



**BERNARDO PEREIRA RODRIGUES**

**UM ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES  
PATOLÓGICAS NA RAMPA DO LAVRASTEC**

**LAVRAS – MG**

**2024**

**BERNARDO PEREIRA RODRIGUES**

**UM ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA  
RAMPA DO LAVRASTEC**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

**Prof. Dr. Wisner Coimbra de Paula**  
**Orientador**

**LAVRAS – MG**

**2024**

**BERNARDO PEREIRA RODRIGUES**

**UM ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NA  
RAMPA DO LAVRASTEC**

**A CASE STUDY: ANALYSIS OF PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS IN THE  
LAVRASTEC RAMP**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em

Prof. Dr. Wisner Coimbra de Paula - UFLA

Prof. Dr. Igor José Mendes Lemes - UFLA

Prof. Arthur Santos Longati - UFSJ

Prof. Dr. Wisner Coimbra de Paula  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2024**

## **AGRADECIMENTOS**

Chegamos ao final de mais uma etapa e gostaria de expressar minha gratidão à todas as pessoas que tornaram possível a realização deste acontecimento.

Primeiramente, agradeço à minha família, em especial à minha mãe Vivianne e à minha avó Helenice, que sempre ofereceram o suporte e a assistência necessária durante o período de estudos na Universidade Federal de Lavras.

Aos meus amigos, pelos momentos de incentivo e compreensão durante a jornada no curso de engenharia civil, em especial à minha namorada Paola Nunes e meu amigo Ruan Angelo, sempre presentes nos momentos desafiadores.

Agradeço também ao meu orientador Wisner Coimbra, pela orientação eficiente e direcionada durante o período de produção desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para a realização deste projeto, direta ou indiretamente. Este trabalho não seria possível sem a contribuição de cada um de vocês. Meus sinceros agradecimentos!

## **RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso sobre manifestações patológicas, tendo como objeto de estudo a edificação do Parque Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Nesse sentido, essa pesquisa tem como proposta identificar os principais problemas encontrados em uma área delimitada da edificação através de coleta de dados no local de estudo e análises de projetos da estrutura, com o objetivo de levantar hipóteses acerca das causas das patologias. Dessa forma, de acordo com os resultados obtidos, foi possível identificar um provável subdimensionamento, observado através de valores discrepantes das áreas de aço de diferentes tramos dos elementos estruturais. Desse modo, de acordo com as características do hipotético subdimensionamento, foram propostos métodos de reforço estrutural, a fim de oferecer capacidade resistente e minimizar os impactos das patologias. A partir disso, espera-se que as conclusões obtidas no estudo sejam utilizadas como base e referências para trabalhos futuros, colaborando com a redução de patologias no que tange às estruturas de concreto armado e protendido.

Palavras-chave: concreto armado; patologias; concreto protendido.

## **ABSTRACT**

This paper aims to present a case study on pathological manifestations, focusing on the construction of the Parque Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA)- Science and Technology Park of the Federal University of Lavras, in the literal translation- as the object of study. In this regard, this research proposes to identify the main issues found in a specific area of the building through data collection on-site and analysis of structure's design plans, with the goal of raising hypotheses about the causes of the pathologies and offering alternatives to solve the identified issue. Thus, according to the results obtained, it was possible to identify a probable under-dimensioning, observed through the discrepant values of the steel areas of different sections of the structural elements. Therefore, according to the characteristics of the hypothetical undersizing, structural reinforcement methods were proposed in order to provide resistance capacity and minimise the impact of pathologies. It is expected that the conclusions drawn in this study will serve as a foundation and reference for further inquiry, contributing to the reduction of pathologies in reinforced and prestressed concrete structures.

**Keywords:** reinforced concrete; pathologies; prestressed concrete.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ADERÊNCIA POR ADESÃO.....	14
FIGURA 2 - ADERÊNCIA POR ATRITO SEM PRESSÃO TRANSVERSAL. ....	14
FIGURA 3 - ADERÊNCIA POR ATRITO COM PRESSÃO TRANSVERSAL.....	14
FIGURA 4 - ADERÊNCIA MECÂNICA EM BARRAS LISAS. ....	15
FIGURA 5 - ADERÊNCIA MECÂNICA EM BARRAS NERVURADAS. ....	15
FIGURA 6 - ELEMENTO SUBMETIDO A FORÇA DE PROTENSÃO. ....	15
FIGURA 7 - ANCORAGEM E ESTIRAMENTO DAS CORDOALHAS. ....	16
FIGURA 8 - LANÇAMENTO DO CONCRETO SOBRE AS ARMADURAS DE PROTENSÃO.....	17
FIGURA 9 - RELAXAMENTO DAS CORDOALHAS. ....	17
FIGURA 10 - MOLDAGEM E CURA DO CONCRETO. ....	18
FIGURA 11- ESTIRAMENTO E ANCORAGEM DA ARMADURA DE PROTENSÃO. ....	18
FIGURA 12 - SURGIMENTO DA FORÇA DE PROTENSÃO E PREENCHIMENTO DA BAINHA. ....	19
FIGURA 13 - VIGA PROTENDIDA COM ADERÊNCIA.....	19
FIGURA 14 - VIGA PROTENDIDA SEM ADERÊNCIA.....	20
FIGURA 15 - ESPESSURA DE COBRIMENTO. ....	22
FIGURA 16 - DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO NO ELU DE UMA PEÇA DE CONCRETO ARMADO SOB TENSÕES NORMAIS.....	25
FIGURA 17 - PRINCIPAIS CAUSAS DE PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	31
FIGURA 18 - FISSURAÇÃO POR SOBRECARGA EM ELEMENTOS SUB-ARMADOS.....	32
FIGURA 19 - SEGREGAÇÃO DO CONCRETO. ....	33
FIGURA 20 - RETRAÇÃO PLÁSTICA DO CONCRETO. ....	34
FIGURA 21 - PARQUE TECNOLÓGICO DE LAVRAS (LACRASTEC). ....	36
FIGURA 22 - RAMPA DO LAVRASTEC.....	37
FIGURA 23 - ESTRUTURA INTERNA DA RAMPA E DOS PILARES. ....	37
FIGURA 24 - ESTRUTURA INTERNA DA RAMPA E DAS VIGAS.....	38
FIGURA 25 - IDENTIFICAÇÃO DA RAMPA DO PARQUE. ....	38
FIGURA 26 - FLUXOGRAMA PARA ANÁLISES PATOLÓGICAS. ....	39
FIGURA 27 - FISSURA VIGA 101. ....	40
FIGURA 28 - FACE INFERIOR DA VIGA 107. ....	41
FIGURA 29 - VIGA 107.....	41
FIGURA 30 - PONTOS CRÍTICOS. ....	42

FIGURA 31 - CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DA RAMPA.....	43
FIGURA 32 - PROJETO ESTRUTURAL ARMADURA PASSIVA VIGA 105. ....	44
FIGURA 33 - PROJETO ESTRUTURAL ARMADURA ATIVA VIGA 105. ....	45
FIGURA 34 - PROJETO ESTRUTURAL ARMADURA PASSIVA VIGA 107. ....	45
FIGURA 35 - ARMADURA ATIVA VIGA 107. ....	46
FIGURA 36 - PROJETO ESTRUTURAL ARMADURA PASSIVA VIGA 109. ....	46
FIGURA 37 - PROJETO ESTRUTURAL ARMADURA ATIVA VIGA 109. ....	47
FIGURA 38 - PROJETO ESTRUTURAL DA VIGA 101. ....	47
FIGURA 39 - PROJETO ESTRUTURAL DA VIGA 102. ....	48
FIGURA 40 - CARGA DE PROTENSÃO ATUANTE NA CORDOALHA. ....	50
FIGURA 41 - SUBDIVISÃO DOS TRAMOS DA RAMPA. ....	51
FIGURA 42 - CARGA DE PROTENSÃO CORDOALHA CP 190 RB 12,7. ....	53
FIGURA 43 - CARGA DE PROTENSÃO CORDOALHA CP 190 RB 15,2. ....	54
FIGURA 44 - REFORÇO COM FIBRA DE CARBONO EM VIGA DE CONCRETO. ....	55
FIGURA 45 - COLAGEM DE CHAPA METÁLICA EM VIGA DE CONCRETO. ....	56
FIGURA 46 - COMPARATIVO ENTRE AÇO, ALUMÍNIO E FIBRAS DE CARBONO. ....	56

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE CLASSE DE AGRESSIVIDADE E QUALIDADE DO CONCRETO. .....	22
TABELA 2 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE ESPESSURA DE COBRIMENTO E CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL. ....	23
TABELA 3 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE CLASSE DO CONCRETO E CLASSE DE AGRESSIVIDADE. ..	24
TABELA 4 - CLASSES DE RESISTÊNCIA CONCRETOS ESTRUTURAIIS. ....	24
TABELA 5 - DESLOCAMENTOS MÁXIMOS PERMITIDOS. ....	27
TABELA 6 - COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DE CARGAS.....	29
TABELA 7 - COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO PARA AÇÕES VARIÁVEIS.....	30
TABELA 8 - COMPARATIVO VIGAS COMPLEMENTARES.....	48
TABELA 9 - CORDOALHA DE PROTENSÃO VIGA 105. ....	49
TABELA 10 - CORDOALHA DE PROTENSÃO VIGA 107. ....	50
TABELA 11 - CORDOALHA DE PROTENSÃO VIGA 109. ....	50
TABELA 12 - COMPARAÇÃO ÁREAS DE AÇO VIGAS LONGITUDINAIS.....	52
TABELA 13 - ESPECIFICAÇÕES CORDOALHAS VIGA 101. ....	53
TABELA 14 - ESPECIFICAÇÕES CORDOALHAS VIGA 102. ....	53

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.....	21
QUADRO 2 - VALORES MÁXIMOS DE ABERTURA DE FISSURA. ....	26
QUADRO 3 - COMBINAÇÕES DE SERVIÇO. ....	28
QUADRO 4 – COMBINAÇÕES ÚLTIMAS. ....	29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>CONCRETO PROTENDIDO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.1</b>	<b>SISTEMAS DE PROTENSÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>CRITÉRIO DE PROJETO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.1</b>	<b>CLASSE DE AGRESSIVIDADE.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.2</b>	<b>QUALIDADE DO CONCRETO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.3</b>	<b>RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.4</b>	<b>DOMÍNIOS DE DEFORMAÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.5</b>	<b>DIMENSIONAMENTO .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>PATOLOGIAS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4.1</b>	<b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE CONCEPÇÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4.2</b>	<b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.3</b>	<b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE UTILIZAÇÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4.4</b>	<b>TRATAMENTO DE PATOLOGIAS .....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>LOCAL DO ESTUDO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS CRÍTICOS .....</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>ANÁLISE DE PROJETOS.....</b>	<b>43</b>
<b>5.3</b>	<b>VIGAS COMPLEMENTARES .....</b>	<b>48</b>
<b>5.4</b>	<b>VIGAS PRINCIPAIS .....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil representa um campo dinâmico e fundamental para o desenvolvimento sustentável da sociedade, desempenhando um papel importante na concepção, planejamento, construção e manutenção de infraestruturas que moldam o ambiente urbano e rural. No contexto atual, marcado por desafios ambientais, sociais e tecnológicos, a engenharia civil assume uma posição estratégica na busca por soluções inovadoras e sustentáveis para atender às crescentes demandas da população global.

As Estruturas de Concreto Armado, amplamente empregadas na construção civil, destacam-se por sua versatilidade, resistência e durabilidade, sendo fundamentais para a edificação de uma variedade de infraestruturas. No entanto, a despeito de suas qualidades, essas estruturas não estão isentas de desafios, especialmente no que diz respeito às patologias que podem comprometer sua integridade ao longo do tempo. Por outro lado, o concreto protendido surge como evolução, introduzindo o conceito de pré-tensão, com o objetivo de minimizar tais patologias relacionadas à capacidade resistente dos elementos estruturais e às deformações excessivas.

