

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KEVIN YUGO SATO

**PATOLOGIAS NAS LAJES DO BLOCO A DA UNIVERSIDADE
TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR) – CÂMPUS
TOLEDO: ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2020

KEVIN YUGO SATO

**PATOLOGIAS NAS LAJES DO BLOCO A DA UNIVERSIDADE
TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR) – CÂMPUS
TOLEDO: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim

TOLEDO

2020



Ministério da educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 247

**Patologias nas lajes do Bloco A da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR) – Câmpus Toledo: Estudo de Caso**

por

Kevin Yugo Sato

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 14:40 h do dia **15 de Setembro de 2020** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tino Balestra
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Gustavo Savaris
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

Este trabalho aborda as manifestações patológicas nas lajes do segundo pavimento da edificação denominada Bloco A da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Toledo. Para a metodologia do estudo de caso, utilizou-se o roteiro de inspeção proposto por Sena et. al. (2020), seguindo as orientações da Norma de Inspeção Predial Nacional do IBAPE (2012) e da NBR 16747/2020, que consiste em uma estrutura formada por cinco etapas: vistoria preliminar, conhecendo o objeto, material guia, inspeção e tratamento dos dados. Os principais danos e patologias observados na vistoria realizada foram: fissuras e trincas. Com base na revisão bibliográfica, identificou-se as possíveis causas e origens das fissuras e trincas, bem como a recomendação das ações necessárias para a recuperação da edificação. De acordo com as características, o surgimento das fissuras e trincas pode ser por atuação de sobrecargas ou atuações de tensões de flexão em lajes, com uma possível causa devido a insuficiência de armaduras. Supõe-se que a origem pode ser por uma sobrecarga não prevista em projeto, armaduras mal posicionadas na execução ou cargas concentradas na ocupação. Para a recuperação da edificação, é recomendado que se realize uma inspeção predial especializada para definir a solução mais adequada para o caso. Chegou-se ao entendimento que a identificação das causas das manifestações patológicas pode levar a uma melhor definição das ações de reparos e que o conhecimento da origem apresenta uma compreensão das consequências, que podem ser prevenidas para elevar a qualidade na construção.

Palavras-chaves: Patologias da construção, causas de fissuras, reparos em fissuras.

ABSTRACT

This work addresses the pathological manifestations in the slabs of the second floor of the building called "Block A" of the Federal Technological University of Paraná, Câmpus Toledo. The case study methodology used the survey script proposed by Sena et. al. (2020), following the guidelines of the National Building Inspection Standard of IBAPE (2012) and NBR 16747/2020, which consists of a structure formed by five stages: preliminary survey, knowing the object, material guide, inspection, and data treatment. The main damages and pathologies observed in the survey were fissures and cracks. Based on the literature review, the possible causes and origins of fissures and cracks were identified, as well as a recommendation of necessary actions for the restoration of the building. According to the characteristics, the appearance of fissures and cracks can be due to overload performance or bending stress performance on slabs, with insufficient reinforcement being the possible cause. It is assumed that the origin may be due to an overload not foreseen in the project, reinforcements poorly positioned in the execution, or loads concentrated in the occupation. For the recovery of the building, it is recommended a specialized building inspection to define the most appropriate solution for the case. It was understood that the identification of the causes of pathological manifestations can lead to a better definition of the repair actions and that the knowledge of the origin presents an understanding of the consequences, which can be prevented to raise the quality in construction.

Key words: Building Pathology, causes of fissures, fissures repairs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fissuras na face superior da laje, provocadas por momentos volventes .	21
Figura 2 – Fissuras na face inferior da laje, provocadas por momentos volventes ...	21
Figura 3 – Fissuração por esmagamento na face superior da laje, devido à deficiência de armaduras diante dos momentos positivos	22
Figura 4 – Fissuração por esmagamento na face inferior da laje, devido à deficiência de armaduras diante dos momentos negativos	22
Figura 5 – Exemplo 1 de fissuração por flexão na face superior da laje, devida à insuficiência de armadura para momentos negativos	23
Figura 6 – Exemplo 2 de fissuração por flexão na face superior da laje, devida à insuficiência de armadura para momentos negativos	23
Figura 7 – Fissuração por flexão na face inferior da laje, devida à insuficiência de armadura para momentos positivos	23
Figura 8 – Exemplo 1 de fissura horizontal na base da parede causada pela deformação excessiva da laje	24
Figura 9 – Exemplo 2 de fissura horizontal na base da parede causada pela deformação excessiva da laje	24
Figura 10 – Fissuras de retração em lajes	25
Figura 11 – Técnica de injeção de fissuras	27
Figura 12 – Técnica de selagem de fissuras	27
Figura 13 – Técnica de costura de fissuras.....	28
Figura 14 – Anulação das tensões de tração pela introdução de protensão exterior	28
Figura 15 – Armadura de reforço para fissuras de flexão	29
Figura 16 – Identificação e situação do imóvel.....	30
Figura 17 – Bloco A da UTFPR.....	31
Figura 18 – Vista lateral esquerda do Bloco A	32
Figura 19 – Vista lateral direita do Bloco A.....	32
Figura 20 – Fluxograma para resolução dos problemas patológicos	33
Figura 21 – Exemplo de layout em prancha.....	35
Figura 22 – Croqui da planta baixa do segundo pavimento do Bloco A	39
Figura 23 – Localização das fissuras e trincas encontradas	41
Figura 24 – Trincas inclinadas na sala A-202 com abertura de 0,6 mm.....	42

Figura 25 – Trincas inclinadas na sala A-202 com abertura de 1,0 mm.....	42
Figura 26 – Trinca no canto da laje da sala A-202 com abertura de 0,75 mm	43
Figura 27 – Trinca na entrada da sala A-203 com abertura de 0,7 mm	43
Figura 28 – Trincas na sala A-203 com abertura de 1,0 mm	44
Figura 29 – Água escorrendo para o ponto mais fundo	45
Figura 30 – Fissuras de comprimento extenso e abertura de 0,5 mm na sala A-204	45
Figura 31 – Fissuras na face inferior da laje com abertura de aproximadamente 0,5 mm	46
Figura 32 – Trinca na entrada da sala A-205 com abertura de 0,7 mm	47
Figura 33 – Trinca nos cantos da laje da sala A-205 com abertura de 1,0 mm	47
Figura 34 – Trincas extensas na parede da sala A-205 com abertura de 1,4 mm	48
Figura 35 – Cargas de equipamentos fixos.....	48
Figura 36 – Fissuras na entrada da sala A-206 com abertura de 0.5 mm.....	49
Figura 37 – Trinca no canto da sala A-206 com abertura de 1,0 mm.....	49
Figura 38 – Trinca no canto da sala A-206 com abertura de 1,3 mm.....	50
Figura 39 – Trinca na parede da sala A-206 com abertura de 1,2 mm	50
Figura 40 – Trinca de grande extensão e abertura de 1,4 mm na sala A-207	51
Figura 41 – Trincas inclinadas nos cantos da sala A-207 com abertura de 1,0 mm .	52
Figura 42 – Fissuras na face inferior da laje com abertura de aproximadamente 0,5 mm	53
Figura 43 – Marcas das portas no chão da sala A-207	53
Figura 44 – Injeção de resina epóxi	56
Figura 45 – Carregamento em uma laje com reforço de adição de concreto na face superior	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Origem das patologias com relação às etapas de produção.....	16
Tabela 2 – Vida Útil de Projeto (VUP).....	18
Tabela 3 – Perguntas que podem ser realizadas na etapa da anamnese	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 LAJES DE CONCRETO ARMADO	14
2.2 PATOLOGIA	14
2.2.1 Causas das patologias em estruturas de concreto armado.....	15
2.2.2 Origem das patologias.....	15
2.2.3 Mecanismo das patologias	16
2.3 NORMA DE DESEMPENHO (NBR 15575/2013).....	17
2.3.1 Desempenho	17
2.3.2 Vida Útil (vu) e Vida Útil de Projeto (vup)	18
2.4 INSPEÇÃO PREDIAL E INSPEÇÃO PREDIAL ESPECIALIZADA	19
2.5 FISSURAS	19
2.5.1 Classificação das fissuras	19
2.5.2 Classificação quanto à abertura	20
2.5.3 Fissuras geradas por atuação de sobrecargas ou concentração de tensões	20
2.5.4 Fissuras geradas por deformidade excessiva das estruturas.....	23
2.5.5 Fissuras geradas por retração de produtos à base de cimento	25
2.6 RECUPERAÇÃO DE FISSURAS E REFORÇO DE ESTRUTURAS	25
2.6.1 Técnica de injeção de fissuras	26
2.6.2 Técnica de selagem de fissuras	27
2.6.3 Técnica de costura de fissuras	28
2.6.4 Armadura de reforço.....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	30
3.2 MÉTODO PARA A OBTENÇÃO DO DIAGNÓSTICO	32
3.2.1 Vistoria preliminar	33

3.2.2	Conhecendo o objeto.....	33
3.2.3	Material guia	34
3.2.4	Inspeção	35
3.2.5	Tratamento de dados.....	36
4.	RESULTADOS	38
4.1	DATA DA VISTORIA QUE COMPÔS A INSPEÇÃO PREDIAL	38
4.2	DESCRIÇÃO DA INSPEÇÃO PREDIAL	38
4.2.1	Sala A-202.....	42
4.2.2	Sala A-203.....	43
4.2.3	Sala A-204.....	44
4.2.4	Sala A-205.....	46
4.2.5	Sala A-206.....	48
4.2.6	Sala A-207	51
4.3	ANÁLISE DAS IRREGULARIDADES CONSTATADAS.....	54
4.4	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE RISCO.....	54
4.5	RECOMENDAÇÃO DAS AÇÕES NECESSÁRIAS PARA RESTAURAR OU PRESERVAR O DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO	55
5.	CONCLUSÃO.....	58
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

A patologia das estruturas, conforme a NBR 15575/2013, é uma não conformidade que se manifesta no produto em função de falhas de projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção, assim como problemas que não ocorram por envelhecimento natural. Segundo Souza e Ripper (1998), em alguns casos, os problemas patológicos podem ser analisados pelos mecanismos de inspeção convencionais e esquemas rotineiros de manutenção, tendo um diagnóstico e profilaxia evidentes. Entretanto, há casos em que é necessário um estudo mais complexo, exigindo uma análise individualizada e mais detalhada. Uma das principais patologias das estruturas de concreto são as fissuras.

As fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica da estrutura de concreto, sendo de dano de ocorrência mais comum e que mais chama a atenção dos usuários. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Essa patologia em um edifício pode ser um aviso de um eventual estado de dano permanente para a estrutura, comprometendo o desempenho da obra em serviço (durabilidade), além de proporcionar possíveis riscos e desconforto visual aos usuários (THOMAZ, 1989).

