratado, resulta em reações expansivas e deletérias à estrutura. O sulfato reage com o aluminato tricálcio da pasta de cimento e forma a etringita que possui características expansivas e pode resultar na fissuração do concreto.

Os sulfatos podem ter origem nos materiais que compõe o concreto ou no contato do concreto com os solos ou ainda águas ricas com este agente. O ataque produzido por sulfatos é devido a sua ação expansiva, que pode gerar tensões capazes de fissurá-lo. Os sulfatos podem estar na água de amassamento, nos agregados ou no próprio cimento e podem penetrar desde o exterior por difusão iônica ou por sucção capilar (SILVA,1998).

O sulfato está presente em grandes variações de solos na forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). As fundações de concreto armado estão mais propensas a penetração de sulfatos em seu interior devido o contato direto com o solo, através do processo de capilaridade, a água que penetra nessas estruturas são as responsáveis pela contaminação. O ataque dos sulfatos ao concreto também pode ocorrer através do processo de formação da etringita tardia. Com a presença de hidróxido de cálcio, em contato com sulfatos, estes se convertem em etringita ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CS} \cdot \text{H}_32$) que por sua vez é altamente sulfatada.

A etringita tardia ocorre quando a pasta endurecida não submeteu por completo ao processo de hidratação e posteriormente quando exposta a alta temperatura reage com seus compostos e assim provoca expansão no concreto. O processo de reação da etringita tardia promove a formação de cristais em seu interior, capazes de promover o aparecimento de microfissuras em sua superfície.

Segundo Helene (2003) concretos de baixa permeabilidade, com baixa relação água/cimento, bem adensados e bem curados, são pouco suscetíveis de serem atacados por sulfato ao longo de toda a pasta de cimento. Estruturas de concreto submetidas totalmente à ação da água com sulfato (como fundações e estacas) serão menos prejudicadas do que estruturas sujeitas à evaporação da água por pelo menos uma das faces (como muros de arrimo ou galerias).

- **Corrosão nas armaduras**

Pode-se definir corrosão como a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica. Basicamente, são dois os processos principais de corrosão que podem sofrer as armaduras de aço para concreto armado: a oxidação e a corrosão. É um dos processos degradantes mais comuns nas estruturas de concreto armado decorrente da exposição da estrutura a diversos fatores como: presença de água, oxigênio e agentes agressivos (SENA; NASCIMENTO; NETO 2020).

Por oxidação entende-se o ataque provocado por uma reação gás-metal, com formação de uma película de óxido. Este tipo de corrosão é extremamente lento à temperatura ambiente e não provoca deterioração substancial das superfícies metálicas, salvo se existirem gases extremamente agressivos na atmosfera. Este fenômeno ocorre, preponderantemente, durante a fabricação de fios e barras de aço. Ao sair do trem de laminação, com temperaturas da ordem de 900°C. Por corrosão propriamente dita entende-se o ataque de natureza preponderantemente eletroquímica, que ocorre em meio aquoso. A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço.

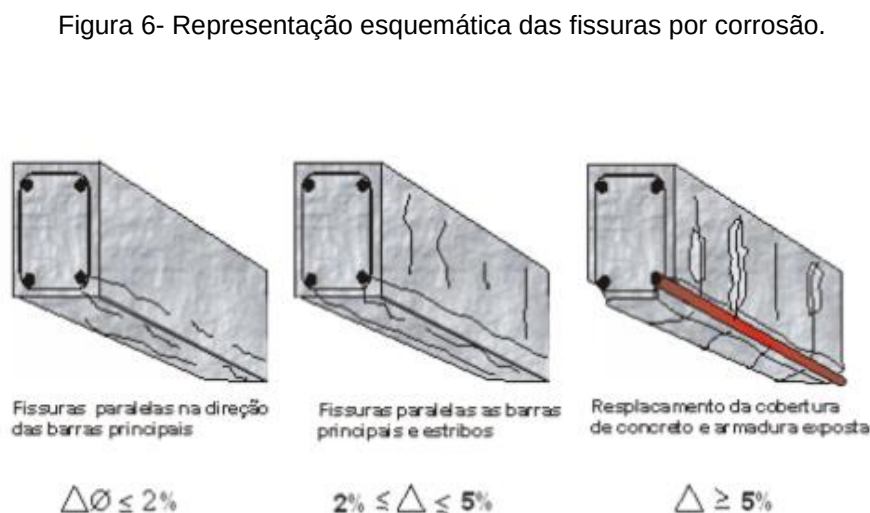
Para Helene (1986), a corrosão é definida como a interação destrutiva de um material com o ambiente, o qual pode ocorrer por reação química ou eletroquímica, ou seja, são dois processos pelos quais a armaduras de aço

podem sofrer deterioração, oxidação e corrosão. A oxidação é o ataque ocorrido pela reação entre gás e metal; já a corrosão, propriamente dita, é o ataque natural e eletroquímico que ocorre em meio aquoso.