A segunda seção deste trabalho discutirá de forma detalhada essas patologias, examinando as possíveis hipóteses causadoras dos problemas identificados. A compreensão profunda dessas patologias é relevante para desenvolver estratégias de manutenção e reabilitação eficazes, de acordo com a especificidade de cada caso, garantindo a longevidade e segurança das estruturas de concreto. Além disso, a pesquisa pode ser utilizada como referência para trabalhos futuros e auxiliar na redução de patologias associadas ao concreto armado e ao concreto protendido, em edificações similares.

No âmbito deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), será abordado um estudo de caso específico relacionado a patologias em estruturas de concreto armado e concreto protendido, na edificação do Parque Científico e Tecnológico de Lavras, nas dependências da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A metodologia adotada contemplará uma análise detalhada das condições estruturais do local, identificação das patologias presentes e levantamento das eventuais causas dos problemas através das análises dos projetos da estrutura, permitindo a proposição de alternativas de reparo, mediante a complexidade das manifestações patológicas identificadas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

O propósito desta pesquisa consiste em conduzir uma análise acerca das patologias identificadas na rampa de acesso ao Edifício do Parque Tecnológico de Lavras (LAVRASTEC), uma vez que a estrutura foi projetada com a mescla de estruturas de concreto armado e concreto protendido. Nesse sentido, tal pesquisa busca identificar os elementos estruturais mais afetados, e discorrer sobre a natureza dessas anomalias, apresentando possíveis medidas corretivas.

### **2.2 Objetivos específicos**

Com o propósito de realizar análise mais aprofundada, foram estabelecidos objetivos específicos, a fim de organizar os principais pontos da pesquisa. Dentre eles:

- Realizar uma revisão da literatura sobre o concreto armado e sobre o concreto protendido, destacando os principais fatores que podem levar a eventuais patologias.
- Coletar e analisar informações sobre as patologias identificadas nos elementos estruturais estudados, identificando suas possíveis causas.
- Realização do mapeamento das fissuras em questão, para posterior análise dos projetos da edificação, buscando identificar eventuais inconformidades entre o projeto e a realidade.
- Propor, diante dos resultados encontrados, alternativas para solucionar os problemas identificados no estudo de caso.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Concreto armado

O concreto é um composto com alta resistência estrutural, formado por água, cimento, agregado miúdo e agregado graúdo. Além disso, podem ser adicionados aditivos químicos para modificar suas propriedades básicas (CASTRO, 2017a). Historicamente, é considerado como um dos compostos de grande valor descobertos pela humanidade, em virtude de suas propriedades que lhe concedem grande durabilidade (CASTRO, 2017a). Com tal descoberta, foi possível a construção de estruturas de edificações de grande magnitude, inclusive em ambientes considerados agressivos, em razão de sua característica de alta resistência aos efeitos do tempo (SILVA, 2019). Tal característica é resultado direto da combinação dos materiais que o compõem.

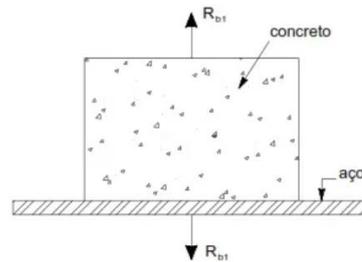
A resistência à compressão do concreto é a propriedade responsável por mensurar a capacidade de resistir a cargas que tendem a comprimi-lo (CASTRO, 2017b), enquanto a resistência a tração é responsável por suportar esforços que tendem a esticá-lo (SANTOS, 2014). No entanto, sua resistência à compressão é da ordem de 10 vezes superior à sua resistência à tração (CORRÊIA E SOUZA, 2014). A partir de meados de 1850, surgiu a ideia da associação do concreto, material com resistência à compressão adequada a fins estruturais na construção civil, ao aço, material com boa resistência à tração, dando origem ao concreto armado.

A associação entre concreto e aço proporciona a capacidade de um elemento estrutural em concreto armado resistir aos esforços de tração e compressão (KLEIN, 2015). A funcionalidade de uma estrutura de concreto armado é garantida pela aderência entre o concreto e o aço, através de transferências de tensões do concreto para as armaduras (COELHO, 2008). Tal fenômeno é multifatorial e acontece através de diferentes mecanismos.

Para Fusco (2000), o fenômeno da aderência total do concreto armado é proveniente de diferentes três diferentes parcelas de aderência, que atuam simultaneamente ( $R_{b1}$ ,  $R_{b2}$  e  $R_{b3}$ ).

Ao lançar concreto sobre a superfície de uma chapa metálica, ocorrem interações físico-químicas entre a interface da chapa, gerando uma resistência, denominada resistência de adesão (FUSCO, 2000). A resistência de adesão (FIGURA 1) promove o surgimento de forças que se opõem à tendência dos materiais se separarem.

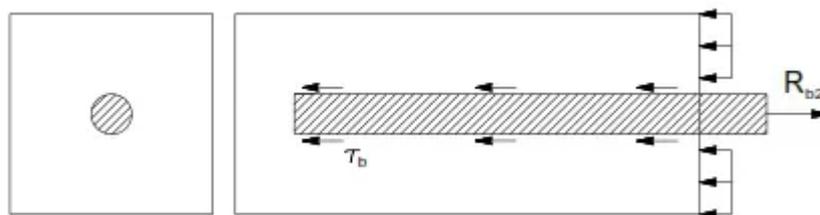
Figura 1 - Aderência por adesão.



Fonte: Fusco (2000).

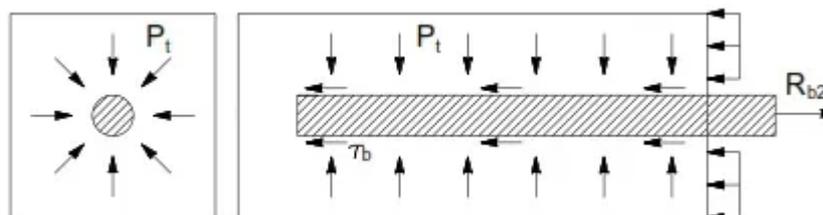
A garantia de que as barras de aço estejam devidamente ancoradas no concreto é proporcionada pelo atrito entre os materiais (BELO, 2017). Assim, quando há tendência de deslocamento relativo entre os materiais, ocorre a aderência por atrito (FIGURA 2). Além disso, as tensões transversais exercidas pelo concreto sob a barra metálica atuam como forças de confinamento, aumentando a aderência por atrito (FIGURA 3). Os valores de pressão mencionados podem ser gerados por fatores distintos, como a redução do volume de concreto durante o processo de cura e forças de compressão em regiões apoiadas.

Figura 2 - Aderência por atrito sem pressão transversal.



Fonte: Fusco (2000).

Figura 3 - Aderência por atrito com pressão transversal.

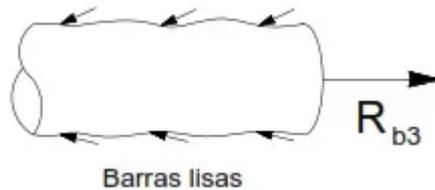


Fonte: Fusco (2000).

A aderência mecânica do material é aquela proporcionada pela rugosidade da superfície de contato da barra de aço. Nesse sentido, as irregularidades de sua forma servem como pontos

de apoio no concreto, gerando resistência ao deslizamento relativo entre os materiais (FUSCO, 2000). O fenômeno é observado tanto em barras lisas (FIGURA 4), quanto em barras nervuradas (FIGURA 5), nas quais as superfícies de contato são mais acentuadas.

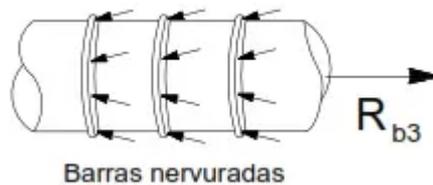
Figura 4 - Aderência mecânica em barras lisas.



Barras lisas

Fonte: Fusco (2000).

Figura 5 - Aderência mecânica em barras nervuradas.



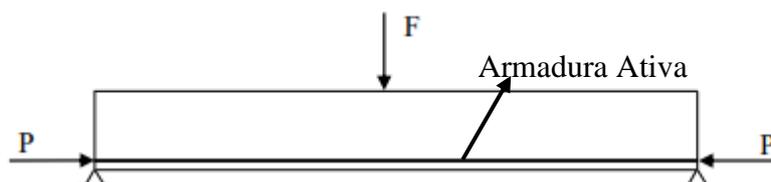
Barras nervuradas

Fonte: Fusco (2000).

### 3.2 Concreto protendido

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), são considerados protendidos quaisquer elementos expostos à ação direta ou indireta de esforço de protensão. Nesse sentido, o concreto protendido é um material estrutural que durante seu processo de construção incorpora cabos de aço (cordoalhas), que através de seu estiramento, são responsáveis por gerar forças de compressão na peça. Desse modo, quando solicitada por esforços reais, as tensões de tração são consideravelmente diminuídas e, em alguns casos, completamente eliminadas (FIGURA 6). De acordo com a redução das tensões de tração atuantes na peça, a protensão pode ser definida como parcial ou completa.

Figura 6 - Elemento submetido a força de protensão.



Fonte: Bastos (2021)

Para Bastos (2021), a protensão completa é caracterizada por tensão nula na base do elemento estrutural, as quais são completamente eliminadas durante o processo de compressão prévia. Nesta situação, o elemento está isento de fissuração.

A protensão parcial configura um estágio intermediário entre o concreto armado e o concreto protendido com compressão completa (BASTOS, 2021). Nesse sentido, as tensões de tração na base da peça são significativamente reduzidas, proporcionando uma fissuração controlada.

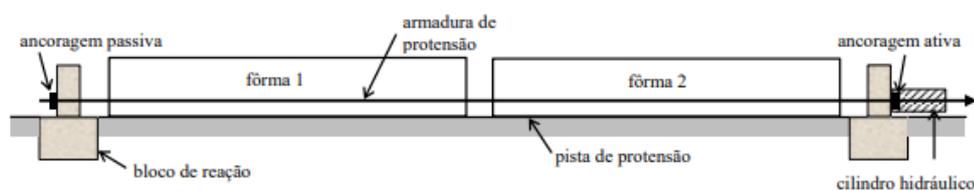
### 3.2.1 Sistemas de protensão

A protensão propriamente dita pode ser realizada em diferentes momentos do processo construtivo. Segundo Bastos (2021), quando o tracionamento das cordoalhas é realizado antes do lançamento do concreto, tem-se a pré-tensão e, após o endurecimento do concreto, tem-se a pós-tensão.

A pré-tensão ou protensão com aderência inicial é, normalmente, utilizada para elementos pré-moldados, em função das peculiaridades e maquinário específico necessário à seu processo construtivo. Tal procedimento é realizado em fábricas, com pistas de protensão longas e planas. Além disso, é essencial a presença de equipamentos como estruturas para a ancoragem das cordoalhas e cilindro hidráulico.

Inicialmente, as armaduras de protensão são posicionadas e devidamente fixadas nas extremidades da pista, nas bases de ancoragem (FIGURA 7). Posteriormente, é realizado o estiramento da cordoalha, mediante utilização do cilindro hidráulico (FIGURA 7). É válido destacar que o estiramento da cordoalha ocorre em apenas uma das extremidades, definida como ancoragem ativa, enquanto a extremidade onde a cordoalha se encontra apenas apoiada é definida como ancoragem passiva (FIGURA 7). Também é importante destacar que a tensão de estiramento aplicada deve ser sempre inferior à tensão limite do regime elástico do aço em questão (BASTOS, 2021).

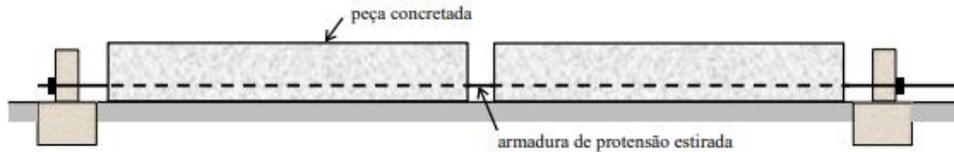
Figura 7 - Ancoragem e estiramento das cordoalhas.