Uma construção durável deve ser projetada e construída de maneira que garanta à estrutura segurança, estabilidade e aptidão ao longo de sua vida útil. O conceito de vida útil pode ser aplicado à estrutura como um todo ou às suas partes, levando em consideração determinadas partes da estrutura que possui o valor de vida útil diferente. Portanto, a durabilidade requer cooperação e esforços coordenados de todos os envolvidos nas etapas de projeto, construção e utilização (NBR 6118, 2014).

O processo de construção e uso pode ser dividido por etapas de planejamento, projeto, fabricação de materiais, execução e uso. O surgimento do problema patológico em uma estrutura indica a existência de falhas durante as etapas da construção. O diagnóstico deve informar em que etapa do processo construtivo o fenômeno teve origem, as causas, abordar as consequências que afetam a segurança do comportamento geral da estrutura ao longo do tempo e as medidas de correção dos problemas (HELENE, 1992).

Considerando a importância do tema, realizou-se um estudo das fissuras presentes nas lajes das salas de aula, sala de professores e salas do setor

administrativo, localizadas no segundo pavimento do edifício denominado Bloco A, da instituição Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Toledo, buscando o conhecimento das causas que deram origem às patologias e as ações necessárias.

1.1 JUSTIFICATIVA

As falhas nas etapas de projeto, construção e utilização devem ser evitadas para que não causem patologias que comprometam com durabilidade ao longo da vida útil da edificação e garanta segurança à estrutura.

Tendo em vista que a edificação da universidade em estudo possui idade aproximada de 11 anos, surgiram problemas patológicos. Dentre as manifestações patológicas, as fissuras são danos de ocorrência mais comuns e apresentam consequências à estrutura, prejudicando a estética, higiene, funcionalidade, gerando desconforto visual e podem trazer riscos ao patrimônio e às pessoas que frequentam o local.

Escolheu-se para estudo o segundo pavimento do Bloco A, pois era onde se situava o setor administrativo da universidade. Esse setor administrativo se deslocou da edificação para outro local e desde a mudança as salas não estão sendo utilizadas, devido a presença de fissuras. Assim, com um diagnóstico e ações necessárias para a recuperação dos locais, as salas poderão ser ocupadas novamente.

Além disso, caso tenha algum problema parecido em outro pavimento do Bloco A ou em outra edificação da universidade, o diagnóstico poderá ser utilizado como auxílio para resolução do problema.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo identificar as possíveis causas que deram origem a formação de fissuras presentes nas lajes do segundo pavimento do Bloco A, da UTFPR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar os mecanismos responsáveis pela origem das fissuras na edificação;
- Analisar os riscos aos usuários da edificação;
- Recomendar as ações necessárias mais adequadas para a recuperação da edificação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LAJES DE CONCRETO ARMADO

Borges (2007) descreve as lajes como elementos estruturais planos, onde as dimensões de comprimento e largura apresentam uma ordem de grandeza superior a terceira dimensão, a espessura.

Para Silva (2005), nas estruturas dos edifícios, as lajes de concreto armado são geralmente construídas para suportar as ações verticais atuantes nos pavimentos, sendo permanentes ou variáveis.

Conforme Araújo (2014), as lajes possuem a função estrutural de receber as cargas de utilização das edificações. As cargas são aplicadas nos pisos e transferidas às vigas, onde distribuem-se para os pilares e a partir destes, o carregamento é transmitido para as fundações.

2.2 PATOLOGIA

Segundo França et al. (2011), a patologia nas edificações é dedicada ao estudo de anomalias ou problemas do edifício e as alterações que são causadas na estrutura. Esses problemas podem ser provocados na elaboração do projeto, durante a execução da obra ou ao longo da vida útil.

De acordo com Helene (1992), os problemas patológicos normalmente apresentam características manifestações externas, sendo possível deduzir qual a natureza, a origem, os mecanismos dos fenômenos envolvidos e estimar as prováveis consequências. Os sintomas de maior incidência nas estruturas de concreto são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas no concreto aparente, a corrosão de armaduras e os nichos de concretagem.

As manifestações patológicas podem ser descritas e classificadas com base no primeiro diagnóstico, a partir de observações visuais detalhadas e experimentais (HELENE, 1992)

Para Souza e Ripper (1998), os problemas em relação ao desempenho insatisfatório das estruturas, devido a maior disponibilidade de meios computacionais e das técnicas de análise, começam a ser melhor entendidos na forma que se

encontram em um contexto global da construção, fazendo com que sejam criadas novas metodologias para avaliar essa questão.

Conforme a Norma de Inspeção Predial do IBAPE (2012), as anomalias e falhas estabelecem não conformidades que causam a perda precoce de desempenho dos elementos construtivos e redução de sua vida útil, comprometendo a segurança, funcionalidade, operacionalidade, saúde de usuários, conforto, durabilidade e vida útil. Neves e Branco (2009), definem a diferença entre anomalias e falhas referindo-se ao vício construtivo e vício da manutenção, respectivamente.

2.2.1 Causas das patologias em estruturas de concreto armado

Segundo Sena et. al. (2020), a causa é geralmente associada a um agente, onde seria o responsável por desencadear a manifestação patológica. De acordo com Souza e Ripper (1998), o conhecimento das origens da deterioração é de suma importância para que possa proceder os reparos necessários e garantir que a estrutura não volte a se deteriorar após ser reparada.

Conforme Helene (1992), os agentes que causam os problemas patológicos podem ser as cargas, variação de umidade, variações térmicas intrínsecas e extrínsecas ao concreto, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos, entre outros.

2.2.2 Origem das patologias

Segundo Helene (1992), o processo de construção e uso pode ser dividido por etapas de planejamento, projeto, fabricação de materiais, execução e uso. As patologias apenas se manifestam depois da etapa de execução e possuem uma maior ocorrência na etapa de uso. A maior parte das manifestações patológicas tem origem durante as etapas de planejamento e projeto, como mostrada na Tabela 1, sendo consideradas as falhas nestas etapas mais graves que as falhas de qualidade dos materiais ou má execução. Assim, para evitar tomadas decisões precipitadas ou adaptadas durante a execução, é recomendável investir mais tempo no detalhamento e estudo da estrutura.

Tabela 1 – Origem das patologias com relação às etapas de produção

Etapas de produção	Percentual
Projeto	40
Execução	28
Materiais	18
Uso	10
Planejamento	4

Fonte: Helene (1992).

A Norma de Inspeção Predial do IBAPE (2012) classifica as anomalias como:

- Endógenas: Origina-se da própria edificação;
- Exógena: Origina-se por terceiros;
- Natural: Origina-se por fenômenos da natureza;
- Funcional: Origina-se pela degradação do envelhecimento natural.

De acordo com Pedro et al. (2002), a origem das patologias pode ser classificada em:

- Congênitas: Estas são as que surgem durante a fase de projeto, devido a não conformidade das Normas Técnicas, ou de erros e omissões dos profissionais, que levam a falhas no detalhamento e concepção inadequada da estrutura.
- Construtivas: Sua origem está relacionada ao estágio de execução da obra, a mão-de-obra não capacitada, materiais não certificados e a falta de metodologia para as operações de serviço.
- Adquiridas: Ocorrem durante a vida útil das construções e podem ser naturais ou decorrentes da ação humana, devido a exposição ao meio que se inserem.
- Acidentais: Caracterizado pela ocorrência de fenômenos atípicos.

2.2.3 Mecanismo das patologias

Para Helene (1992), o mecanismo é o processo na qual a manifestação patológica se desenvolve, deve-se conhecer o mecanismo do problema para uma terapêutica adequada.

De acordo com Sena et al. (2020), a patologia das edificações se desenvolve apropriando-se da consolidação de conceitos, processos e métodos, possibilitando do aprimoramento desse campo ainda muito amplo a ser dominado. Assim, a NBR 15575/2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho, representa um avanço considerável no cenário nacional nos últimos anos em relação a discussão e a determinação de parâmetros buscando a redução da ocorrência de manifestações patológicas.

2.3 NORMA DE DESEMPENHO (NBR 15575/2013)

A Norma de Desempenho estabelece critérios que visam o desempenho e segurança em edificações habitacionais, fundamentando as discussões na área da patologia das construções na medida em que a sua observação contribui para a diminuição na ocorrência das manifestações patológicas (NBR 15575/2013).

2.3.1 Desempenho

Segundo a NBR 15575/2013, o desempenho é definido como o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas e complementa termos e definições que auxiliam na organização do conhecimento sobre a qualidade solicitada para as edificações habitacionais. São aplicados os seguintes termos e definições:

- Requisitos de desempenho: São as condições qualitativas os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas necessitam possuir, de modo que atenda as exigências do usuário.
- Critérios de desempenho: São as especificações expressas qualitativamente dos requisitos de desempenho, apresentados em termos de quantidades mensuráveis, de maneira que possam ser objetivamente determinados.
- Durabilidade: Refere-se à capacidade da edificação ou seus sistemas de desempenhar suas funções com o passar do tempo, sob condições de uso e manutenção especificadas.
- Manutenção: É descrita como o conjunto de atividades a serem realizadas ao longo da vida total da edificação para conservar ou recuperar a sua

capacidade funcional e de seus sistemas que a compõem, a fim de que sejam atendidas as condições de segurança dos seus usuários.

Para as exigências de durabilidade, conforme a NBR 6118/2014, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de maneira que garanta à estrutura segurança, estabilidade e aptidão ao longo de sua vida útil.

2.3.2 Vida Útil (VU) e Vida Útil de Projeto (VUP)

De acordo com a NBR 15575/2013, a vida útil de uma edificação é uma medida temporal sobre sua durabilidade ou de seus sistemas, ou seja, é o período de tempo em que um edifício se presta a desempenhar as atividades para as quais foram projetados e construídos, levando em consideração os processos de manutenção especificados no manual de uso, operação e manutenção da edificação.

Por vida útil, entende-se o período de tempo que são mantidas as características das estruturas de concreto. O conceito de vida útil pode ser aplicado a estrutura como um todo ou às suas partes, levando em consideração determinados componentes da estrutura que possui o valor de vida útil diferente (NBR 6118, 2014).

Já a vida útil de projeto é o período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado, de modo que atenda aos requisitos de desempenho requeridos pela norma. O projeto deve especificar o valor teórico para a vida útil de projeto para cada um dos sistemas que o compõem, atendendo os critérios mínimos para que os sistemas possuam a durabilidade adequada. A norma apresenta a vida útil de projeto mínima para alguns sistemas, mostrada na Tabela 2 (NBR 15575/2013).

Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 50 segundo a ABNT NBR 8681/2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: NBR 15575 (2013).

2.4 INSPEÇÃO PREDIAL E INSPEÇÃO PREDIAL ESPECIALIZADA

De acordo com a NBR 16747/2020, a inspeção predial é o processo das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade da edificação e de seus sistemas construtivos, de maneira estruturada, considerando os requisitos dos usuários. Já a inspeção predial especializada ocupa a função de exames especializados para avaliar as condições de um sistema, de forma a complementar ou aprofundar o diagnóstico.