As manifestações das corrosões de armaduras são indicadas pelo aparecimento de manchas superficiais amarronzadas, seguidas de expansões ocasionadas pela formação de óxi-hidróxidos, que ocupam espaços na maioria das vezes maiores que a seção original da barra de armadura, causando elevadas tensões de tração, podendo ser superiores a 15Mpa (SENA; NASCIMENTO; NETO 2020).

As armaduras ainda no canteiro de obras se não forem armazenadas corretamente sofrem ataques de corrosão antes mesmo de seu emprego. É melhor e mais simples preveni-la do que tentar saná-la depois de iniciado o processo (SOUZA,1998).

Husni (2003) associa o grau de fissuração do concreto ao percentual de variação de volume apresentado pelo aço, representado pelo Δ . Como representado na figura 07 um esquema de fissuras por corrosão das barras longitudinais.



Fonte: Husni apud Rocha apud Sena, Nascimento, Neto (2020).

A resistência a tração do concreto equivale a 10% de sua resistência à compressão. Como o concreto não resiste a tensões que podem chegar a 15Mpa de tração, a expansão das armaduras causa fissurações paralelas às barras longitudinais, deslocamento da camada superficial do concreto, redução da seção da barra, perda de aderência entre a armadura e o concreto e, em casos mais elevados podendo chegar ao colapso (SENA; NASCIMENTO; NETO 2020).

4.MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Pesquisa de campo

O trabalho foi desenvolvido embasando-se teoricamente em referências científicas como: artigos, monografias, teses, dissertações, periódicos, normas técnicas e livros com temáticas compatíveis ao estudo. Foram realizadas inspeções em campo no objeto em estudo, nas instalações da fábrica de tecidos em Minas Gérias, de modo a identificar as manifestações patológicas e visualizar como a ausência de manutenções periódicas impactam na deterioração precoce dessas estruturas em concreto armado. Ou seja, a pesquisa de campo possui caráter qualitativo descritivo.

4.2 Metodologia de obtenção dos dados

Foi avaliado as características de resistência e durabilidade do concreto componente da estrutura de concreto armado (laje, vigas e pilares) de uma edificação de 04 pavimentos, onde no terceiro pavimento funciona um setor de manuseio e dosagem de produtos químicos diversos. Devido às características do setor é frequente o vazamento e queda de quantidades destes produtos sobre a laje de piso no local. Em função da exposição do revestimento de piso da laje às substâncias agressivas diversas, vem ocorrendo gradativa deterioração e aparecimento de danos tanto na laje e seu revestimento quanto nos componentes adjacentes da estrutura (vigas e pilares). É também objetivo do trabalho a elaboração de recomendações técnicas para a correção dos problemas identificados.

5. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE DOS DADOS

Trata-se de uma indústria de tecidos a edificação é constituída de 04 pavimentos, sendo o primeiro pavimento térreo e 03 pavimentos superiores. O prédio é uma construção tipicamente industrial (galpão industrial), possuindo estrutura (lajes, vigas e pilares) em concreto armado. No pavimento térreo e no segundo pavimentos funcionam atividades de produção e expedição da empresa, no terceiro pavimento funcionam setores de manuseio e dosagem de produtos químicos diversos (“cozinha”) e no quarto e último pavimento se localizam 02 caixas d’água.

Segundo informações do corpo técnico da empresa, o prédio foi construído na década de 80, sendo posteriormente executado reforço estrutural e de fundações para a instalação das caixas d’água no quarto pavimento.

No terceiro pavimento onde funciona a “cozinha”, devido às características do setor é frequente o vazamento e queda de quantidades destes produtos sobre a laje de piso no local. Para proteção contra os frequentes ataques químicos foi executado um sistema de impermeabilização e instalação de piso cerâmico antiácido sobre a laje de piso no local. Ainda assim, em função da constante exposição do revestimento de piso da laje às substâncias químicas agressivas diversas, vem ocorrendo gradativa deterioração e aparecimento de danos tanto na laje e seu revestimento quanto nos componentes adjacentes da estrutura (vigas e pilares).