Fonte: Bastos (2021)

Após fixação e estiramento dos fios, o concreto é lançado sobre as armaduras de protensão, envolvendo-as completamente (FIGURA 8).

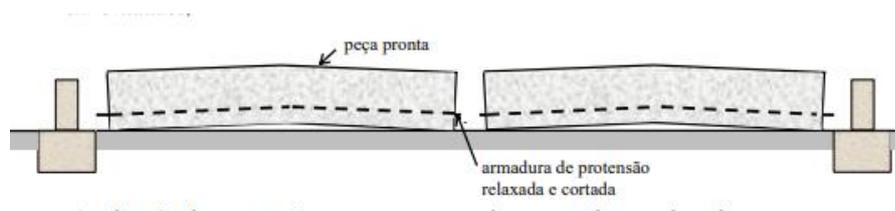
Figura 8 - Lançamento do concreto sobre as armaduras de protensão.



Fonte: Bastos (2021).

Com o concreto devidamente endurecido, ocorre o relaxamento do aço de protensão (FIGURA 9), através da liberação de suas extremidades. Como as tensões aplicadas caracterizam regime elástico, tem-se como tendência para os fios, o retorno a sua configuração inicial. Entretanto, a presença de concreto endurecido na seção transversal do elemento impossibilita a retração elástica do aço, promovendo uma força de compressão ao longo de seu comprimento. Como a força de protensão é transferida para o concreto devido à aderência entre os materiais, tem-se a pré tensão com aderência inicial (BASTOS, 2021).

Figura 9 - Relaxamento das cordoalhas.



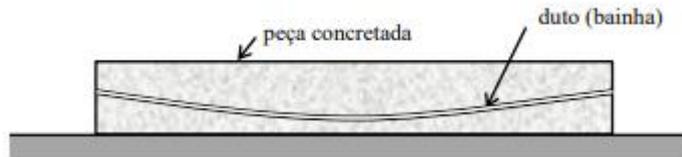
Fonte: Bastos (2021).

.A pós-tensão ou protensão com aderência posterior é caracterizada pelo estiramento das cordoalhas após o concreto adquirir resistência suficiente para resistir às tensões de compressão advindas da protensão, com a armadura ancorada nas extremidades do próprio concreto (BASTOS, 2021).

Durante o processo construtivo, ao longo do comprimento do elemento estrutural, são dispostos tubos metálicos corrugados, conhecidos como dutos ou bainhas (FIGURA 10). Com os tubos devidamente alocados, ocorre o lançamento do concreto, e posteriormente, é

aguardado o tempo necessário para que o concreto atinja a resistência mínima desejada (BASTOS, 2021).

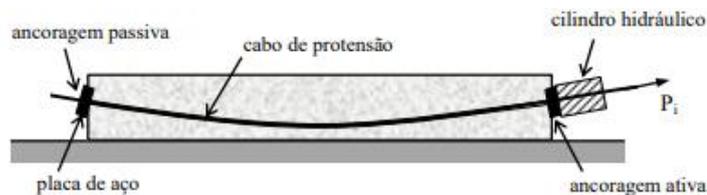
Figura 10 - Moldagem e cura do concreto.



Fonte: Bastos (2021).

Feito isso, as armaduras de protensão são colocadas no interior dos tubos metálicos, e fixadas nas extremidades da peça (FIGURA 11). Neste caso, os dispositivos de ancoragem nas extremidades das peças são as placas de aço com furos cônicos, onde serão inseridas as cunhas, responsáveis pela fixação das cordoalhas (FIGURA 11). Analogamente à pré-tensão, ocorre o estiramento dos fios apenas em uma das extremidades, denominada ancoragem ativa (BASTOS, 2021).

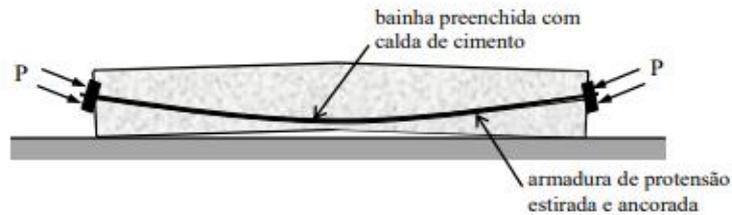
Figura 11- Estiramento e ancoragem da armadura de protensão.



Fonte: Bastos (2021).

Com a finalização do tracionamento das cordoalhas, os fios são relaxados e, novamente, são produzidas forças de protensão devido ao comportamento elástico da armadura, tendendo à sua deformação inicial. Dessa forma, as forças de compressão geradas ocorrem de forma concentrada, através das placas de aço inseridas nas superfícies externas da peça (FIGURA 12). Por fim, as bainhas são preenchidas com calda de cimento, a fim de proporcionar aderência com o concreto da peça e proteção das armaduras (FIGURA 12). Em casos específicos, onde não ocorre injeção de calda de cimento no interior das bainhas, o processo é denominado pós-tensão sem aderência (BASTOS, 2021).

Figura 12 - Surgimento da força de protensão e preenchimento da bainha.



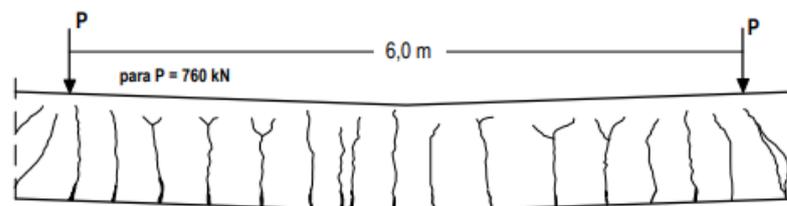
Fonte: Bastos (2021).

Para Veríssimo (1998), o dilema na escolha de protensão com ou sem aderência se deve às particularidades encontradas em cada sistema. Nesse sentido, são observadas experimentalmente vantagens e desvantagens de ambos os sistemas.

Segundo Veríssimo (1998), no sistema de protensão com aderência, o aço responsável pela força de protensão também atua como armadura convencional, em virtude da aderência entre o cabo e o concreto, exercendo papel importante no controle da fissuração.

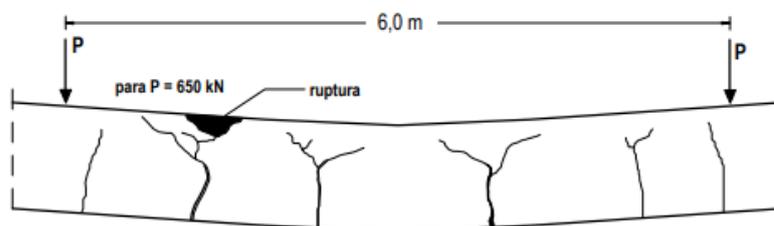
Quando comparados os comportamentos de ambos os sistemas com a seção totalmente comprimida, o resultado é semelhante. Entretanto, quando analisado um aumento substancial do carregamento transversal, observam-se diferenças. Nessa ótica, com a formação de fissuras na superfície da peça, nos sistemas com aderência, ocorrem grandes deformações localizadas dos cabos, nos entornos da fissura. No que diz respeito ao sistema sem aderência, o valor absoluto de abertura de uma fissura é diluído em um comprimento longo do cabo, e conseqüentemente, produz deformações pequenas. Desse modo, em sistemas com aderência observa-se a formação de fissuras com aberturas ínfimas (FIGURA 13), enquanto no sistema sem aderência, ocorre a formação de fissuras com aberturas relativamente maiores (FIGURA 14) (VERÍSSIMO, 1998).

Figura 13 - Viga protendida com aderência.



Fonte : Veríssimo (1998).

Figura 14 - Viga Protendida sem aderência.



Fonte: Veríssimo (1998).

Dito isso, compreende-se a utilização de sistema protendido sem aderência em situações específicas, onde a fissuração tenha importância secundária. De acordo com a NBR 7197 (ABNT, 2004), é especificada a utilização de protensão sem aderência em casos especiais, e sempre, com protensão completa.

### 3.3 Critério de projeto

A NBR 6118 (ABNT, 2023) é uma norma brasileira, cujo objetivo principal é estabelecer diretrizes e critérios sobre projetos em concreto armado, estipulando valores de referência para garantir a durabilidade e a segurança.

Segundo Angelo (2004), a durabilidade está associada à característica de um elemento de preservar suas propriedades físico-químicas durante um período de tempo pré estabelecido, enquanto a vida útil de uma estrutura está relacionada ao período efetivo, no qual os elementos estruturais de uma edificação atendem os requisitos de projeto, sem ação extraordinária de reparo ou manutenção (MARQUES, 2016). Nesse sentido a NBR 6118 (ABNT, 2023), estabelece parâmetros acerca das condições ambientais, para garantir a vida útil da edificação.

#### 3.3.1 Classe de agressividade

De acordo com o tipo de ambiente no qual se localiza a edificação, o risco associado à deterioração é elevado ou insignificante, em função de altas ou baixas concentrações de agentes patológicos como gases e cloretos (MARQUES, 2016).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), a classe de agressividade ambiental refere-se ao dano potencial causado pelo ambiente em detrimento a durabilidade de uma estrutura. Nos projetos de estruturas, a agressividade ambiental (QUADRO 1) deve ser classificada da seguinte forma:

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

### 3.3.1 Qualidade do concreto

Para Marques (2016), a durabilidade está intrinsecamente ligada à qualidade de produção do concreto. Em casos adversos, é recorrente o aparecimento de problemas prematuros nas faces das edificações envolvidas.

O primeiro parâmetro a ser definido durante a dosagem do concreto é o teor água/cimento, principal parâmetro com relação à resistência e à durabilidade do composto (BORGES E CARREIRO, 2017). Definido pela razão entre o peso das partículas de água e a quantidade de cimento estabelecida no traço da mistura, a resistência do concreto de cobrimento é inversamente proporcional à relação água/cimento.

Para tal relação, são estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023) os valores de referência entre a qualidade do concreto e a classe de agressividade ambiental (TABELA 1).

Tabela 1 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

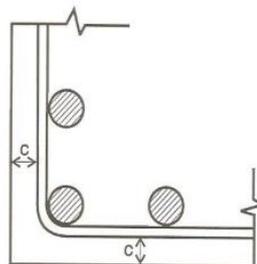
Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Ainda no que diz respeito à qualidade do concreto, a espessura de cobrimento das armaduras tem papel fundamental na proteção das armaduras passivas da estrutura (WEBBER, 2014). Por definição, o cobrimento nada mais é que a espessura entre a armadura e a superfície externa do concreto. Para Webber (2014), a barreira formada atua contra mecanismos de diferentes naturezas, sejam elas físicas, químicas ou mecânicas. Nesse sentido, a armadura está constantemente isolada de choques mecânicos e contra ação de agentes corrosivos, fatores que poderiam acarretar das consequências mais leves às de magnitude imensurável, como danos estéticos e o colapso da estrutura, respectivamente. Dessa forma, a boa capacidade de resistência do concreto contra a permeabilidade e a espessura de cobrimento (FIGURA 15) atuam simultaneamente, garantindo o isolamento das barras de aço.

Figura 15 - Espessura de cobrimento.



Fonte: Fusco (2000).

Nesse contexto, a NBR 6118 (ABNT, 2023) estabelece os parâmetros mínimos de cobrimento necessários para garantir a funcionalidade da camada de cobrimento, de acordo com o local onde a edificação está inserida (TABELA 2).

Tabela 2 - Correspondência entre espessura de cobrimento e classe de agressividade ambiental.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

### 3.3.2 Resistência à compressão

A resistência de um material está associada à capacidade de se manter intacto quando submetido a tensão (SANTOS, 2016). Nesse sentido, é fundamental a compreensão das propriedades mecânicas do concreto endurecido, que lhe concedem resistência aos esforços de compressão.

Para determinação da resistência à compressão do concreto, é recorrente a utilização de ensaios capazes de estimar, com precisão, a resistência à compressão característica do concreto.