2.5 FISSURAS

Segundo Sena et al. (2020), as fissuras são os primeiros sintomas que podem surgir em uma estrutura de concreto e podem se manifestar desde a concretagem até anos após a mesma. Conforme Souza e Ripper (1998), o processo de fissuração por natureza nas estruturas ocorre quando as tensões são superiores à resistência do concreto à tração. Assim, a caracterização das fissuras como problema estrutural depende da origem, intensidade e magnitude.

De acordo com Sena et al. (2020), é necessário desenvolver um diagnóstico da origem e indicar a causa da fissura. Em relação a sua origem, as fissuras podem significar algo simples, como um problema estético, mas também podem significar que algo mais grave está para ocorrer, como um desabamento da peça estrutural. As causas das fissuras podem ser indicadas por meio das suas configurações, sua abertura, posição, espaçamento e trajetória.

Segundo Thomaz (1989), as fissuras podem ser causadas por atuação de sobrecargas ou concentração de tensões, deformidade excessiva das estruturas e retração de produtos à base de cimento.

2.5.1 Classificação das fissuras

Figueiredo (1989) classifica as fissuras como ativas e passivas:

- Fissuras ativas: Apresentam movimento, principalmente os de variações de abertura e comprimento. As fissuras terão movimentos ao longo da vida útil da estrutura, sem que represente um perigo de ruptura após tratamento.

- Fissuras passivas: São as que estão estabilizadas, apresentando o mesmo comprimento e abertura. São fissuras ocasionadas por fatores que já foram eliminados antes da correção.

2.5.2 Classificação quanto à abertura

Admitindo-se os termos técnicos, a nomenclatura adequada é fissura e trinca, na qual são classificadas conforme o tamanho de sua abertura.

A NBR 15575-2/2013 define a diferença entre fissura e trinca:

- Fissura: separação na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura inferior a 0,6 mm.
- Trinca: Expressão coloquial aplicável a fissuras com abertura superior ou igual a 0,6 mm.

2.5.3 Fissuras geradas por atuação de sobrecargas ou concentração de tensões

Segundo Sena et al. (2020), a atuação de sobrecargas pode dar origem a formação de fissuras em componentes estruturais. A causa das fissuras de sobrecarga pode ocorrer por falhas decorrentes do cálculo estrutural ou a estrutura pode estar sendo submetida por uma solicitação de carga superior à prevista.

De acordo com Souza et. al. (2014), no momento do carregamento no concreto ocorre uma deformação imediata e no decorrer do tempo, ocorrerá uma deformação elástica lenta. A deformação lenta é caracterizada por um aumento de deformação ao longo do tempo, quando o concreto é submetido a uma determinada tensão.

Para Thomaz (1989), o aspecto das fissuras depende das condições de contorno da laje, a relação entre comprimento e largura, o tipo de armação e a natureza da solicitação.

A NBR 6120/2019 fixa as condições exigíveis para a determinação dos valores das cargas permanentes e acidentais que devem ser consideradas no projeto estrutural. A NBR 6118/2014 estabelece os Estados Limites de Serviço (ELS) sendo aqueles relacionados à durabilidade das estruturas, aparência, conforto do usuário e à boa utilização funcional, seja em relação aos usuários, máquina e equipamentos utilizados.

Conforme Yazigi (1990), no caso das lajes, verifica-se o Estado Limite de Utilização (ELU) à flexão e ao puncionamento, onde o (ELU) ou (ELS) possibilita o controle de fissuras, deformações e vibrações.

De acordo Dal Molin (1988), em lajes próximas a atingir a carga limite, formam-se linhas de ruptura (fissuras de grande abertura no concreto), onde o aço atinge o escoamento. Os esforços solicitantes que acontecem nas linhas de ruptura são momentos de ruptura, forças cortantes e forças nodais. Ao longo das linhas de ruptura a força cortante é nula, devido ao momento máximo. No entanto, pode ocorrer forças cortantes nos apoios e nos pontos de interseção das linhas de ruptura (forças nodais). Caso a linha de ruptura não se desenvolva perpendicularmente em uma das direções x e y da armadura, pode-se desenvolver um momento volvente perpendicular à linha de ruptura, além do momento fletor.

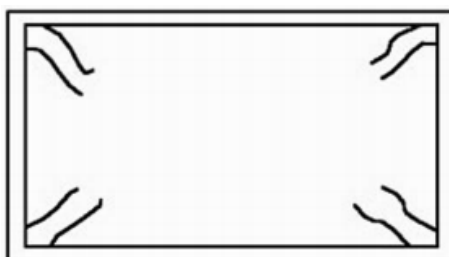
Em lajes maciças com grandes vãos, a deficiência de armaduras para o combate aos momentos volventes, que surgem próximos aos cantos da laje, podem causar fissuras inclinadas, formando com esses cantos triângulos aproximadamente isósceles, conforme mostrada na Figura 1. Já a Figura 2 apresenta as fissuras na face inferior da laje, por deficiência de armaduras para combate aos momentos volventes (THOMAZ, 1989).

Figura 1 – Fissuras na face superior da laje, provocadas por momentos volventes



Fonte: Souza e Ripper (1998).

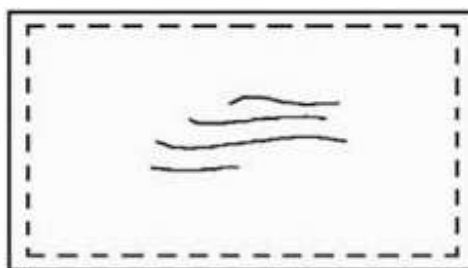
Figura 2 – Fissuras na face inferior da laje, provocadas por momentos volventes



Fonte: Souza e Ripper (1998).

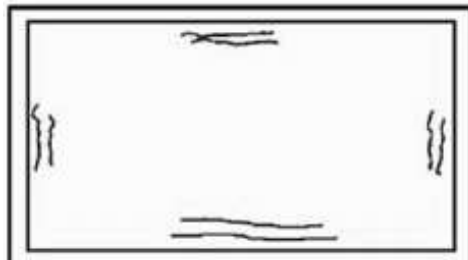
A fissuração por esmagamento do concreto pode ocorrer devido à reduzida espessura da laje. As fissuras manifestam-se na face superior da laje, por deficiência de armaduras diante dos momentos positivos, conforme apontada na Figura 3. Na face inferior da laje, as fissuras manifestam-se por deficiência de armaduras diante dos momentos negativos, como exibida na Figura 4 (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 3 – Fissuração por esmagamento na face superior da laje, devido à deficiência de armaduras diante dos momentos positivos



Fonte: Souza e Ripper (1998).

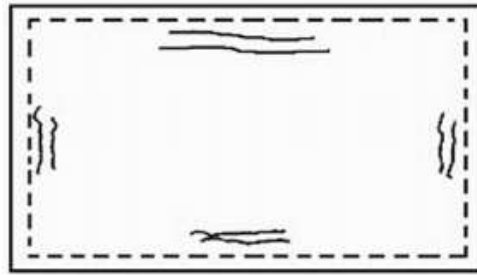
Figura 4 – Fissuração por esmagamento na face inferior da laje, devido à deficiência de armaduras diante dos momentos negativos



Fonte: Souza e Ripper (1998).

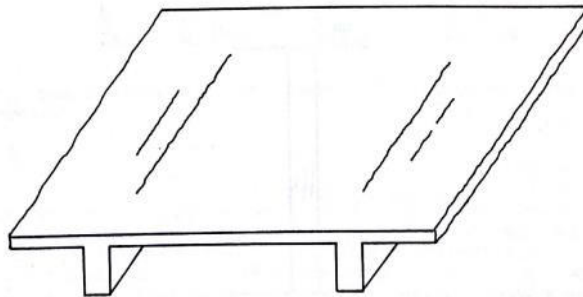
A fissuração por flexão pode ocorrer devida à insuficiência de armaduras entre os painéis de lajes construtivamente contínuas, projetadas como simplesmente apoiadas. Devida à insuficiência de armadura para os momentos negativos, as fissuras surgem na face superior da laje, conforme mostradas nas Figuras 5 e 6. No caso de insuficiência de armaduras para os momentos positivos, as fissuras surgem na face inferior da laje, como apresentada na Figura 7 (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 5 – Exemplo 1 de fissuração por flexão na face superior da laje, devida à insuficiência de armadura para momentos negativos



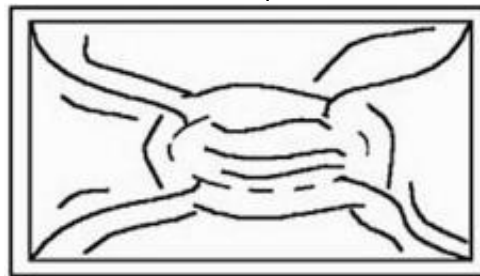
Fonte: Souza e Ripper (1998).

Figura 6 – Exemplo 2 de fissuração por flexão na face superior da laje, devida à insuficiência de armadura para momentos negativos



Fonte: Thomaz (1989).

Figura 7 – Fissuração por flexão na face inferior da laje, devida à insuficiência de armadura para momentos positivos



Fonte: Souza e Ripper (1998).

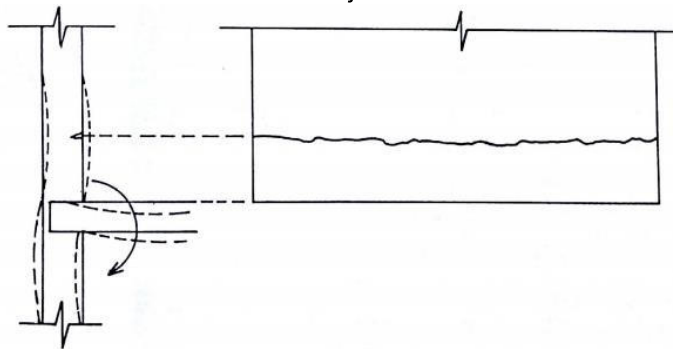
2.5.4 Fissuras geradas por deformidade excessiva das estruturas

Para Thomaz (1989), as estruturas tornaram-se cada vez mais flexíveis, devido a evolução da tecnologia do concreto armado, representada pela fabricação de aços com grande limite de elasticidade, desenvolvimento de métodos aprimorados de cálculo e produção de cimentos de melhor qualidade. Assim, deve-se ter a análise mais detalhada das deformações e consequências.

As lajes deformam-se de forma natural devido a ação do peso próprio, cargas permanentes, cargas acidentais e sob a influência de retração ou deformação lenta do concreto. As flechas geradas pelos elementos estruturais podem não comprometer com a própria estética, a estabilidade e a resistência da construção, porém podem ser incompatíveis com a capacidade de paredes e outros componentes que integram o edifício (THOMAZ, 1989).