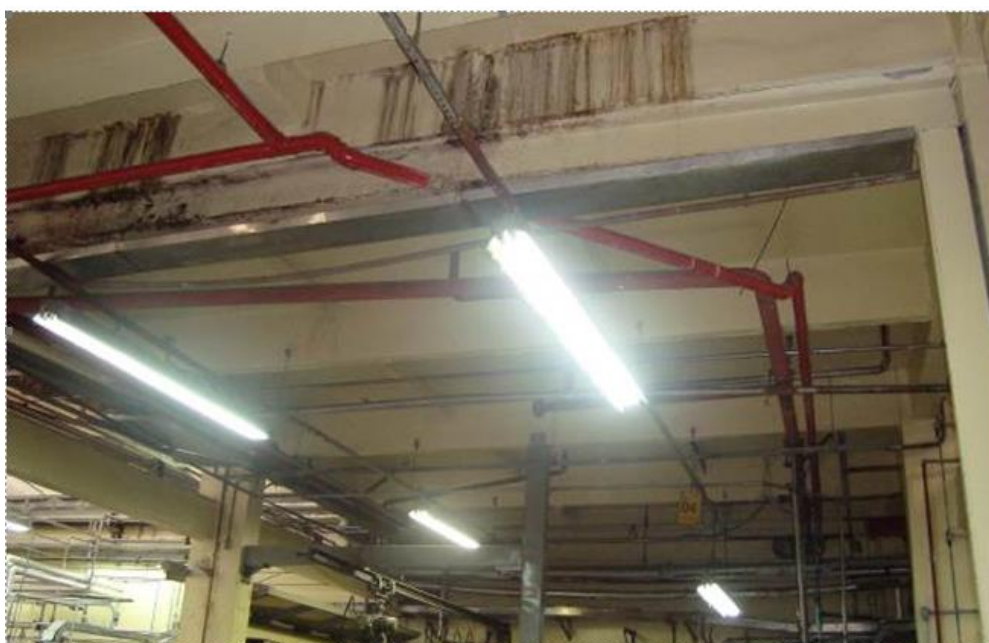
As vistorias e exames visuais na estrutura indicam que a exposição da mesma às diversas substâncias e agentes químicos agressivos como o ácido fosfórico, fórmico, acético, o amoníaco e o hidróxido de sódio (soda cáustica). São manuseados e dosados no terceiro pavimento do prédio tem ocasionado danos apreciáveis e importantes nos componentes estruturais, pilares, vigas e laje de piso da “cozinha”. Isso é confirmado e comprovado pelo extenso relatório fotográfico apresentado no corpo do presente relatório.

Figura 7- Vista da laje de cobertura do pavimento térreo.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 8- Vista da laje de cobertura do segundo pavimento e piso da “cozinha”.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 9- Outra vista da parte inferior da laje de piso da “cozinha” – presença de danos no cobrimento do concreto.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 10- Vista de danos diversos na laje abaixo da “cozinha”.



Fonte: Arquivo pessoal.

Os citados danos e degradações atingem de forma mais visível a parte inferior da laje de piso e diversos componentes estruturais adjacentes, notadamente um pilar e algumas vigas.

Figura 11- Vista de danos generalizados em viga junto a laje abaixo da “cozinha”.



Fonte: Arquivo pessoal.

A proteção superficial da laje de piso da “cozinha” se mostra ineficaz para conter o acesso das substâncias agressivas à superfície superior da citada laje de concreto, por onde se infiltra de forma apreciável pela massa de concreto, levando às alterações químicas do concreto em diversas regiões.

Figura 12- Vista de rachadura situada em topo de pilar.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 13- Vista de região com ferragem exposta submetida a pintura recente.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 14- Vista geral da cozinha – trechos danificados no piso com peças faltantes.



Fonte: Arquivo pessoal.

O revestimento cerâmico antiácido do piso da “cozinha” dá sinais claros que se encontra totalmente deteriorado encontra-se danificado e até mesmo com peças faltantes em diversos locais, o que permite o acesso de fluidos agressivos dos ácidos, águas “duras”, sais e outras substâncias agressivas à massa de concreto da laje de piso.

Figura 15- Vista aproximada do piso – rejunte em péssimas condições.



Fonte: Arquivo pessoal

A quantidade de produtos químicos manuseados e dosados na “cozinha” é enorme. Algumas substâncias como o ácido fosfórico, fórmico, acético, o amoníaco e o hidróxido de sódio (soda cáustica) estão entre os mais agressivos ao concreto, conforme a literatura técnica.

Embora os materiais utilizados na proteção superficial do concreto possam ter sido especificados corretamente (contra piso, sistema impermeabilizante e revestimento cerâmico antiácido), há indícios de que a execução, devido à impossibilidade de paralização das atividades da “cozinha”, não pode ser executada dentro das melhores técnicas, principalmente com relação à observância dos tempos para ocorrência das reações químicas intrínsecas aos processos de cura e endurecimento dos materiais cimentícios e poliméricos envolvidos.

O rejunte do revestimento cerâmico antiácido do piso da “cozinha” dá sinais claros que se encontra totalmente deteriorado, permitindo o acesso dos fluidos agressivos ao concreto.