O ensaio de compressão centrada caracteriza-se pela coleta de amostras de concreto fresco durante o período da concretagem (CORRÊIA E SOUZA, 2014). De acordo com as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), os corpos de prova coletados ao final de 28 dias são submetidos a um aumento gradual de tensão, com velocidade de carregamento compreendidas entre 0,3 MPa/s à 0,8 MPa/s. É importante que os eixos de centro da máquina de compressão e dos corpos de prova coincidam, com tolerância de, no máximo, 1% de seu diâmetro nominal. A carga de ensaio deve ser aplicada continuamente, até que o corpo de prova atinja seu limite de ruptura. A resistência à compressão é obtida através da razão entre a carga de ruptura e a área da seção do corpo de prova.

O processo deve ser realizado mais de uma vez, visto que corpos de prova, mesmo quando retirados de uma amostra de concreto com o mesmo traço, estão sujeitos a valores de

resistência diferentes (SANTOS, 2016). Desse modo, com diferentes amostras, é possível obter a resistência à compressão média do concreto. Assim, através do valor médio associado ao desvio padrão obtido entre as amostras, têm-se o que denominamos como resistência característica do concreto (TABELA 3).

Tabela 3 - Correspondência entre classe do concreto e classe de agressividade.

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Os concretos destinados a fins estruturais são classificados em 2 grupos, de acordo com os valores de resistência à compressão característica obtidos no ensaio (TABELA 4). Vale ressaltar que concretos com resistência inferior a 20 MPa, de forma geral, não são utilizados para fins estruturais. Em caso adverso, sua funcionalidade deve atender às recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2023) e NBR 12655 (ABNT, 2022).

Tabela 4 - Classes de resistência concretos estruturais.

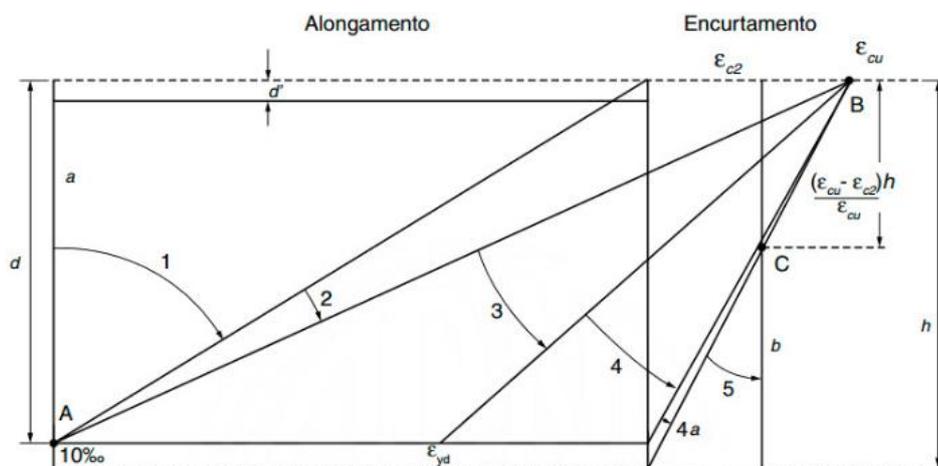
Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 5738 (ABNT, 2015).

### 3.3.3 Domínios de deformação

Quando submetidos a esforços mecânicos, os materiais tendem a se deformar, de acordo com a natureza da solicitação. A ruptura de um elemento estrutural é caracterizada quando os valores de deformação específica dos materiais atingem seus valores últimos definidos por referências normativas (KOCHEM, 2015). Partindo desta premissa, as diferentes faixas e estágios em que os materiais se deformam são chamados de domínios de deformação (MELO, 2015). Nesse sentido, cada faixa representa as propriedades mecânicas dos materiais, de acordo com a natureza do esforço. Assim, tratando-se do concreto armado, cada área representada pelo diagrama estabelece valores de porcentagem para o encurtamento por compressão do concreto e alongamento por tração do aço (MELO, 2015). Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), a representação correspondente aos domínios de deformação do concreto armado é apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Domínios de deformação no ELU de uma peça de concreto armado sob tensões normais.



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

No diagrama, são identificados parâmetros como posição da linha neutra, e os valores de referência para deformação do concreto e do aço.

### 3.3.4 Dimensionamento

De forma geral, podemos subdividir os elementos estruturais de uma edificação em vigas, lajes, pilares e elementos de fundações. As vigas e as lajes são caracterizadas, na maioria das vezes, por elementos estruturais submetidos à flexão simples. Em contrapartida, os pilares

são elementos estruturais conhecidos por estarem sujeitos à carregamentos gravitacionais, e consequentemente, estão submetidos à compressão total ou a flexão composta reta ou oblíqua (FONSECA, 2015).

De acordo com Fonseca (2015), é necessário que todos os esforços, de qualquer natureza, que produzam efeitos significativos no que diz respeito à segurança da edificação sejam contabilizados. Desse modo, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), as ações atuantes em uma estrutura podem ser classificadas como permanentes, variáveis e excepcionais.

Nesse sentido, cada ação tem parcela de colaboração nos parâmetros referentes à vida útil da edificação. Para análise mais detalhada, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), tais parâmetros devem ser observados em dois cenários possíveis, definidos como Estados Limites de Serviço (ELS) e Estados Limites Último (ELU).

Segundo Barfknecht (2020), o estado limite de serviço pode ser definido como a observação dos parâmetros relacionados à análise perceptiva e sensorial da edificação. Dessa forma, o controle dos deslocamentos da estrutura e da fissuração serão abordadas neste tópico. Para análise mais detalhada, a NBR 6118 (ABNT, 2023) subdivide o ELS em 7 estágios, sendo eles, o estado limite de formação de fissuras, de abertura de fissuras, de deformação excessiva, de descompressão, de descompressão parcial, de compressão excessiva e de vibrações excessivas. De acordo com Bastos (2021), o estado limite de formação de fissuras corresponde ao estágio no qual a tração máxima imposta à peça seja igual a resistência à tração do concreto na flexão. Consequentemente, tem-se o início da formação de fissuras.

O estado limite de abertura de fissuras caracteriza-se pelo estágio onde os valores de abertura da fissura encontram-se em seu limite, estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023) (BASTOS, 2021), indicados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores máximos de abertura de fissura.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	—
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D <sup>1)</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>1)</sup>	Combinação freqüente

<sup>1)</sup> A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com  $a_f = 25$  mm (figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023)

Analogamente, o estado limite de deformação excessiva está relacionado aos valores máximos de deslocamentos estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023), com relação às flechas, tanto de vigas quanto de lajes, indicados na Tabela 5 (BASTOS, 2021).

Tabela 5 - Deslocamentos máximos permitidos.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350 + \text{contraflecha}^b$
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ( $\psi_1 = 0,30$ )	$H/1700$ e $H/850^e$ entre pavimentos <sup>f</sup>
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^g$ e 15 mm

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Segundo Veríssimo (1998), o estado limite de descompressão refere-se ao estado no qual a tração é nula, em um ou mais pontos da seção transversal. Este tipo de verificação é usual em estruturas de concreto protendido.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), o estado limite de descompressão parcial é definido pelo estado no qual garante-se a compressão na seção transversal, onde existam armaduras ativas.

Sob mesma ótica, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), o estado limite de compressão excessiva representa o estado onde as tensões de compressão atingem o limite convencional estabelecido.

Por fim, analogamente ao descrito anteriormente, o estado limite de vibrações excessivas refere-se aos valores limites de flecha estabelecidos para o controle de vibrações, para utilização normal da construção.

Com o objetivo de compatibilizar os esforços atuantes em uma estrutura, é realizado o procedimento de combinação de ações, que representa a probabilidade de diferentes carregamentos atuarem simultaneamente, com intensidade considerável, em um elemento. Desse modo, para efeitos de cálculo, é utilizado o cenário mais desfavorável possível, com o objetivo de garantir os requisitos estabelecidos em norma. Tratando-se do ELS, serão utilizadas nos cálculos as combinações de serviços, especificadas no Quadro 3 de acordo com a natureza dos esforços:

Quadro 3 - Combinações de serviço.

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gk} + \Sigma \psi_2 F_{qk}$
Combinações freqüentes de serviço (CF)	Nas combinações freqüentes de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor freqüente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gk} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_2 F_{qk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor característico $F_{q1k}$ e todas as demais ações são tomadas com seus valores freqüentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gk} + F_{q1k} + \Sigma \psi_1 F_{qk}$
Onde: $F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço; $F_{q1k}$ é o valor característico das ações variáveis principais diretas; $\psi_1$ é o fator de redução de combinação freqüente para ELS; $\psi_2$ é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.		

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Segundo Barfknecht (2020), o estado limite último (ELU) representa a condição crítica em que o sistema estrutural atinge seu limite de resistência mediante aos esforços impostos, causando falhas locais ou, em casos extremos, o colapso global da estrutura.

Nessa ótica, as ações são classificadas como normais, especiais e excepcionais. As combinações adotadas são as combinações últimas normais, especiais ou de construção e excepcionais. Dito isso, a NBR 6118 (ABNT, 2023) fornece as seguintes regulamentações, indicadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Combinações últimas.

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado <sup>1)</sup>	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eg} F_{egk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{oj} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{oe} F_{eqk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores $P_{kmax}$ e $P_{kmin}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,min}$ , onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{oj} Q_{jk}$
Especiais ou de construção <sup>2)</sup>	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eg} F_{egk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{oj} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{oe} F_{eqk}$	
Excepcionais <sup>2)</sup>	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eg} F_{egk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \psi_{oj} F_{qjk} + \gamma_{eq} \psi_{oe} F_{eqk}$	

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

No tocante à análise e cálculo estrutural, as ações atuantes devem ser devidamente majoradas, de acordo com a natureza e particularidade do carregamento, como mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Coeficientes de ponderação de cargas.

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 <sup>1)</sup>	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0
Onde: D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura. <sup>1)</sup> Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.								

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Do mesmo modo, segue na Tabela 7, os coeficientes de ponderação utilizados para as ações variáveis.

Tabela 7 - Coeficientes de ponderação para ações variáveis.

Ações		$\gamma_{\alpha}$		
		$\psi_0$	$\psi_1$ <sup>1)</sup>	$\psi_2$
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>2)</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas <sup>3)</sup>	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
<sup>1)</sup> Para os valores de $\psi_1$ relativos às pontes e principalmente aos problemas de fadiga, ver seção 23. <sup>2)</sup> Edifícios residenciais. <sup>3)</sup> Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.				

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Com os carregamentos combinados e majorados, é possível, através da análise específica de cada elemento estrutural, determinar os esforços atuantes na estrutura. Desse modo, é possível calcular as quantidades de aço necessárias para suprir as demandas impostas, através da utilização das equações básicas de dimensionamento de estruturas de concreto armado e protendido.

### 3.4 Patologias

O termo patologia tem como definição o estudo de enfermidades, suas causas, mecanismos e as consequências produzidas nos seres humanos. Analogamente, o termo patologia, na construção civil, é utilizado comumente quando nos referimos à ciência que estuda os sintomas e as anomalias nas edificações (TRINDADE, 2015). Dito isso, é observado que as patologias da construção civil podem levar as estruturas a diferentes cenários, de acordo com sua magnitude.

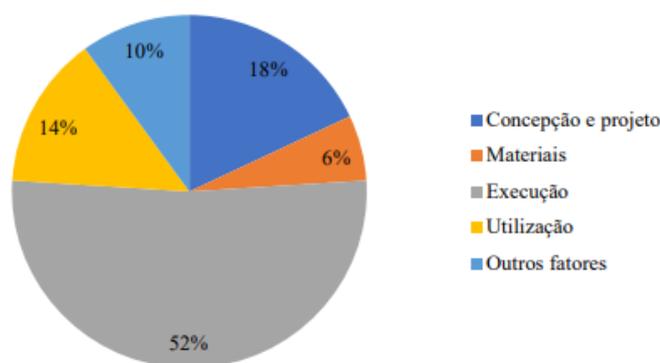
Nesse viés, as patologias da construção são responsáveis diretas por diminuir a vida útil e durabilidade das edificações, seja através de danos superficiais e estéticos, como manchas e infiltrações, ou de danos severos, que podem levar ao colapso global da estrutura.