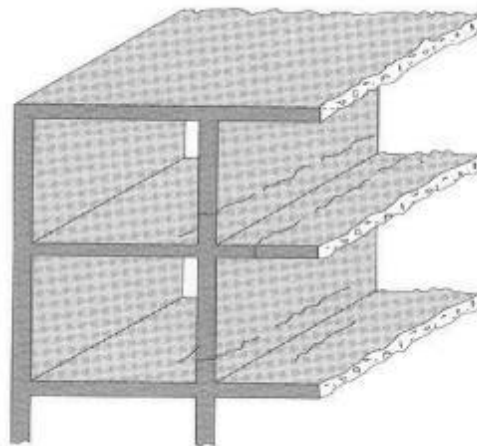
Um caso de fissuração em alvenaria estrutural, é aquele que pode ser causado pela excessiva deformação de lajes ancoradas nas paredes (Figuras 8 e 9), onde os esforços de flexão lateral são introduzidos nas mesmas. Uma fissura horizontal é desenvolvida próxima à base da parede (THOMAZ, 1989).

Figura 8 – Exemplo 1 de fissura horizontal na base da parede causada pela deformação excessiva da laje



Fonte: Thomaz (1989).

Figura 9 – Exemplo 2 de fissura horizontal na base da parede causada pela deformação excessiva da laje



Fonte: Thomaz (1989).

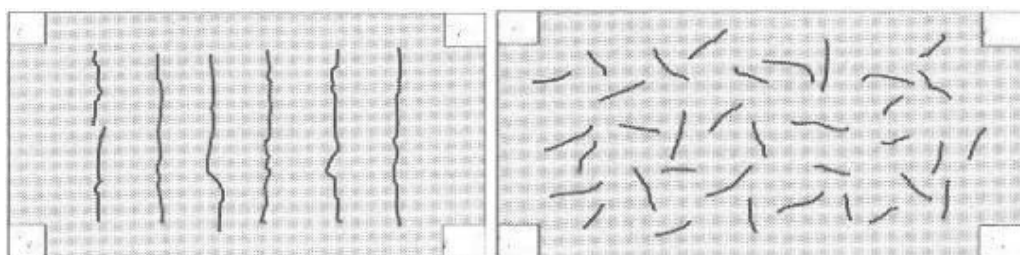
2.5.5 Fissuras geradas por retração de produtos à base de cimento

Conforme Sena et al. (2020), o mecanismo predominante da retração é a perda de água por meio da evaporação. Considerando-se a trabalhabilidade exigida, o concreto normalmente é preparado com água em excesso, o que agrava a retração. Na época da concretagem, deve-se atentar da relação da estrutura com o meio ambiente, pois fatores como elevadas temperaturas, baixo teor de umidade do ar e a ocorrência direta de ventos são aspectos que prejudicam ao endurecimento do concreto, podendo facilitar no surgimento de fissuras. Assim, é importante cuidar-se de que a mistura não tenha água em excesso e que as peças sejam corretamente curadas.

Thomaz (1989) explicita que a retração em lajes pode provocar a compressão de pisos cerâmicos. Em situações muito desfavoráveis, as fissuras podem surgir no piso ou no destacamento do revestimento cerâmico.

A Figura 10 apresenta as fissuras de retração em lajes, com a configuração de aspecto de mosaico, podendo ocorrer em ambas as faces (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 10 – Fissuras de retração em lajes



Fonte: Helene (1992).

2.6 RECUPERAÇÃO DE FISSURAS E REFORÇO DE ESTRUTURAS

Souza e Ripper (1998) afirmam que a qualidade dos serviços de recuperação ou de reforços de estruturas depende da identificação da causa da fissuração, a fim de que se escolha a técnica adequada a utilizar. Algumas técnicas de recuperação e reforços são:

- Intervenções em superfície de concreto: trata-se de técnicas relacionadas com intervenções de recuperação ou reforço em superfícies de concreto. As

técnicas podem ser por meio de polimento, lavagem, limpeza da superfície, saturação e remoção profunda de concreto degradado.

- Tratamento de fissuras: o tratamento de peças fissuradas está ligado ao tipo de fissura identificado, relativamente a variação de espessura e da necessidade de que se execute reforços estruturais. As técnicas podem ocorrer através de injeção, selagem e costura.
- Trabalhos de reforço: os trabalhos de reforço são necessários em uma estrutura para corrigir as falhas de projeto ou execução, aumentar ou recuperar a capacidade portante e modificação da concepção estrutural. Para o reforço, pode-se utilizar armaduras ou chapas metálicas.

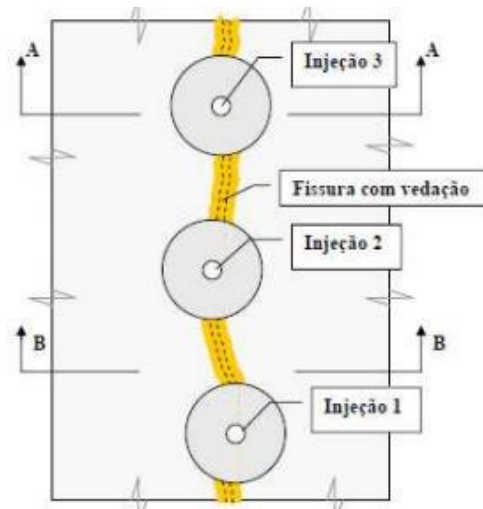
2.6.1 Técnica de injeção de fissuras

A técnica de injeção de fissuras pode ser aplicada em fissuras com abertura superior a 0,1 mm, garantindo o enchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda (Figura 11). São utilizadas as resinas epóxi, por serem produtos não retráteis, de baixa viscosidade, alta capacidade resistente, bom comportamento em presença de agentes agressivos e endurecimento rápido (SOUZA; RIPPER, 1998).

Segundo Fortes (2000), são executados furos de aproximadamente 30 mm de profundidade e cerca de 10 mm de diâmetro, com espaçamentos que podem variar de 5 a 30 cm, de acordo com a abertura da fissura. Assim, são fixados dutos nesses furos, na qual será injetado o produto.

Além disso, Thomaz (2003) informa que os componentes dos materiais de preenchimento devem ser bem misturados, com aparelhagem adequada, de forma que não sedimentem ou se separem dentro da fissura.

Figura 11 – Técnica de injeção de fissuras



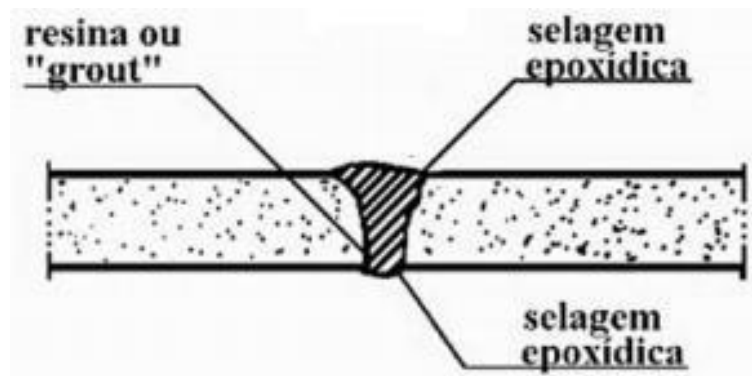
Fonte: Thomaz (2003).

2.6.2 Técnica de selagem de fissuras

De acordo com Fortes (2000), utiliza-se a técnica de selagem para a vedação das extremidades de fissuras com aberturas de cerca de 1 mm, realiza-se o processo de selagem aplicando resina de baixa viscosidade para ingressar na fissura, de maneira que garanta a fixação. Para melhorar a selagem, pode-se abrir um sulco em formato de “v” ao longo do comprimento da fissura.

Em aberturas superiores a 10 mm e inferiores a 30 mm, o enchimento da fenda é feito com resina ou argamassas denominadas grout e as bordas com produto à base de epóxi, como apresentada na Figura 12 (SOUZA; RIPPER, 1998).

Figura 12 – Técnica de selagem de fissuras

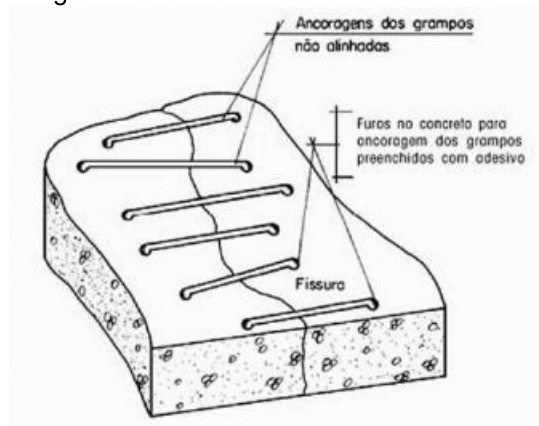


Fonte: Souza e Ripper (1998).

2.6.3 Técnica de costura de fissuras

A técnica de costura de fissuras ocorre nos casos de fissuras ativas com o desenvolvimento acontecendo em linhas isoladas e por deficiências localizadas de capacidade resistente. Colocam-se armaduras denominadas grampos, de maneira que resista ao esforço de tração (Figura 13). Essa técnica deve ser realizada posteriormente à injeção (SOUZA; RIPPER, 1998).

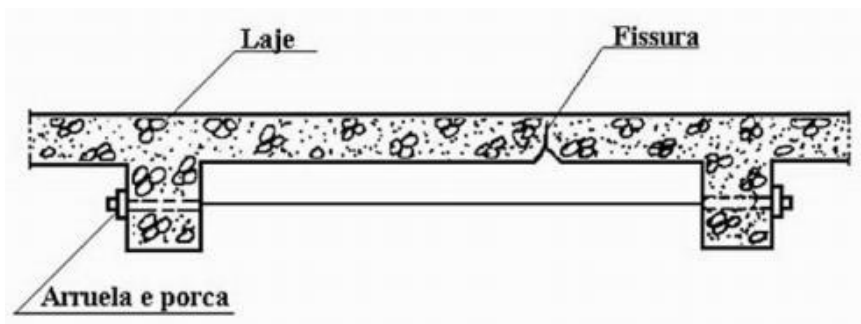
Figura 13 – Técnica de costura de fissuras



Fonte: Souza e Ripper (1998).

Souza e Ripper (1998) sugerem como opção alternativa à costura, a introdução de um reforço por compressão utilizando barras ou cabos, eliminando os esforços de tração (Figura 14). Em casos como esse, o processo está mais relacionado com o dimensionamento estrutural de reforço do que propriamente com o tratamento de fissuras como técnica em si.

Figura 14 – Anulação das tensões de tração pela introdução de protensão exterior



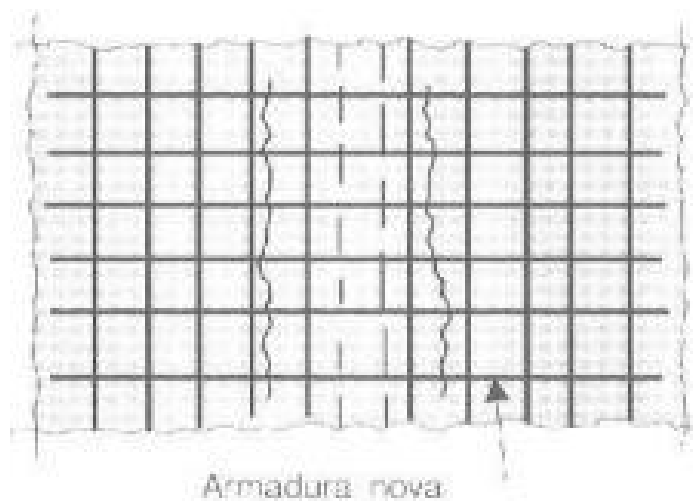
Fonte: Souza e Ripper (1998).