5.1 Recomendações técnicas

Em função do exposto anteriormente, uma série de recomendações técnicas podem ser feitas, relativamente ao prédio.

- É necessária a intervenção imediata para recuperação das peças estruturais sujeitas a danos e alterações químicas diversas observadas na vistoria e mostradas nos registros fotográficos, tais como soltura do cobrimento do concreto com exposição de armaduras, lascamentos, trincas e fissuras em grande quantidade, dano considerável no topo de pilar, entre outros. Tal intervenção deve ser feita dentro das técnicas usuais de remoção (corte) das partes degradadas da estrutura e aplicação de novos materiais que reconstituam a capacidade e características originais da estrutura;
- A proteção superficial da laje (contra piso, sistema impermeabilizante e revestimento cerâmico) da “cozinha” deve ser removida e executado novo sistema com os melhores materiais e técnicas construtivas do momento;
- Deve-se adotar imediato treinamento e conscientização do pessoal responsável pelo manuseio e dosagem das substâncias agressivas na “cozinha”, quanto à necessidade de cuidados nesse trabalho quanto a queda de material no piso e as consequências disso a curto, médio e longo prazo;
- Contatar empresas especializadas em reforços estruturais para avaliar a execução de algum tipo de reforço localizado nas áreas de maior degradação, como topo de pilar, regiões com grandes quantidades de trincas e lascamentos do concreto e danos apreciáveis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As manifestações patológicas podem ter suas origens em qualquer uma das etapas do processo da construção. Devido a tal fator observa-se a importância das manutenções preventivas, do controle tecnológico dos materiais empregados, de uma padronização e qualidade na execução dos projetos e serviços de execução que constituem o processo como um todo. As estruturas em concreto armado como todo material, necessita de medidas de manutenção para que possa atingir a vida útil para qual a edificação foi projetada.

Antes de se realizar qualquer medida para a correção de uma patologia é necessário saber sua origem, pois manifestações patológicas com origens diferentes podem ter as mesmas características físicas fazendo com que uma patologia acabe encobrindo outra. Contudo a análise e inspeção da estrutura não substitui ações de investigação, e sim auxiliam no diagnóstico juntamente com os dados obtidos mediante a realização de ensaios adequados.

Cabe salientar que, é preciso entender a importância do diagnóstico precoce das patologias nas edificações. As intervenções devem ser guiadas por inspeções e realizadas de forma planejada, por profissionais habilitados para escolha correta da medida de reparo, assim como a execução cautelosa desta medida é de extrema importância, para resgatar as condições de uso e preservar a vida útil dos sistemas.

O trabalho realizado permitiu estabelecer algumas conclusões relativas aos problemas patológicos existentes na edificação. A estrutura do terceiro pavimento do prédio (laje de piso e elementos estruturais adjacentes) encontra-se bastante degradada por alterações químicas do concreto, em função do ataque por substâncias químicas agressivas manuseadas e dosadas na “cozinha”. Deve-se proceder à imediata recuperação das partes degradadas da estrutura para impedir o avanço no processo de degradação com o consequente acesso de mais fluidos agressivos ao concreto em boas condições, bem como o eliminar o constrangimento aos usuários do local. A escolha correta da técnica a ser utilizada é que vai garantir o sucesso do trabalho realizado.

Portanto pode-se concluir que há uma grande necessidade pela busca da qualidade na construção civil. É necessário entender que para uma estrutura alcançar um nível satisfatório de durabilidade sem manifestações patológicas, todas as áreas envolvidas no processo devem estar em harmonia como: a mão de obra de execução e os projetistas, os conhecimentos necessários para a realização do projeto, os materiais utilizados, como da análise do solo e do ambiente no qual se deseja construir. Para se evitar manifestações patológicas, todos os aspectos necessários para a execução de um projeto devem andar juntos e possuir um padrão mínimo de aceitação ou de acordo com normas específicas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

____. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.

____. NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRITO, T. S. de. **Análise de manifestações patológicas na construção civil pelo método Gut**: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior. Universidade Federal da Paraíba. Joao Pessoa, PB. 2017.

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

HELENE, P. R. L. **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto**. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2001.

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

LANER, Felice José. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br>. Acesso em: 18 jun. 2024.

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

PIRES, J. R. **Patologia na construção de edifícios**. Caso de estudo, edifício da FICASE na Cidade da Praia. (U. J. Verde, Ed.) Cidade da Praia: Faculdade de Architectura. 2013.

SANTOS, M. R. G. dos. **Deterioração das estruturas de concreto armado** – Estudo de Caso. Monografia (especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia, UFMG. 2012.

SENA, G. O; NASCIEMENTO, M. L. M; NETO, A. C. N. **Patologia nas Construções**. – Salvador: 2b educação, 2020.

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

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1989.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, Editora Sagra, 1991