Segundo Trindade (2015), em casos extremos, na maioria das vezes os grandes prejuízos não acontecem devido à ação individual de cada patologia, mas sim pela superposição de efeitos causada pela ausência de manutenção de pequenos problemas.

Em meta-análise realizada por Palermo (1993), foram observadas as principais causas de patologias na construção civil, sendo elas: 52% devido a falhas na execução; 24% devido a falhas durante a utilização; 18% relacionada à erros de projeto; e 6% relacionada à deficiência em propriedades dos materiais.

Analogamente, para Ripper (2002), as principais causas de patologias na construção civil podem ser identificadas na Figura 17.

Figura 17 - Principais causas de patologias na construção civil.



Fonte: Adaptado de Ripper (2002), apud Otoni (2021).

As patologias da construção civil, em especial nas estruturas de concreto armado, podem ser, corretamente subdivididas, de acordo com o momento de seu surgimento na edificação. Desse modo, para estudo mais detalhado, as patologias foram classificadas em manifestações patológicas de concepção, execução e utilização (TRINDADE, 2015).

### 3.4.1 Manifestações patológicas de concepção

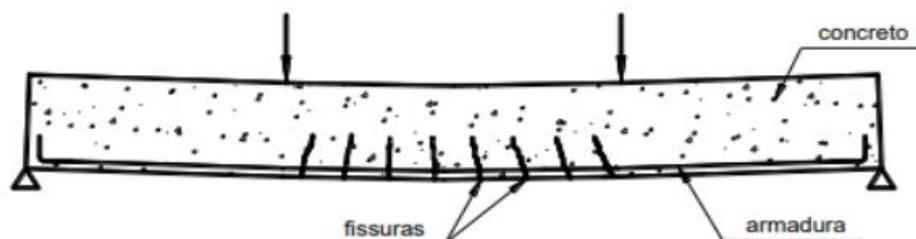
A fase de concepção de uma obra refere-se, basicamente, às etapas relacionadas ao planejamento e estudos de viabilidade da construção. Nesse sentido, serão avaliados parâmetros como localização, solo, condições ambientais e riscos potenciais a que estão sujeitas a edificação.

Portanto, é nessa etapa onde serão estudados e escolhidos os insumos de acordo com as peculiaridades referentes a cada obra e, por sua vez, através de suas características específicas, irão garantir os parâmetros de segurança e durabilidade estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023).

Segundo Neves e Mendes (2020), a complexidade do problema gerado é proporcional à velocidade com que essa falha é identificada. Nessa ótica, falhas na fase de concepção são, em geral, as mais complexas de serem solucionadas. Dito isso, pode-se observar que as patologias advindas desta fase de construção estão recorrentemente associadas a escolhas dos materiais e erros de projeto, que na maioria das vezes, estão intimamente ligadas aos parâmetros de serviço anteriormente citados. Assim, como exemplo, podemos citar o surgimento de trincas e fissuras nos elementos estruturais, em decorrência de erros no dimensionamento, sobrecargas não previstas e **pela retração do concreto.**

As patologias associadas ao cálculo estrutural têm, em alguns casos, como consequência um elemento sub-armado (GONÇALVES, 2015). Desse modo, ocorre o surgimento das fissuras devido à flexão (FIGURA 18), visto que os elementos não estão adequadamente preparados para suportar os momentos solicitantes atuantes.

Figura 18 - Fissuração por sobrecarga em elementos sub-armados



Fonte: Bastos (2019), apud Seixas e Felício (2020).

### 3.4.2 Manifestações patológicas de execução

A fase de execução de uma obra pode ser definida como a materialização da fase de concepção e de projeto. É nesta etapa onde a obra é efetivamente construída e assume seu papel físico. Segundo Trindade (2015), a manutenção do planejamento e organização nesta etapa da obra estão diretamente ligadas à minimização de riscos e eventuais problemas.

Neste estágio da obra, grande parte das anomalias recorrentes estão associadas à qualidade da mão de obra e dos materiais utilizados na execução. Por conseguinte, é de competência técnica da equipe garantir a excelência no controle de qualidade durante a concretagem, em procedimentos que necessitem prumo e alinhamento e execução das armaduras.

O controle de qualidade durante a concretagem é essencial a fim de garantir que o concreto atinja os parâmetros de resistência e durabilidade especificados na fase projeto. Nesse viés, o adensamento do concreto durante a concretagem de elementos estruturais e o primor no processo de cura constituem medidas necessárias ao controle de qualidade realizado no canteiro de obras.

O adensamento do concreto tem como função básica eliminar a quantidade de vazios na mistura. Segundo Gonçalves (2015), um concreto mal adensado é um concreto altamente poroso, e conseqüentemente, com pouca resistência e durabilidade. Um problema constantemente identificado em virtude do excesso de adensamento do concreto é a segregação, processo no qual é possível identificar o excesso de vazios entre as partículas de agregado graúdo (FIGURA 19). Outro fator afetado pelo adensamento inadequado, é a diminuição da aderência entre as barras de aço e o concreto.

Figura 19 - Segregação do concreto.



Fonte:Tecnosilbr (2022).

De acordo com Gonçalves (2015), a cura tem como objetivo primário impedir a evaporação da água da mistura, mantendo um teor de umidade satisfatório durante o processo. Além disso, outro parâmetro importante que deve ser observado é a temperatura do concreto fresco, durante o período de hidratação. Tal procedimento é realizado com o intuito de minimizar os efeitos da retração plástica do concreto, que ocorre devido ao processo de exsudação. Para Mehta e Monteiro (2008), a exsudação consiste na elevação da água de amassamento da mistura para a superfície do concreto. Com a água retida na superfície e sob ação da evaporação, o concreto perde volume através da perda de água, aumentando a fissuração nas camadas superficiais da mistura (FIGURA 20).

Figura 20 - Retração plástica do concreto.



Fonte: Tecnosilbr (2022).

### 3.4.3 Manifestações patológicas de utilização

Finalizadas as etapas de concepção e execução, a estrutura encontra-se preparada para cumprir sua função de ocupação. Nesta etapa, os distúrbios encontrados são, em sumo, causados pela ausência de manutenção ou negligência. Para Trindade (2015), o uso da estrutura deve ser feito de modo semelhante à um equipamento, respeitando as indicações técnicas e manutenções previstas. Segundo Santos (2022), as diversas manutenções nas estruturas podem ser classificadas como preventivas, rotineiras e corretivas.

Conceitua-se por manutenção preventiva aquelas previamente prescritas, com o objetivo de manter os instrumentos em questão em condições satisfatórias de funcionamento, minimizando impactos de diferentes naturezas (SANTOS, 2022).

Já a manutenção rotineira é executada pelo proprietário ou locatário da edificação durante sua utilização. Os cuidados diários com o equipamento são fundamentais no tocante à otimização do desempenho da estrutura (SANTOS, 2022).

Por fim, a manutenção corretiva deve ser efetuada em situações específicas, posteriores à identificação de falhas. Estas falhas, podem ser ocasionadas em virtude da ausência das manutenções de caráter prévio ou em casos de degradação por agentes da natureza (SANTOS, 2022).

É importante ressaltar que nenhuma edificação está completamente isenta do processo de deterioração, inclusive as frequentemente fiscalizadas. Nesse sentido, como manifestações patológicas de utilização, é possível citar as anomalias advindas de falhas no sistema de impermeabilização das estruturas e as deficiências ocasionadas por influências de fatores térmicos, climáticos, químicos e mecânicos.

#### **3.4.4 Tratamento de patologias**

Uma vez diagnosticado o problema, existem diversos métodos de reabilitação de estruturas, de acordo com o tipo de patologia identificada. Segundo Helene (1992, apud SENA, 2014), as medidas terapêuticas utilizadas podem incluir tanto reparos localizados, quanto reparos globais na estrutura. Dessa maneira, assim como durante o dimensionamento da edificação, é de extrema importância a avaliação de um profissional especialista, visto que os serviços de recuperação e reforço estrutural estão vinculados à elaboração de cálculos estruturais específicos de cada caso, promovendo alteração na funcionalidade da estrutura. Sob essa ótica, pode-se definir os equipamentos e técnicas adequadas para cada serviço (MOURA, 2013 ).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Local do estudo

A edificação estudada encontra-se localizada no Parque Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), que é uma iniciativa que visa promover a universidade, a pesquisa científica, a tecnologia e o setor empresarial.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil, concebeu o parque tecnológico como um ambiente propício para inovação, pesquisa aplicada e transferência de tecnologia. Os parques tem como objetivo criar um ecossistema que facilite o processo de interação entre universidades, centros de pesquisa, *startups* e empresas estabelecidas, e promova a pesquisa e o desenvolvimento. A obra teve sua estrutura finalizada em 2018. No entanto, a inauguração oficial aconteceu no ano de 2020.

Figura 21 - Parque Tecnológico de Lavras (LAVRASTEC).



Fonte: Lavrastec.ufla.br (2024).

### 4.2 Caracterização do local

O LAVRASTEC dispõe de uma área total de 78.805,30 m<sup>2</sup>. Com estrutura de grande porte, o Parque Científico e Tecnológico de Lavras tem, como composição de sua infraestrutura física, praça destinada à livre circulação de pessoas pelos setores do parque, além dos prédios destinados às empresas e *startups*. Nesse sentido, como acesso à praça, tem-se pela extremidade da esquerda a rampa e pela direita a passarela do parque.

Com o objetivo de estudar as hipotéticas causas das patologias encontradas no parque, este trabalho propõe aprofundar-se nas manifestações patológicas identificadas exclusivamente

na rampa de acesso do LAVRASTEC. Tendo em vista a pouca idade da edificação, foram assumidas como principais hipóteses as patologias de concepção e de execução. A estrutura da rampa (FIGURA 22) é composta basicamente por pilares circulares de concreto armado e vigas, majoritariamente, de concreto protendido, com protensão não aderente.

Figura 22 - Rampa do LavrasTec



Fonte: do autor (2024).

Em sua estrutura interna, podemos identificar os pilares circulares, com dimensão padronizada de 80cm de diâmetro, ilustrados na Figura 23.

Figura 23 - Estrutura interna da rampa e dos pilares.



Fonte: do autor (2024).

As vigas da estrutura tem dimensão variável, de acordo com a solicitação em cada ponto específico. No entanto, as vigas são identificadas como principais (sentido longitudinal) e complementares (sentido transversal), representadas na Figura 24.

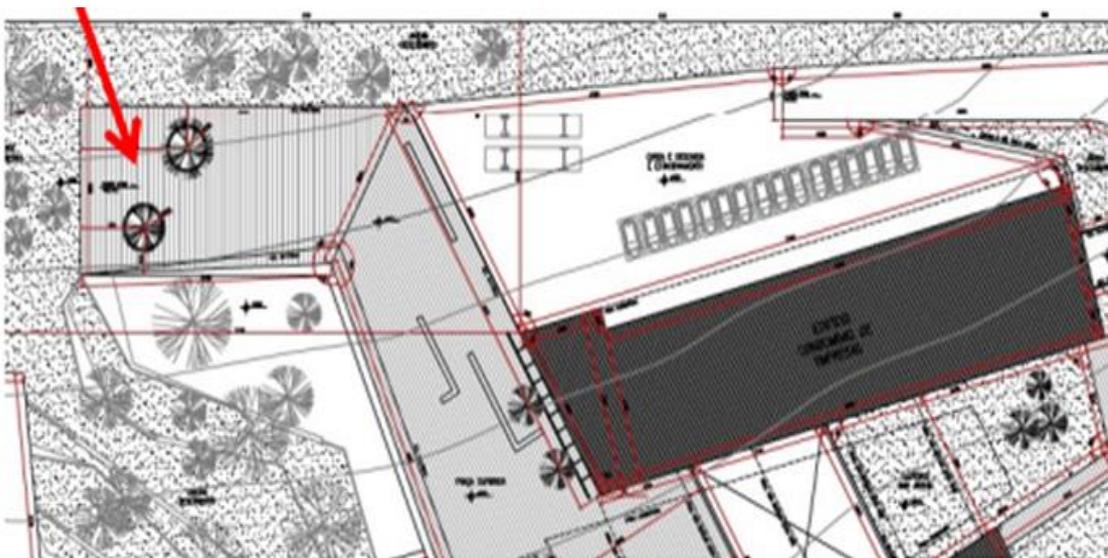
Figura 24 - Estrutura interna da rampa e das vigas.