2.6.4 Armadura de reforço

Segundo Souza e Ripper (1998), a armadura de reforço em estruturas de concreto é utilizada em situações em que é necessária a adição do número de barras existentes, para a adequação ou aumento da capacidade resistente da peça.

Helene (1992), apresenta armaduras de reforço utilizadas na laje para fissuras de flexão, como mostrada na Figura 15.

Figura 15 – Armadura de reforço para fissuras de flexão



Fonte: Helene (1992).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

Para o desenvolvimento do trabalho, foi utilizada a metodologia do estudo de caso na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Toledo. O imóvel vistoriado trata-se da edificação denominada Bloco A da instituição de ensino, na qual localiza-se no bairro Vila Becker, à Rua Cristo Rei, no município de Toledo - PR, conforme a Figura 16.

Figura 16 – Identificação e situação do imóvel



Fonte: Google Maps¹ (2020).

A edificação possui área total de 3.381,00 m², com idade aproximada de 11 anos, composto por térreo, 3 pavimentos tipo e cobertura. Possui ambientes como salas de aula, salas de professores, ambiente administrativo, hall, corredor, banheiros, escadas, elevador, entre outros.

¹ Disponível em: <<https://maps.google.com>> Acesso em: 20 jun. 2020.

Os locais vistoriados foram as salas de aula, sala dos professores e salas do setor administrativo presentes no segundo pavimento do edifício, onde realizou-se o diagnóstico da identificação das possíveis causas que deram origem a formação de fissuras presentes e a recomendação das ações adequadas para a recuperação da edificação.

O sistema estrutural do objeto de estudo é composto de pilares, lajes e vigas, sendo o concreto armado como o material constituinte. Além disso, os ambientes analisados são compostos por laje maciça como elemento estrutural.

As Figuras 17, 18 e 19 apresentam o Bloco A da UTFPR e as vistas laterais esquerda e direita da edificação.

Figura 17 – Bloco A da UTFPR



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 18 – Vista lateral esquerda do Bloco A



Fonte: Autorial Própria (2020).

Figura 19 – Vista lateral direita do Bloco A

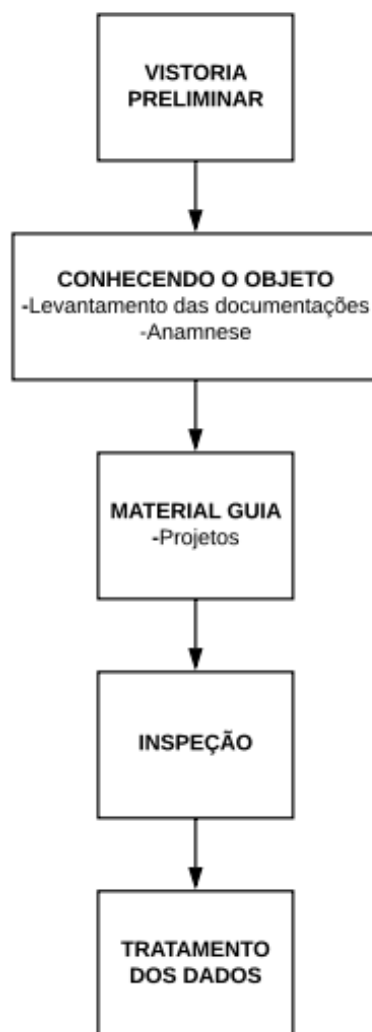


Fonte: Autorial Própria (2020).

3.2 MÉTODO PARA A OBTENÇÃO DO DIAGNÓSTICO

A obtenção do diagnóstico das patologias foi realizada pelo roteiro de inspeção proposto por Sena et al. (2020), seguindo as diretrizes da Norma de Inspeção Predial Nacional do IBAPE (2012) e da NBR 16747/2020, que consiste em uma estrutura formada por cinco etapas: vistoria preliminar, conhecendo o objeto, material guia, inspeção e tratamento dos dados (Figura 20).

Figura 20 – Fluxograma para resolução dos problemas patológicos



Fonte: Adaptado de Sena et. al. (2020).

3.2.1 Vistoria preliminar

Segundo Sena et. al. (2020), a vistoria preliminar consiste no primeiro contato ao objeto a ser estudado. Nesta etapa, tem-se um conhecimento prévio do objeto, levando em consideração as características como idade da edificação, localização, tipologia, manifestações aparentes, estado de conservação, dentre outras.

3.2.2 Conhecendo o objeto

Para o conhecimento do objeto, foram realizados dois procedimentos, sendo a anamnese e o levantamento das documentações.

Conforme a NBR 16747/2020, a anamnese é uma etapa da inspeção predial que consiste em entrevistas para obter informações e coletar dados sobre o histórico da edificação. De acordo com Sena et. al. (2020), o conhecimento da história da edificação desde o seu nascimento engloba os acontecimentos ocorridos na estrutura, como as modificações, manutenções e falhas.

A Tabela 3 apresenta perguntas que podem ser realizadas na etapa da anamnese.

Tabela 3 – Perguntas que podem ser realizadas na etapa da anamnese	
Dados do edifício	1) Qual a idade do edifício?
Documentações	2) O edifício possui os projetos disponíveis?
Modificações	3) Quais foram as modificações feitas no edifício?

Fonte: Adaptado de Sena et. al. (2020).

Para Ribeiro e Pires (2018), o procedimento de levantamento das documentações pode ocorrer em paralelo com a anamnese, pois durante a conversa com o gestor da edificação, é possível solicitar as documentações.

Lichtenstein (1985) explicita que as informações podem ser obtidas por meio de entrevistas e documentos formalizados, como projetos, diário de obra, notas fiscais de materiais e componentes, dentre outros.

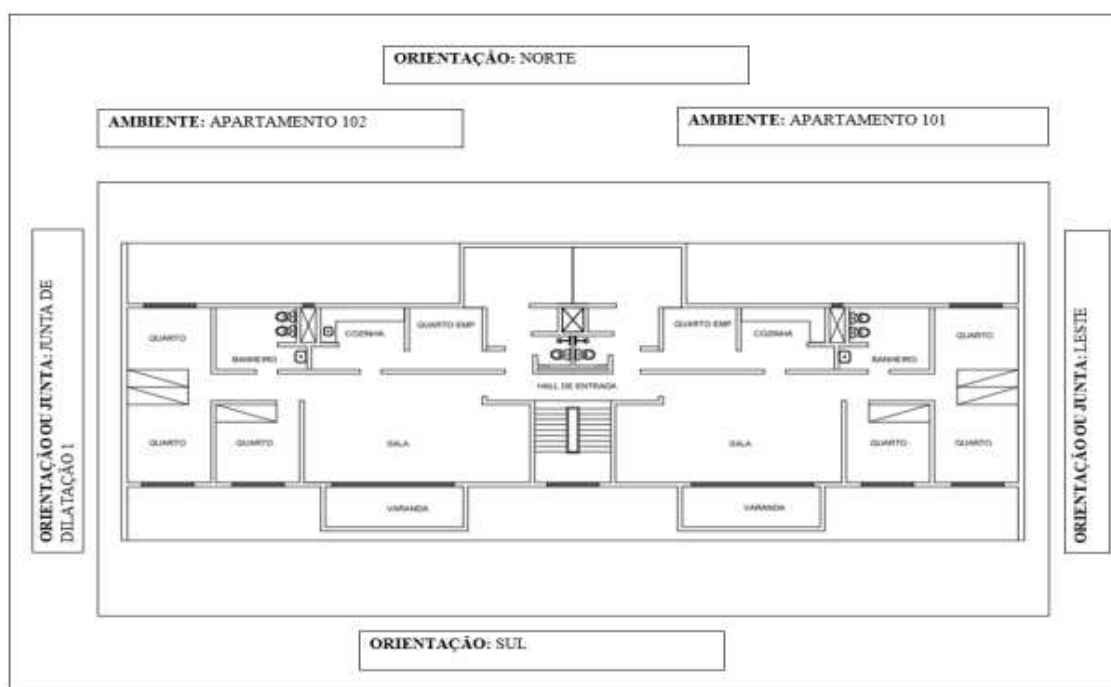
Para esta etapa, a coleta de informações em relação ao levantamento da história do edifício, complementares sobre as fissuras e documentos formalizados foram consultadas com o engenheiro da universidade.

3.2.3 Material guia

Sena et al. (2020) informa que esta etapa se refere à preparação de um material para auxiliar durante a inspeção, sendo possível localizar o ambiente a ser inspecionado, assim como fazer marcações e apontamentos de maneira organizada. Para o preparo do material suporte, é de grande utilidade um projeto que seja possível visualizar os *layouts* da edificação, para elaboração de um croqui das áreas que serão inspecionadas.

A Figura 21 apresenta um exemplo de layout na prancha.

Figura 21 – Exemplo de layout em prancha



Fonte: Ribeiro e Pires (2018).

Dessa forma, para a etapa de material guia, utilizou-se um croqui do segundo pavimento da edificação, para auxiliar na marcação da localização de cada fissura.

3.2.4 Inspeção

Conforme Souza e Ripper (1998), para que seja possível determinar as reais condições de uso da estrutura analisada, a vistoria deve ser detalhada e cuidadosa. Essa etapa tem em vista avaliar as anomalias presentes, identificar as suas causas, providências e os métodos a serem tomados para a recuperação ou reforço.

De acordo com Lichtenstein (1985), a vistoria do local pode ser realizada utilizando os sentidos humanos e instrumentos específicos para caracterização das manifestações patológicas.

Para a etapa de inspeção, Sena et. al. (2020) recomenda a utilização de materiais como:

- Pranchetas;
- Lápis, caneta e borracha;
- Folhas A4 em branco;
- Material guia;

- Câmera fotográfica;
- Equipamentos de medição.

Sena et. al. (2020) informa que para uma melhor compreensão das manifestações patológicas, o inspetor predial pode constatar a necessidade de execução de ensaios auxiliares. A definição dos ensaios necessários depende dos problemas observados.

Para o atendimento da etapa, será realizada a vistoria em busca da análise de cada fissura, para um levantamento de dados em relação à localização e característica da fissura, situação da superfície e classificação quanto a abertura, podendo ser medida utilizando um fissurômetro. Além disso, haverá um relatório fotográfico das fissuras observadas.

3.2.5 Tratamento de dados

Segundo Sena et. al. (2020), com as informações coletadas após a realização da inspeção predial, pode-se elaborar o tratamento de dados, contendo as manifestações patológicas listada com as fotos registradas, local, recomendações, soluções e análise de risco.