Fonte: do autor (2024).

A delimitação do objeto de estudo deste trabalho é identificado através da imagem representada pela figura 25.

Figura 25 - Identificação da rampa do parque.

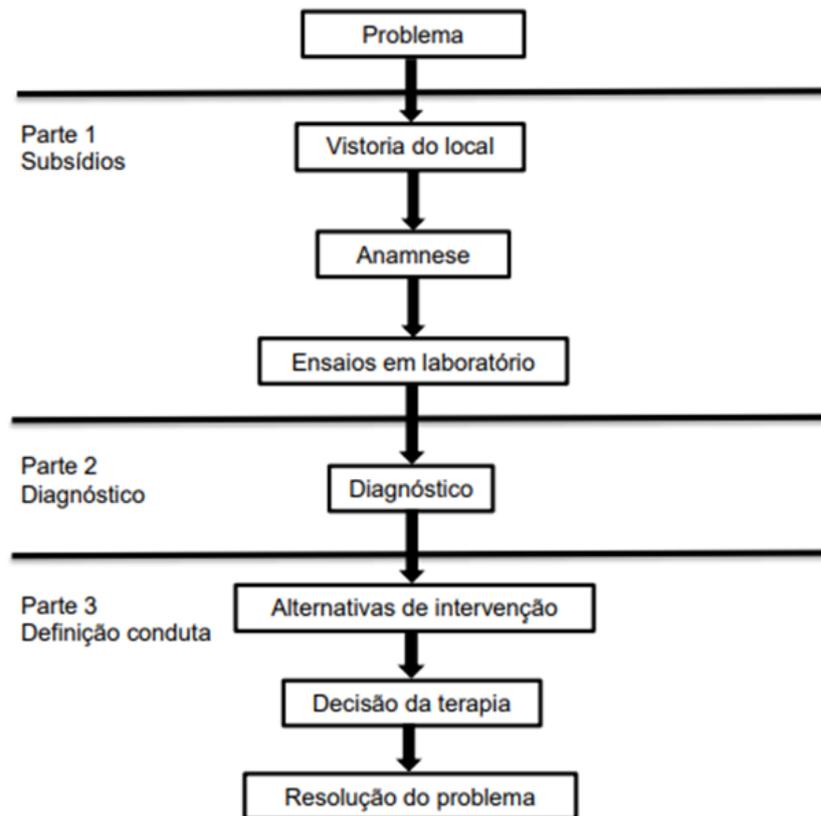


Fonte: do autor (2024).

### 4.3 Metodologia

Com o objetivo de fornecer diagnóstico detalhado dos problemas encontrados no local de estudo, adotou-se como roteiro de investigação a abordagem proposta por Lichtenstein (1985) (FIGURA 26).

Figura 26 - Fluxograma para análises patológicas.



Fonte: Lichtenstein (1985).

Desse modo, através de visitas técnicas realizadas periodicamente no local, foram identificadas as principais manifestações patológicas presentes na edificação e os locais mais afetados, denominados como pontos críticos. A identificação de tais pontos tem como objetivo fornecer um diagnóstico mais preciso e detalhado, tendo como base as condições estruturais a que estão submetidos os pontos críticos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as visitas técnicas e coleta de dados, observou-se que as principais manifestações patológicas presentes na estrutura da rampa de acesso à praça estavam relacionadas ao excesso de trincas e fissuras na superfície dos elementos estruturais, em especial nas vigas protendidas. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), para elementos de concreto armado a tolerância referente a abertura de fissuras é de 0,4mm. Quando tratamos de elementos de concreto protendido a norma é mais rigorosa, e estabelece como limite 0,2mm.

### 5.1 Identificação dos pontos críticos

Assim, através da realização do mapeamento das fissuras no local e com a utilização do paquímetro, foi possível observar que a maior parte das fissuras identificadas respeitavam o limite estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023). Entretanto, em locais específicos, foram registradas fissuras que extrapolavam o limite pré-estabelecido, as quais foram os principais objetos de estudo deste trabalho.

Dentre elas, temos a ilustração da trinca observada na face lateral da viga 101 (FIGURA 27), que se estende até a face inferior da viga em questão, na qual foi registrada a abertura de 2mm de espessura, valor excedente ao limite estabelecido. A trinca se encontra no ponto de apoio entre a viga 107 e a viga 101 (região central da viga 101).

Figura 27 - Fissura viga 101.



Fonte: do autor (2023).

Analogamente à viga 101, foram registrados diversos casos de fissuração na face inferior da viga 107 próximas ao ponto de apoio com a viga 101 (FIGURA 28). Neste caso, existia a presença tanto de fissuras que respeitavam o limite imposto pela norma, quanto fissuras com abertura superior a ele.

Figura 28 - Face inferior da viga 107.



Fonte: do autor (2023).

Ainda na viga 107, foram identificados ao longo de todo comprimento contido entre as vigas 101 e 102, fissuras de pequeno porte que não apresentavam dano iminente. Entretanto, na face inferior da viga 107, no ponto de apoio com a viga 102, foi observado juntamente às menores, fissuras classificadas como problemáticas, em virtude de sua espessura, muito próximas aos valores estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023) (FIGURA 29).

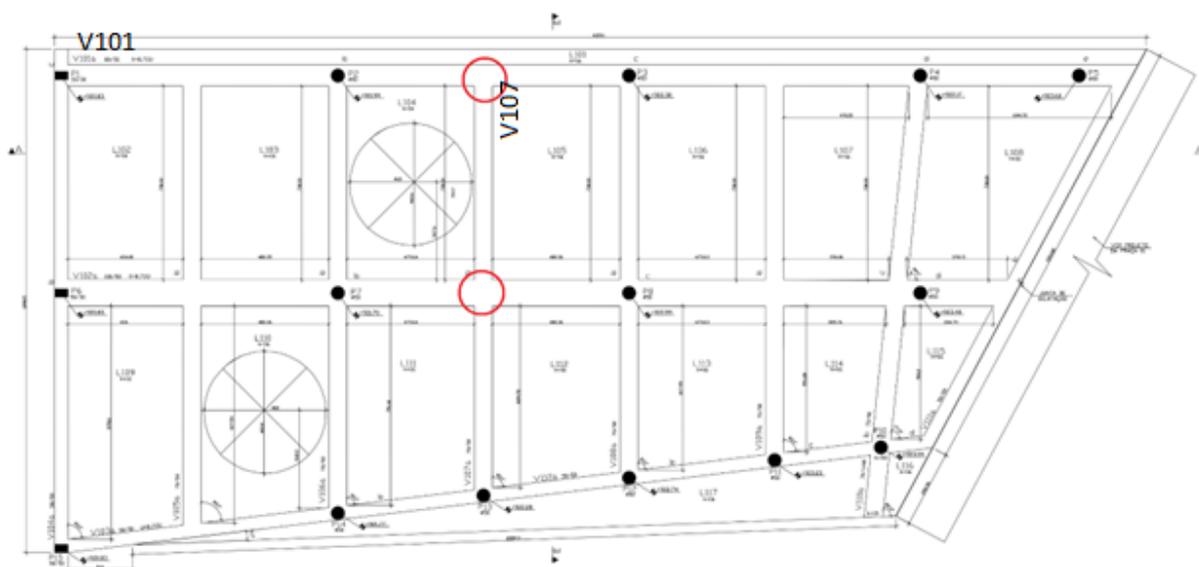
Figura 29 - Viga 107.



Fonte: do autor (2023).

Contudo, embora a maior parte dos elementos estruturais estivessem fissurados, as patologias de maior magnitude e potencialmente problemáticas estavam concentradas principalmente em 2 pontos. Assim, foi identificado que as vigas acometidas pelos casos mais graves de fissuração foram as Vigas 101 e 107, nos pontos identificados na Figura 30.

Figura 30 - Pontos críticos.



Fonte: do autor (2024).

De acordo com a natureza das patologias identificadas, a investigação realizada no local indicava a presença de manifestações patológicas de execução ou de concepção. No primeiro caso, as patologias seriam causas de falhas durante o processo construtivo, relacionadas principalmente ao controle de qualidade dos materiais, tanto do concreto, quanto do aço, no que se refere às armaduras ativas e passivas. No segundo caso, as patologias encontradas estariam relacionadas a sobrecargas não previstas e erros de dimensionamento.

Nessa ótica, em virtude da falta de materiais e evidências para análise do processo construtivo, assumiu-se como hipótese principal do problema as manifestações patológicas de concepção. Desse modo, foram analisados aspectos como compatibilidade entre projeto arquitetônico e estrutural e a concepção da estrutura da rampa, analisando separadamente cada elemento estrutural. Assim, caso as verificações de projeto não apresentassem irregularidades, as patologias encontradas seriam, muito provavelmente, decorrentes de falhas durante o processo construtivo da edificação.

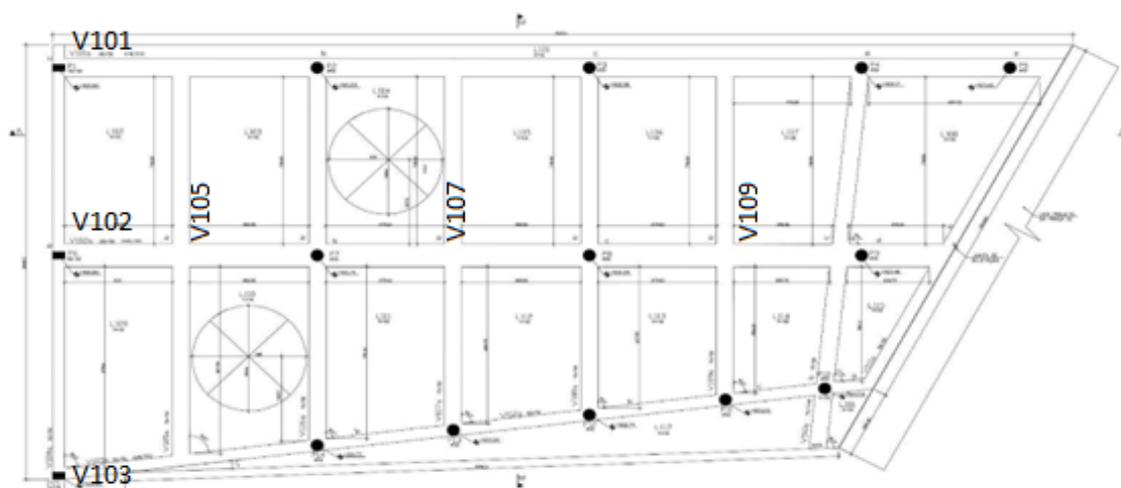
## 5.2 Análise de projetos

Analisando a concepção estrutural da rampa do Parque Científico e Tecnológico de Lavras, podemos observar que os elementos estruturais estão submetidos aos mesmos carregamentos ao longo de seu comprimento, uma vez que não apresentam nenhum carregamento excepcional incidente na superfície da laje da rampa.

Partindo desta premissa e levando em consideração os dois pontos críticos apresentados anteriormente, é possível observar similaridades em ambos os pontos, no que diz respeito à concepção estrutural da rampa.