A Norma de Inspeção Predial do IBAPE (2012) propõe uma classificação para as manifestações, o critério estabelecido determina o grau de risco, considerando a classificação das anomalias constatadas e falhas encontradas.

Segundo a Norma de Inspeção Predial do IBAPE (2012), as anomalias e falhas são classificadas em três graus de risco, considerando o impacto de risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio.

- Grau de Risco Crítico: É aquele que provoca danos contra a saúde e segurança dos usuários e meio ambiente, com perda excessiva de desempenho e funcionalidade, provocando possíveis paralisações, aumento de custo excessivo e comprometimento sensível de vida útil.
- Grau de Risco Médio: É aquele que provoca a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação, sem danos à operação direta de sistemas e degradação precoce.

- Grau de Risco Mínimo: É aquele que causa pequenas perdas de desempenho e funcionalidade, relativamente à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou probabilidade de ocorrência dos riscos relativos aos impactos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento de valor imobiliário.

Foi informado um diagnóstico para a patologia, com o possível motivo da origem, as causas, conforme a característica das fissuras, o risco aos usuários da edificação e se as áreas verificadas podem ser ocupadas. Além disso, serão recomendadas propostas de solução para as patologias, com o auxílio de pesquisas bibliográficas, contendo as possíveis recuperações e reparos para a edificação.

Dessa forma, o tratamento de dados da inspeção realizada seguiu as recomendações do IBAPE (2012) e da NBR 16575/2020, apresentado pelo seguinte conteúdo:

- Descrição técnica da edificação;
- Data da vistoria que compôs a inspeção;
- Descrição da inspeção predial, acompanhada de dados, fotos, croquis e causas;
- Análise das irregularidades constatadas;
- Classificação quanto ao grau de risco;
- Recomendação das ações necessárias para restaurar ou preservar o desempenho da edificação.

4. RESULTADOS

4.1 DATA DA VISTORIA QUE COMPÔS A INSPEÇÃO PREDIAL

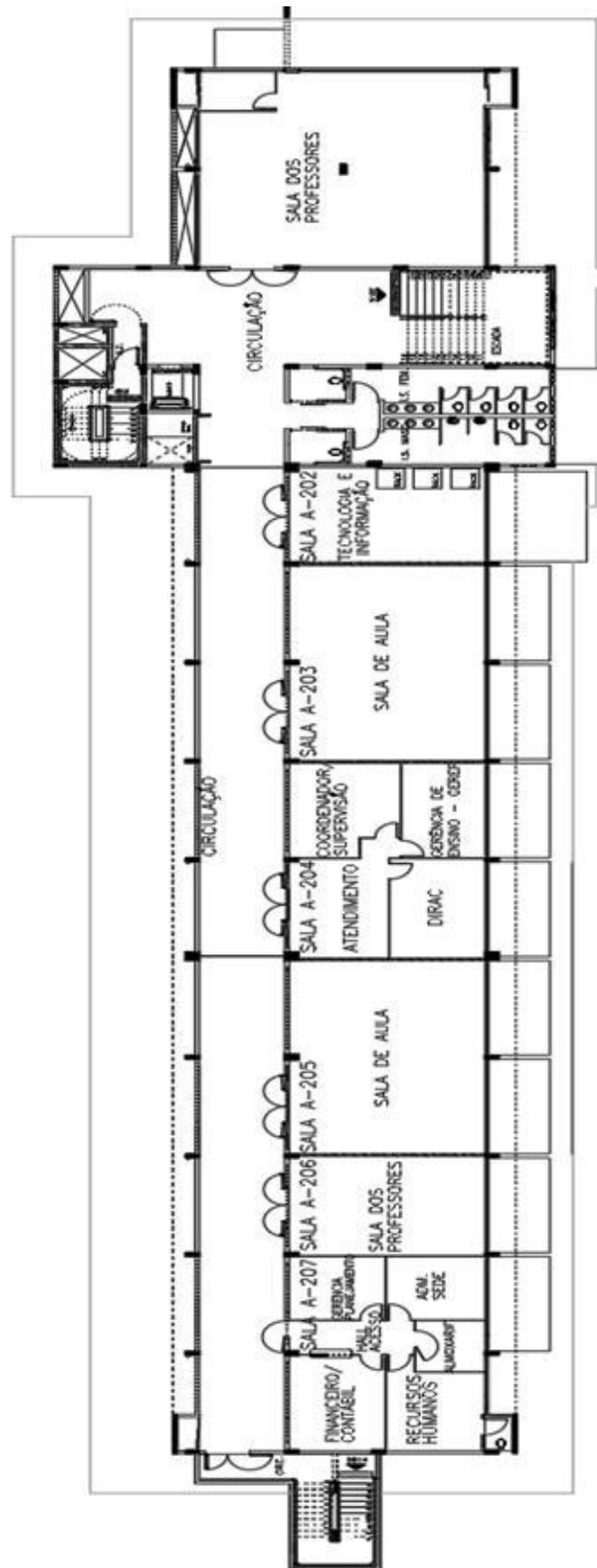
Analisou-se e avaliou-se as patologias identificadas nas lajes do segundo pavimento no edifício da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Realizou-se uma vistoria, no dia 18 de junho de 2020, onde estava presente o engenheiro civil da instituição. Verificou-se as circunstâncias em que se desenvolveram as manifestações patológicas, identificando as causas, relatando as consequências e recomendando as medidas corretivas aos danos.

4.2 DESCRIÇÃO DA INSPEÇÃO PREDIAL

Inicialmente, realizou-se a anamnese com o engenheiro da instituição, onde obteve-se informações acerca do histórico na edificação. A realização da construção da obra foi no ano de 2009 e as manifestações patológicas surgiram aproximadamente no ano de 2018, ou seja, menos de 10 anos após a conclusão da edificação. Além disso, para o levantamento de documentações, foi disponibilizada a planta baixa do segundo pavimento do Bloco A.

Para a realização da inspeção predial, utilizou-se como material guia o croqui da planta baixa do segundo pavimento do Bloco A (Figura 22), organizada na prancheta em folha A4. Nela estavam identificadas as salas de aula, salas de professores e salas do setor administrativo, corredor e banheiros. Além disso, foram utilizados um fissurômetro e uma trena como equipamento de medição.

Figura 22 – Croqui da planta baixa do segundo pavimento do Bloco A



Fonte: Autoria Própria (2020).

A sequência para a vistoria iniciou-se pela sala A-202 e finalizou-se na sala A-207. Para as anotações e relatório fotográfico foram adotadas as seguintes medidas:

- Utilizou-se uma prancheta com folhas do tipo A4. Nas folhas foram anotados os locais inspecionados e as manifestações patológicas encontradas.
- Fotografou-se as manifestações patológicas sendo apresentada o equipamento de medição utilizado como auxílio.
- A cada troca de ambiente, fotografou-se a folha correspondente ao local, para uma melhor organização entre registro do local inspecionado e o próximo local.

Após a inspeção, pode-se analisar os registros fotográficos e materiais para realizar o tratamento dos dados. Os danos e patologias observados na inspeção realizada no segundo pavimento foram fissuras e trincas. A Figura 23 apresenta a localização das fissuras e trincas encontradas.

4.2.1 Sala A-202

Na sala A-202 situava-se o setor administrativo da universidade e possuía no local mesas e cadeiras de escritório, armários, equipamentos e divisórias. Pode-se observar no local trincas inclinadas, com as aberturas de 0,6 mm e 1,0 mm, próximas aos cantos da laje, característico de deficiência de armaduras para o combate aos momentos volventes, conforme apresentadas nas Figuras 24 e 25.

Figura 24 – Trincas inclinadas na sala A-202 com abertura de 0,6 mm



Fonte: Aatoria Própria (2020).

Figura 25 – Trincas inclinadas na sala A-202 com abertura de 1,0 mm



Fonte: Aatoria Própria (2020).

Além disso, observou-se no canto da laje a presença de uma trinca, com abertura de 0,75 mm, conforme mostrada na Figura 26. Pelo fato da trinca estar no canto da face superior, o sintoma da trinca pode ser por sintoma de flexão em laje.

Figura 26 – Trinca no canto da laje da sala A-202 com abertura de 0,75 mm



Fonte: Aatoria Própria (2020).

4.2.2 Sala A-203

A sala A-203 era utilizada como sala de aula e possuía mesas e cadeiras no local. Na entrada contava com uma trinca, com abertura de 0,7 mm, apresentada na Figura 27.

Figura 27 – Trinca na entrada da sala A-203 com abertura de 0,7 mm



Fonte: Aatoria Própria (2020).

Foram encontradas também trincas com aberturas de 1,0 mm, conforme mostrada na Figura 28.

Figura 28 – Trincas na sala A-203 com abertura de 1,0 mm



Fonte: Aatoria Própria (2020).

4.2.3 Sala A-204

Na sala A-204 era onde estava localizada o setor administrativo e estava organizado com divisórias contendo em cada local mesas e cadeiras de escritório, computadores e armários. Em um determinado ponto da laje, passou-se a sensação de estar mais aprofundada que os demais. Assim, com o auxílio de uma pequena quantidade de água, pode-se verificar que a mesma escorria para o ponto mais fundo, apresentada na Figura 29.

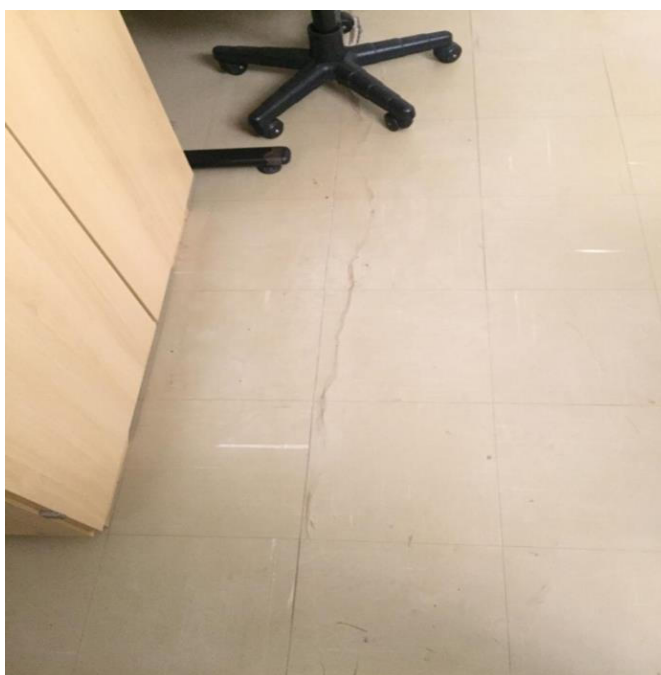
Figura 29 – Água escorrendo para o ponto mais fundo



Fonte: Autorial Própria (2020).

A laje do local apresentou fissuras de comprimento extenso e abertura de 0,5 mm (Figura 30).

Figura 30 – Fissuras de comprimento extenso e abertura de 0,5 mm na sala A-204



Fonte: Autorial Própria (2020).

Verificou-se a face inferior da laje, onde observou-se a presença de fissuras próximas aos ventiladores e iluminação, com abertura de aproximadamente 0,5 mm, conforme mostrada na Figura 31. Pelo aspecto das fissuras na face superior, o sintoma pode ser por flexão em laje.

Figura 31 – Fissuras na face inferior da laje com abertura de aproximadamente 0,5 mm

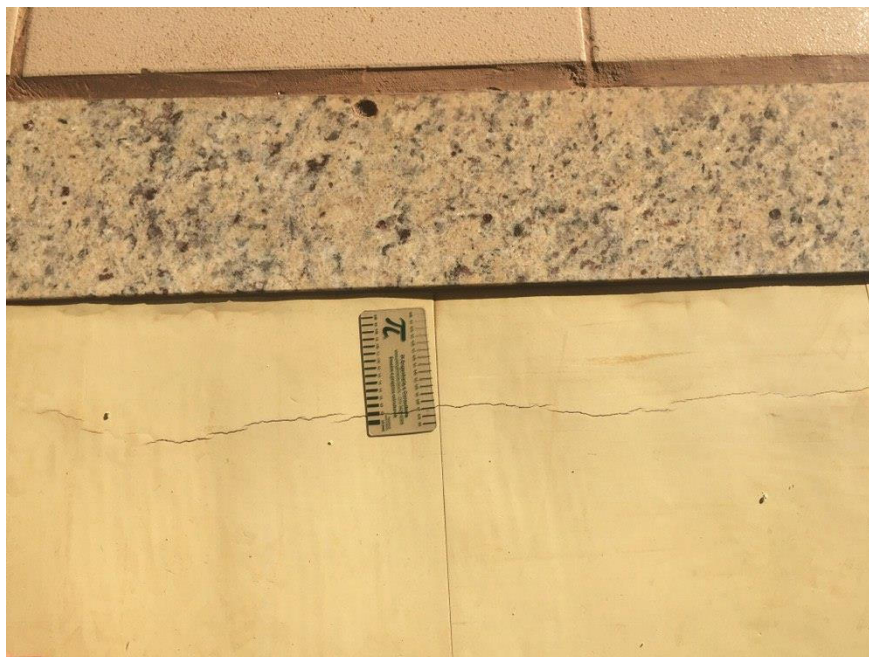


Fonte: Aatoria Própria (2020).

4.2.4 Sala A-205

A sala A-205 correspondia a uma sala de aula, com mesas e cadeiras no local. Pode-se observar na entrada e nos cantos da laje, a presença de trincas com aberturas de 0,7 mm e 1,0 mm, respectivamente, apresentadas nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 – Trinca na entrada da sala A-205 com abertura de 0,7 mm



Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 33 – Trinca nos cantos da laje da sala A-205 com abertura de 1,0 mm



Fonte: Autoria Própria (2020).

Na parede da sala, observou-se trincas extensas com aberturas de 1,4 mm, conforme exibida na Figura 34, podendo ser causada por deformidade excessiva da estrutura.

Figura 34 – Trincas extensas na parede da sala A-205 com abertura de 1,4 mm



Fonte: Aatoria Própria (2020).

4.2.5 Sala A-206

A ambiente denominado como A-206 estava localizada a sala dos professores e contava com cargas de equipamentos fixos (Figura 35), sendo mesas e cadeiras de escritório, armários e computadores.

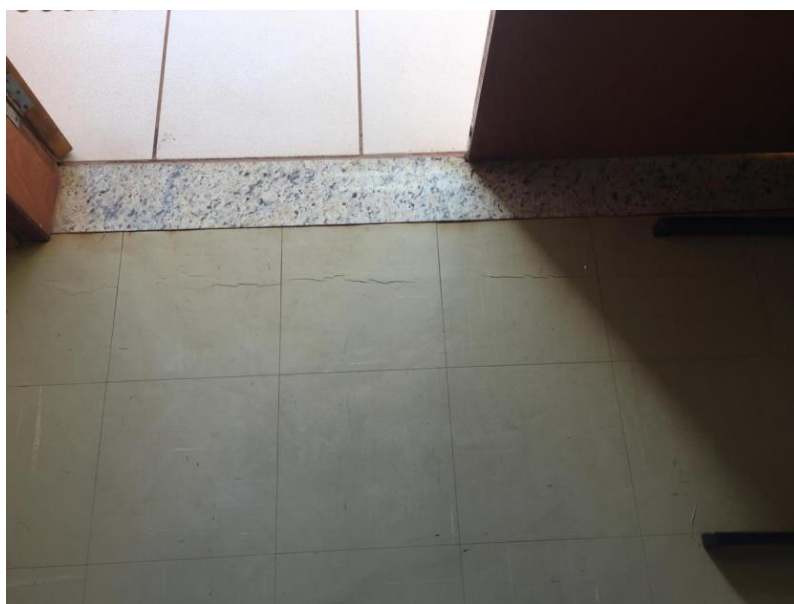
Figura 35 – Cargas de equipamentos fixos



Fonte: Aatoria Própria (2020).

Logo na entrada, próxima das portas, pode-se visualizar fissuras com abertura de 0,5 mm, conforme exibida na Figura 36. Nos cantos da sala, foi possível observar a presença de trincas, com os tamanhos das aberturas de 1,0 mm e 1,3 mm, apresentadas nas Figuras 37 e 38. De acordo com a característica das fissuras e trincas e por se localizarem nos cantos da face superior da laje, a anomalia foi por flexão.

Figura 36 – Fissuras na entrada da sala A-206 com abertura de 0.5 mm



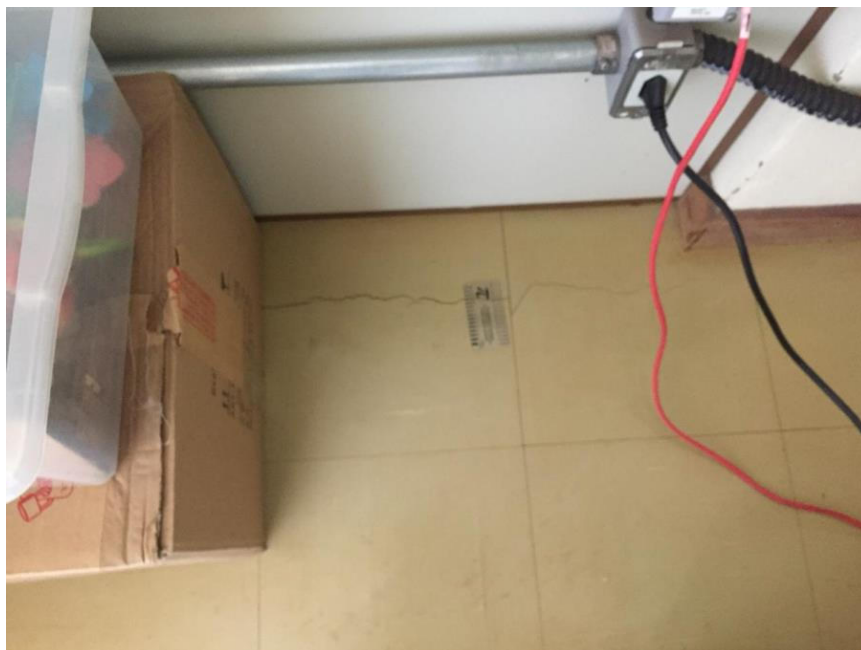
Fonte: Autoria Própria (2020).

Figura 37 – Trinca no canto da sala A-206 com abertura de 1,0 mm



Fonte: Autoria Própria (2020).

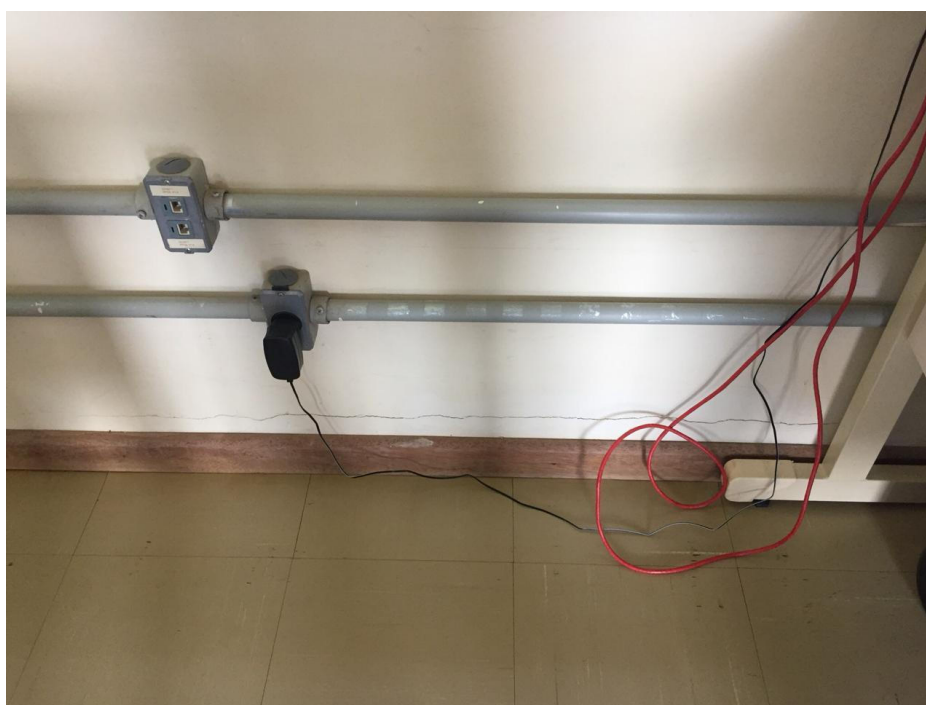
Figura 38 – Trinca no canto da sala A-206 com abertura de 1,3 mm



Fonte: Autoria Própria (2020).

Encontrou-se a presença de uma trinca que se estendia por toda a parede da sala A-206, a abertura foi de 1,2 mm, conforme mostrada na Figura 39. Essa trinca pode ter sido gerada por deformidade excessiva das estruturas.

Figura 39 – Trinca na parede da sala A-206 com abertura de 1,2 mm



Fonte: Autoria Própria (2020).

4.2.6 Sala A-207

A sala A-207 era constituída pelo setor administrativo e era composta por mesas e cadeiras para escritório, armários e computadores, separados por divisórias. Nessa sala encontrou-se uma trinca de grande extensão e abertura de 1,4 mm, característica por flexão, apresentada na Figura 40.

Figura 40 – Trinca de grande extensão e abertura de 1,4 mm na sala A-207



Fonte: Aatoria Própria (2020).

Os cantos da sala apresentavam trincas inclinadas, com abertura de 1,0 mm, sendo característicos de momentos volventes, conforme exibida na Figura 41.