De acordo com a Figura 31, nota-se que a estrutura é composta, basicamente, por 3 vigas principais (V101, V102 E V103) de maior rigidez dispostas no sentido longitudinal e vigas complementares (V 105, V106, V107, V108, V109) que às interceptam no sentido transversal. No entanto, é importante destacar a disposição construtiva dos pilares ao longo do comprimento da rampa. Nesse sentido, podemos identificar que a viga 103 possui pilares em todos os pontos de intersecção de vigas, enquanto as vigas 101 e 102 possuem pilares mais espaçados, permitindo que as vigas transversais se apoiem sobre elas, em pontos específicos. Assim, é válido observar que em ambos os pontos críticos destacados (intersecção entre a V101 e V107, e V102 e V107), não existe a presença de pilares no encontro das vigas longitudinais e transversais.

Figura 31 - Concepção estrutural da rampa



Fonte: do autor (2024).

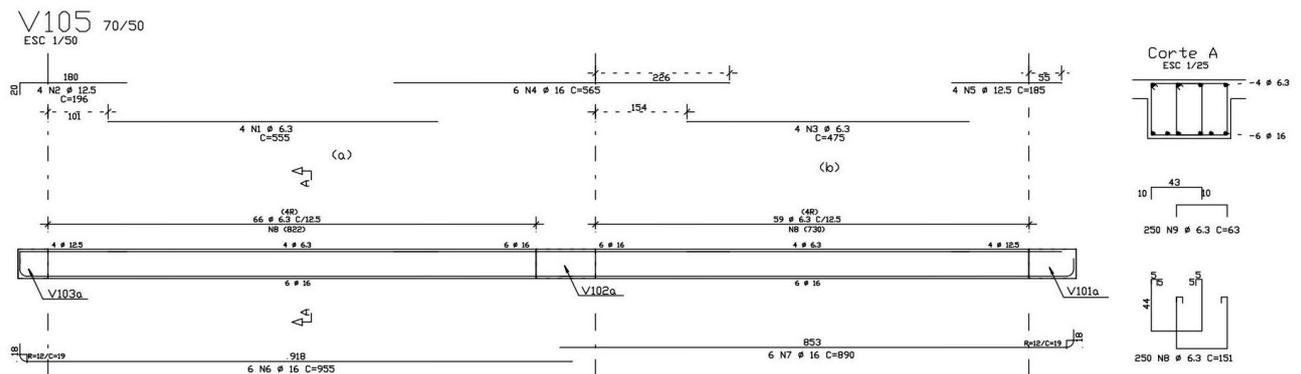
Dito isso, a simples análise da concepção estrutural da rampa não fornece argumentação lógica suficiente que justifique o excesso de patologias nos 2 pontos críticos especificados, uma vez que existem outros locais de intersecção de vigas com ausência de pilar que não foram acometidos pelo mesmo problema. Dessa forma, com intuito de fornecer diagnóstico mais detalhado, foi realizado um comparativo entre os projetos estruturais das vigas mais danificadas e das vigas com concepção semelhantes a elas. Nesse sentido, foram analisados os projetos estruturais das vigas principais 101 (FIGURA 38) e 102 (FIGURA 39) e das vigas complementares 105 (indicadas pelas Figuras 32 e 33), 107 (indicadas pelas Figuras 34 e 35) e 109 (indicadas pelas Figuras 36 e 37).

Tal comparativo tem como objetivo inferir a capacidade de resistência à esforços das vigas em questão, através da área de aço de cada uma, visto que de acordo com os projetos, as mesmas têm solicitações semelhantes.

Inicialmente, foram analisados os projetos referentes às vigas complementares da estrutura.

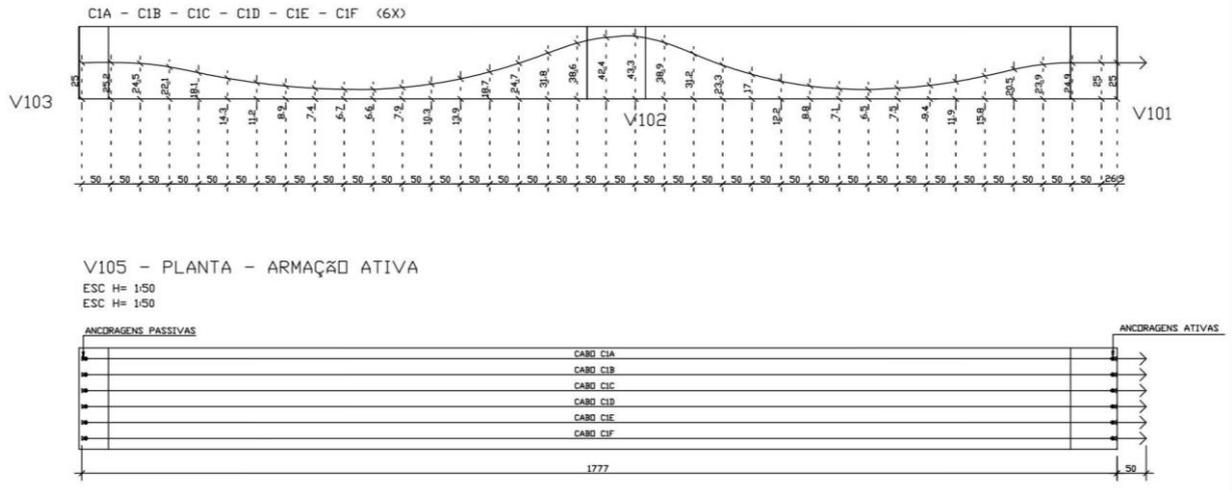
## VIGA 105

Figura 32 - Projeto estrutural armadura passiva viga 105.



Fonte: Do autor (2024).

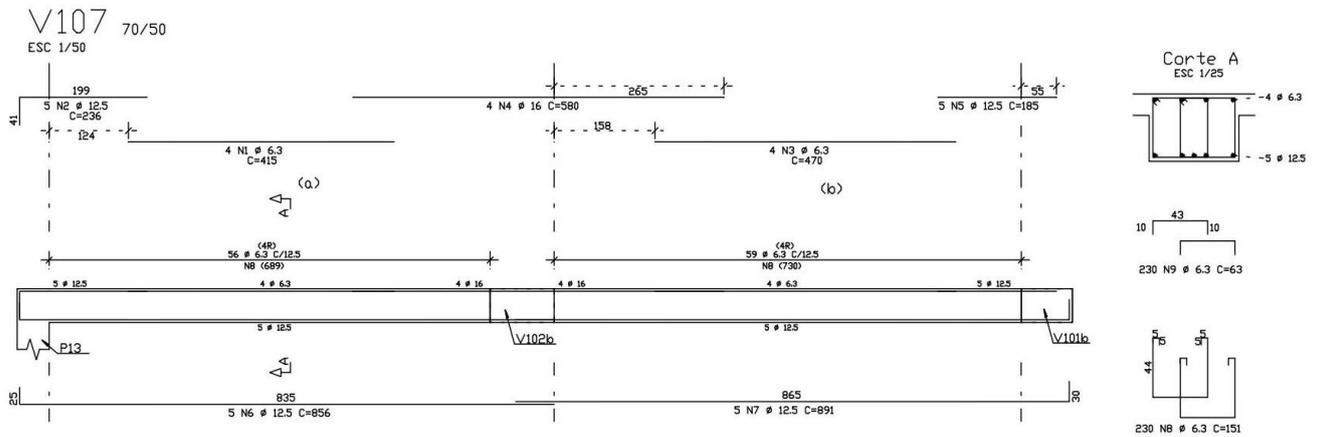
Figura 33 - Projeto estrutural armadura ativa viga 105.



Fonte: do autor (2024).

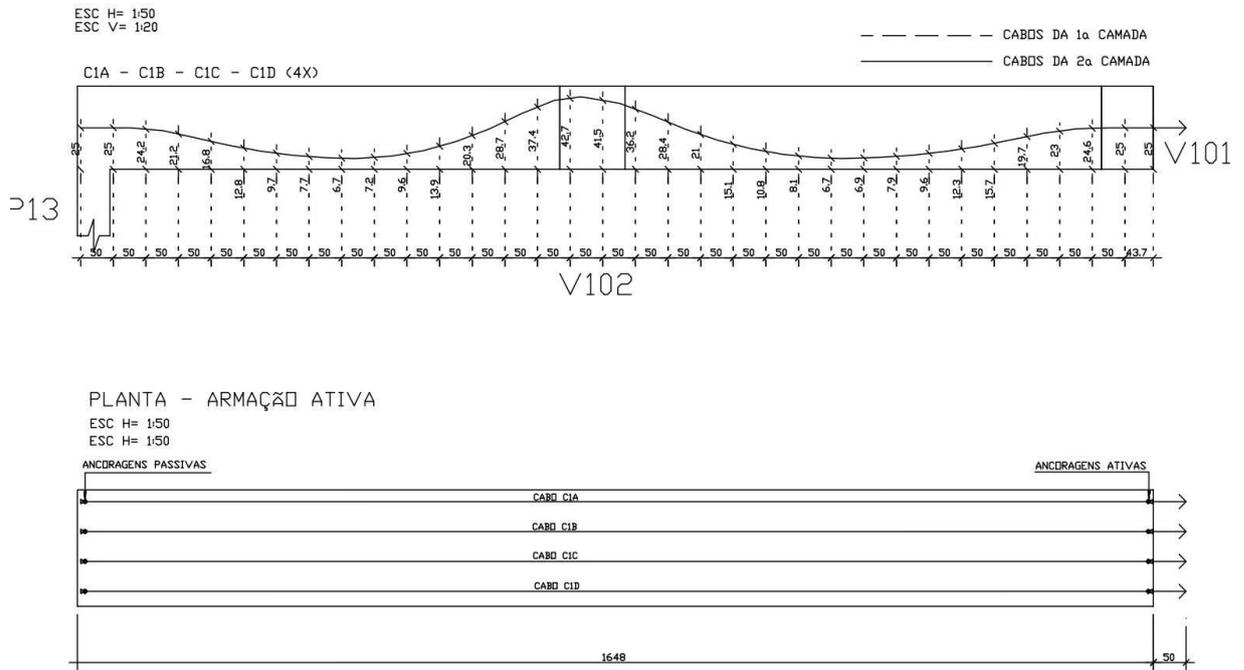
**VIGA 107**

Figura 34 - Projeto estrutural armadura passiva viga 107.



Fonte: do autor (2024).

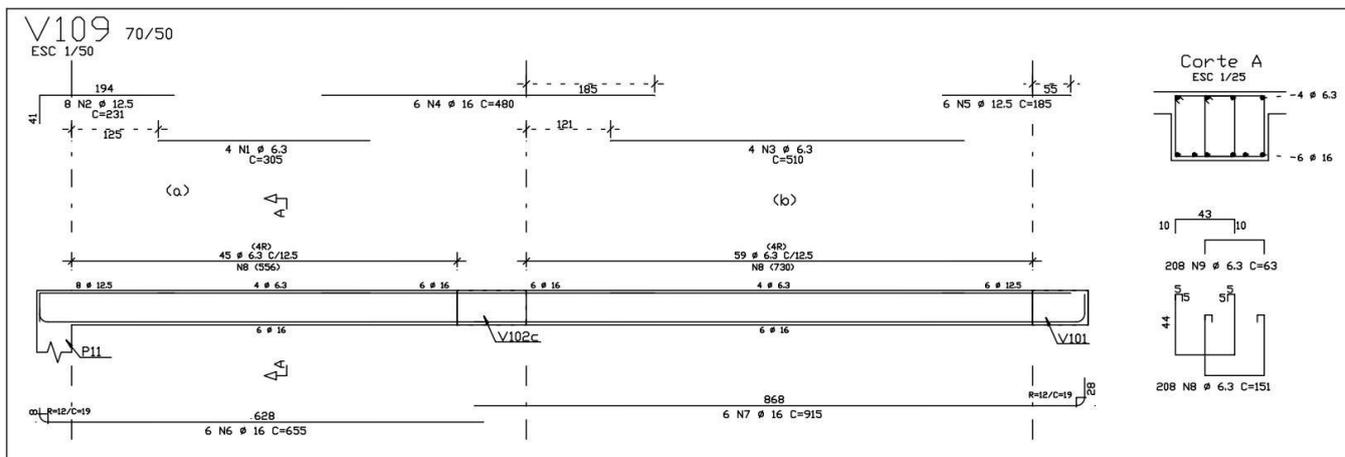
Figura 35 - Armadura ativa viga 107.