Figura 41 – Trincas inclinadas nos cantos da sala A-207 com abertura de 1,0 mm



Fonte: Autoria Própria (2020).

Também estavam presentes fissuras com abertura de aproximadamente 0,5 mm na face inferior da laje (Figura 42).

Figura 42 – Fissuras na face inferior da laje com abertura de aproximadamente 0,5 mm



Fonte: Aatoria Própria (2020).

Além disso, pode-se perceber uma dificuldade para abrir as portas dos ambientes separados por divisórias, onde foi possível observar marcas das portas no chão, conforme mostrada na Figura 43.

Figura 43 – Marcas das portas no chão da sala A-207



Fonte: Aatoria Própria (2020).

4.3 ANÁLISE DAS IRREGULARIDADES CONSTATADAS

De forma geral, pode-se verificar pelas características, que as fissuras e trincas encontradas podem ter sido geradas por atuação de sobrecargas ou atuações de tensões de flexão em lajes.

Foi possível observar que as salas que eram utilizadas como sala de professores e salas do setor administrativo possuíam a carga de diversos equipamentos, materiais e móveis atuando sobre as estruturas. Verificou-se que haviam trincas horizontais que se estendiam próximas à base da parede das salas A-205 e A-206, indicando que houve uma deformação das lajes ancoradas, causadas pelos esforços de flexão.

Notou-se que as salas A-204 e A-207 passavam a sensação de inclinação e uma dificuldade para abrir as portas dos ambientes separados por divisórias. Assim, ao espalhar uma quantidade de água no piso e garantir que a água escorria para o local inclinado, pode-se supor que foi gerada flechas nas salas.

As salas A-203, A-204, A-205 e A-207 foram os locais que apresentaram uma grande quantidade de fissuras e trincas. Além disso, as salas A-204 e A-207 apresentaram fissuras e trincas mais extensas e nas duas faces da laje.

Dessa forma, pode-se analisar que as fissuras e trincas de flexão em lajes e paredes das salas de aula e dos professores tiveram a causa provável devida a insuficiência de armaduras, podendo apresentar as possíveis consequências a perda de funcionalidade e as flechas acentuadas.

Supõe-se que essas manifestações patológicas podem ter a origem correspondente a uma sobrecarga não prevista em projeto, armaduras mal posicionadas na execução ou cargas concentradas na ocupação.

4.4 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE RISCO

A classificação quanto ao grau de risco das anomalias e falhas deve ser fundamentada, considerando o risco oferecido aos usuários, ao meio ambiente e ao patrimônio.

Constatou-se o nível médio em função das trincas e fissuras poderem causar danos à saúde e a segurança das pessoas, gerando o risco de provocar a perda

parcial de desempenho e funcionalidade da estrutura, sem prejuízo à operação direta de sistemas e deterioração precoce.

4.5 RECOMENDAÇÃO DAS AÇÕES NECESSÁRIAS PARA RESTAURAR OU PRESERVAR O DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO

Deve-se realizar o tratamento das fissuras e trincas encontradas, onde pode-se optar por dois métodos, sendo a redução da sobrecarga ou manter a sobrecarga atuante. Porém, para essas duas ações é recomendado que se realize previamente uma inspeção predial especializada, com ensaios que complementem ou aprofundem o diagnóstico.

Os ensaios que podem ser realizados nas lajes do segundo pavimento do Bloco A para uma melhor análise estrutural são o nivelamento a laser e a prova de carga. A realização do nivelamento a laser das lajes do segundo pavimento do Bloco A pode ser solicitada visando medir as possíveis deflexões.

De acordo com a NBR 9607/2019, a prova de carga é definida como um conjunto de atividades destinadas a analisar o desempenho de uma estrutura por meio da medição e controle de efeitos causados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas.

A prova de carga pode ser utilizada em estruturas que não se possui o conhecimento de informações suficientes sobre a capacidade de suportar as cargas previstas. A NBR 9607/2019 recomenda a prova de carga seja aplicada nas situações de alterações das condições de utilizações da estrutura, fases construtivas que acarretem solicitações excepcionais em parte da estrutura, após acidentes ou anomalias observados durante a execução ou vida de uma estrutura, quando há uma falta total ou parcial de elementos de projeto, no desconhecimento das condições construtivas ou para estudo do comportamento da estrutura.

Após a análise prévia da situação de cada laje encontrada pelo ensaio especializado e a definição do método, projetos, equipamentos e produtos a serem utilizados, pode-se realizar o procedimento do tratamento das fissuras e trincas. Para os casos deve-se previamente remover as partes que estão soltas e limpar as superfícies.

No caso da redução da sobrecarga, indica-se proceder para o preenchimento das fissuras e trincas por meio da injeção de resina epóxi (Figura 44). Deve-se considerar a limitação de sobrecarga, conforme a análise estrutural.

Figura 44 – Injeção de resina epóxi



Fonte: Terracam² (2020).

Já no caso em que a sobrecarga atuante se mantém, pode-se executar o reforço estrutural. Esse processo pode ser realizado com uma adição de concreto na face superior, construindo uma sobrelaje armada aderida com epóxi, combinada com sublaje armada em concreto projetado. Também pode ser realizado a abertura de sulcos, colocação de armaduras e preenchimento com argamassa epóxi. A Figura 45 apresenta um carregamento em uma laje com reforço de adição de concreto na face superior.

Figura 45 – Carregamento em uma laje com reforço de adição de concreto na face superior



Fonte: Campos (2012).

² Disponível em: <<https://www.terracam.eng.br/servicos/injecao-em-concreto/injecao-de-epoxi/>> Acesso em: 20 ago. 2020.

Foi analisado de forma experimental por Pires (2003), o comportamento estrutural de lajes de concreto armado, reforçadas com o aumento da seção de concreto na face superior, de modo que foi apresentada a eficiência do processo de reforço em comparação com lajes originais de referência (antes do reforço).

O autor informa que as lajes reforçadas foram ensaiadas em duas etapas. Na primeira etapa, realizou-se o ensaio inicial de flexão, onde as lajes, antes de serem reforçadas, foram solicitadas a flexão, para que surgissem deslocamentos, deformações e fissuras. Este procedimento foi feito para simular as condições iniciais de lajes submetidas a reforço.

O critério de parada do carregamento foi ao atingir aos limites de abertura de fissura de 0,3 mm ou flecha da ordem de $L/200$. Após ser atingido o carregamento máximo, as lajes foram descarregadas e reforçadas. Na segunda etapa do ensaio, a laje reforçada foi ensaiada com ciclos de carga e descarga.

O autor cita que a comparação das lajes originais e lajes reforçadas apresentou uma melhoria significativa do desempenho com o reforço, tanto em serviço, quanto na ruptura, mostrando ser bastante eficiente o método de reforço, desde que o concreto de reforço seja bem estudado para que apresente características físicas de resistência e aderência compatíveis com os níveis de solicitação a que está submetido.

5. CONCLUSÃO

Conforme observado, o surgimento das fissuras e trincas analisadas pode ser devido a atuação de sobrecarga ou por deslocamento de flexão, com uma possível causa de insuficiência de armaduras. Supõe-se que a origem das manifestações patológicas pode ter ocorrido por uma sobrecarga não prevista na etapa de projeto, armaduras mal posicionadas na etapa de execução ou cargas concentradas na ocupação.

Com base nisso, para que as falhas sejam evitadas na etapa de projeto, é necessária a definição precisa das cargas atuantes, um dimensionamento correto, a compatibilização entre projetos e detalhes construtivos, de modo que haja uma interpretação compreensível para a etapa de execução.

Cabe salientar que as estruturas podem apresentar manifestações patológicas por uma utilização incorreta, pois uma mudança na ocupação pode gerar cargas diferentes das previstas no local. Além disso, é importante que se realize um programa eficiente de prevenção e manutenção para garantir um bom desempenho e a durabilidade da edificação, permitindo cumprir a vida útil prevista e evitando o risco aos usuários.

A identificação das causas das manifestações patológicas pode levar a uma melhor definição das ações de reparos e o conhecimento da origem apresenta uma compreensão das consequências. Assim, os mecanismos de prevenção podem evitar os problemas e elevam a qualidade na construção.

Por fim, ao determinar a técnica mais eficaz para a recuperação da estrutura, deve-se considerar as possíveis interrupções na utilização do ambiente, a análise dos impactos de cada técnica e avaliar os custos dos reparos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros têm-se:

- Realização de ensaios para determinação da causa do problema;
- Estudo de diferentes técnicas de reforço;
- Análise do Estado Limite Último (ELU) para avaliação de carga de colapso;
- Análise da deformação excessiva.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9607**: Prova de carga estática em estruturas de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: Inspeção predial – diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

BORGES, A. N. **Curso prático de cálculo de concreto armado**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 2007.

CAMPOS, C. O.; ROCHA A. P.; GOMES R. B.; MELO G. S. Reforço em lajes de concreto armado. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 4, n. 2, p. 69-81, 2012.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado - Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1988. 238 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Terapia das construções de concreto - Metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinadas a injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto**. 1989. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

FORTES, A. S. **Vigas de concreto armado reforçadas com fibras de carbono**. 2000. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

FRANÇA, A. A. V.; MARCONDES, C. G. N.; ROCHA, F. C.; MEDEIROS, M. H. F. de; HELENE, Paulo R. L. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **Téchne**, São Paulo, v. 19, n. 174, p. 72-77, 2011.

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

IBAPE. **Norma de Inspeção Predial Nacional**. São Paulo, 2012.

LICHTENSTEIN, Norberto B.. **Patologias das construções: procedimentos para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. 1985. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

NEVES, D. R. R.; BRANCO, L. A. M. N. Estratégia de inspeção predial. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p.12-19, jul./dez. 2009.

PEDRO, E. G.; MAIA, L. E. F. C.; ROCHA, M. O.; CHAVES, M. V. **Patologia em revestimento cerâmico de fachada**. 2002. 114 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Avaliações e Perícias, Fea Fumec - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, 2002.

PIRES, E. F. **Comportamento e desempenho do reforço à flexão de lajes de concreto armado através do aumento da seção na região comprimida**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

RIBEIRO, A. P. A.; PIRES L. A. S. Proposta de roteiro de inspeção para edificações – Estudo de caso em Brasília – DF. 2018. 126 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário IESB, Brasília, 2018.

SENA, G. O.; NASCIMENTO M. L. M.; NETO A. C. N.; LIMA N. M. **Patologia das construções**. 1. ed. Salvador: 2B, 2020.

SILVA, H. O.; OYAKAWA, M.; BATISTA, A. M. Fatores que propiciam aparecimento de fissuras nas lajes maciças em edifícios de interesse social. **Revista InSIET: Revista In Sustentabilidade, Inovação & Empreendedorismo Tecnológico**, v. 1, difusão 02, p. 156-196, ago./dez. 2014.

SILVA, M. A. F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. C. S. **Fissuração - 168 Casos Reais**. Rio de Janeiro, 2003.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1989.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. 10. ed. São Paulo: Pini, 2009.