Fonte: do autor (2024).

VIGA 109

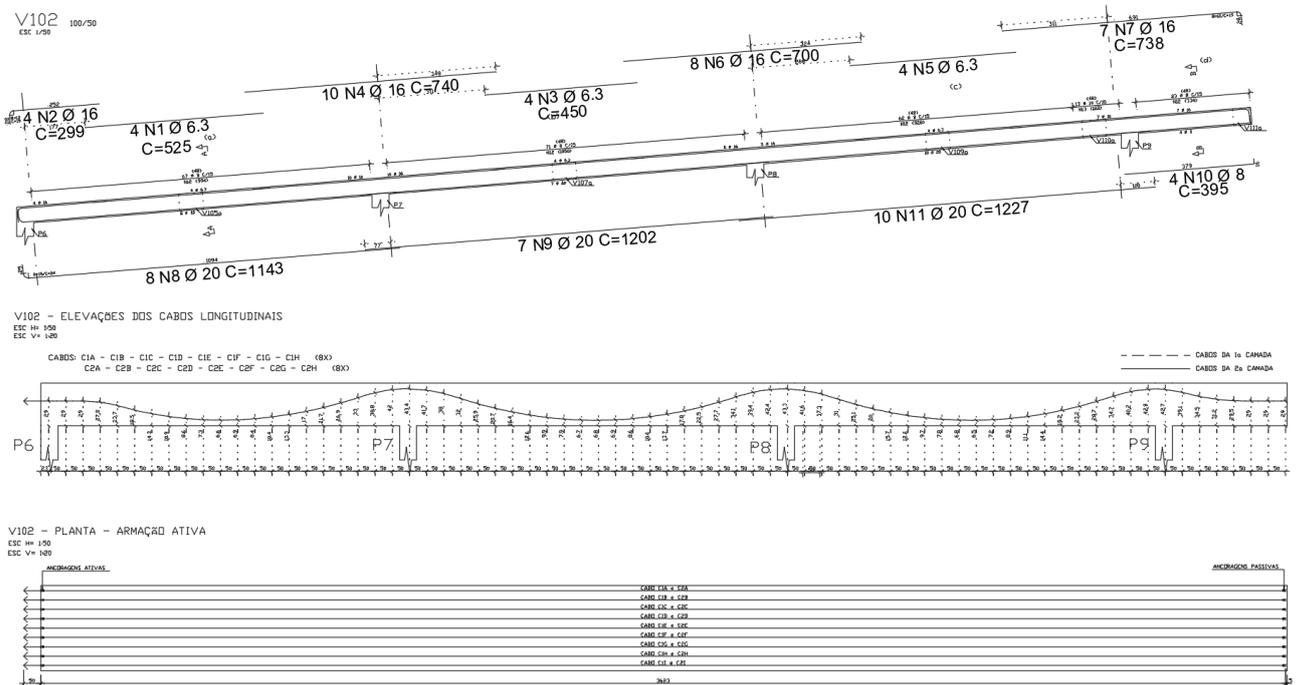
Figura 36 - Projeto estrutural armadura passiva viga 109.



Fonte: do autor (2024).



Figura 39 - Projeto estrutural da viga 102.



Fonte: do autor (2024).

### 5.3 Vigas complementares

Como dito anteriormente, a análise superficial da concepção estrutural da rampa não foi capaz de fornecer diagnóstico detalhado acerca das manifestações patológicas identificadas nas vigas protendidas. Desse modo, foi elaborada uma tabela (TABELA 8) com as especificações referentes às características estruturais das vigas complementares, a fim de compará-las e aventar hipóteses que justifiquem o excesso de patologias encontradas, principalmente, na viga 107. Vale destacar que para o cálculo da armadura passiva das vigas, foi contabilizada apenas a área de aço resistente ao momento positivo, uma vez que as patologias potencialmente problemáticas se encontravam na face inferior dos elementos estruturais.

Tabela 8 - Comparativo vigas complementares.

Vigas	Seção		Cordoalhas (unidades)	Area de aço (cm <sup>2</sup> )	
	Transversal (cm)	Comprimento (cm)		Tramo 1	Tramo 2
V105	70x50	1771	6	12,06	12,06
V107	70x50	1700	4	6,1	6,1
V109	70x50	1496	6	12,06	12,06

Fonte: do autor (2024).

Conforme os dados extraídos da tabela, é importante destacar a diferença significativa no que diz respeito à área de aço inferior das vigas 105, 107 e 109. Todavia, tal diferença não se justifica, ao verificarmos as solicitações das vigas em projeto, uma vez que todas estão submetidas aos mesmos esforços (carga proveniente das lajes adjacentes, peso próprio da viga e carga accidental). Como citado anteriormente, a área de aço tem papel fundamental na manutenção da integridade da estrutura ao longo tempo, visto que está diretamente ligada à capacidade de resistência à flexão da peça. Nessa ótica, de acordo com os dados fornecidos, a deformação plástica do aço, em decorrência da seção hipoteticamente sub-armada na viga 107, pode ser apontada como causa direta da formação de fissuras na superfície de concreto.

Outro ponto interessante é referente à quantidade de armadura ativa encontrada em cada viga. A protensão tem como função básica comprimir os materiais da peça e eliminar esforços de tração através do tensionamento das cordoalhas e, conseqüentemente, eliminar a fissuração. Segundo Caetano e Firmino (2015), a estimativa de cálculo da força de protensão real aplicada é, genericamente, dada pela seguinte equação:

$$P_{real} = P_{ci} \times N^{\circ} \text{ de Cordoalhas}$$

que  $P_{ci}$  é o valor da Carga atuante em cada Cordoalha.

O valor de carga aplicada em cada cordoalha pode ser obtido através das tabelas dos fabricantes dos fios e variam de acordo com o diâmetro nominal dos mesmos. Entretanto, de acordo com os projetos, nota-se que em todas as vigas da rampa a cordoalha utilizada foi a Cordoalha CP190 RB 12.7 engraxada e plastificada.

Para a viga 105, temos as seguintes especificações (TABELA 9) referentes às cordoalhas utilizadas em seu processo construtivo.

Tabela 9 - Cordoalha de protensão viga 105.

PROTENSÃO: AÇO CP190 RB 12.7									
CABO	Ø	Q	COMPRIMENTO		ANCORAGENS			ALONG (cm)	
			UNITÁRIO	TOTAL	A	P	I	INI	FIN
C1A @ C1F	1 Ø 12.7	6	19.09	114.54	6	6		.0	11.6

Fonte: do autor (2024).

Da mesma forma, temos o detalhamento das cordoalhas utilizadas na viga 107, indicados na Tabela 10.

Tabela 10 - Cordoalha de protensão viga 107.

PROTENSÃO: AÇO CP190 RB 12.7									
CABO	Ø	Q	COMPRIMENTO		ANCORAGENS			ALONG (cm)	
			UNITÁRIO	TOTAL	A	P	I	INI	FIN
CIA @ C1D	1 Ø 12.7	4	17.29	69.16	4	4		.0	10.5

Fonte: do autor (2024).

Por fim, as especificações referentes à armadura ativa da viga 109, ilustradas na Tabela 11.

Tabela 11 - Cordoalha de protensão viga 109.

PROTENSÃO: AÇO CP190 RB 12.7									
CABO	Ø	Q	COMPRIMENTO		ANCORAGENS			ALONG (cm)	
			UNITÁRIO	TOTAL	A	P	I	INI	FIN
CIA @ C1F	1 Ø 12.7	6	15.55	93.3	6	6		.0	9.4

Fonte: do autor (2024).

Com o objetivo de identificar a carga mínima de ruptura da Cordoalha CP190 RB 12.7, foi utilizado como referência o catálogo de fios da ArcelorMittal Belgo (FIGURA 40).

Figura 40 - Carga de protensão atuante na cordoalha.

ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS - CORDOALHAS ENGRAXADAS E PLASTIFICADAS PARA PROTENSÃO							
Produto	Diâmetro nominal (mm)	Área aprox. (mm <sup>2</sup> )	Massa aprox. de aço (kg/1.000m)	Massa aprox. da cordoalha plastificada e engraxada (kg/1.000m)	Carga mínima de ruptura (kN)	Carga mínima a 1% de deformação (kN)	Alongamento após ruptura (%)
Cordoalha 7 fios CP 190							
Cord. CP 190 RB 12,70	12,7	101	792	890	184	165	3,5

Fonte: Catálogo ArcelorMittal Belgo (2020).

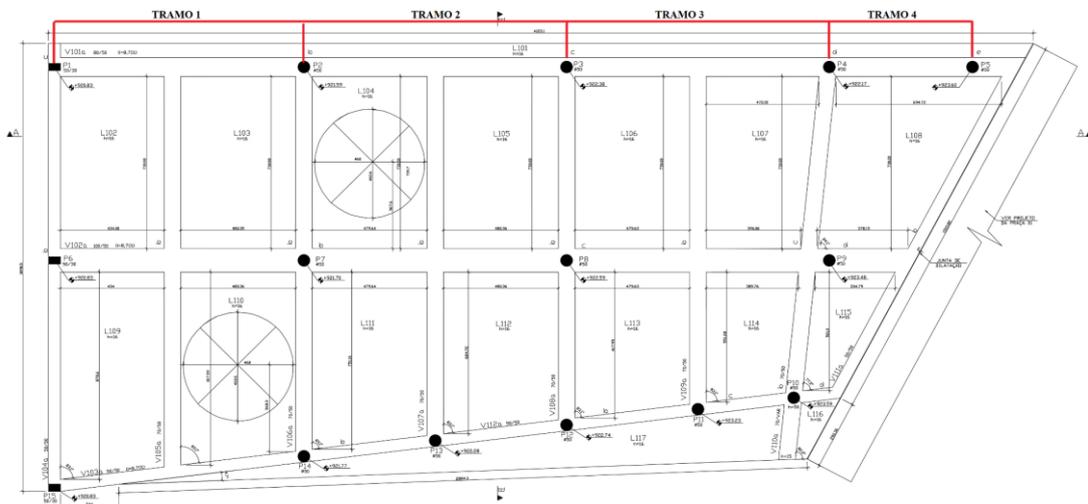
Nesta situação, é correto afirmar que a força de protensão real aplicada em cada viga está diretamente ligada à quantidade de cordoalhas utilizadas. Tal fato pode ser identificado nas tabelas apresentadas através do alongamento dos fios, uma vez que tal parâmetro é diretamente proporcional à carga de protensão aplicada nas cordoalhas. Desse modo, podemos afirmar que a viga 105 tem carga de protensão superior à viga 107, uma vez que possui mais cordoalhas e

um alongamento final superior com relação a mesma. Contudo, ao analisarmos o comparativo entre a viga 107 e a viga 109, é possível observar que embora a viga 109 tenha maior quantidade de cordoalhas, o alongamento da armadura é inferior ao aplicado na viga 107. Nessa ótica, em virtude da falta de parâmetros para realização do cálculo preciso, não é possível afirmar qual das vigas possui maior carga de protensão.

#### 5.4 Vigas principais

Para análise mais detalhada acerca das vigas longitudinais da estrutura da rampa, seu comprimento foi subdividido em quatro diferentes tramos, visto que estão dispostos ao longo de seu comprimento 5 pilares. Nessa ótica, a análise foi feita de acordo com a composição estrutural de cada tramo da viga, especificando suas particularidades, de acordo com a Figura 41.

Figura 41 - Subdivisão dos tramos da rampa.



Fonte: do autor (2024).

Analogamente ao procedimento anterior, foi elaborado uma tabela (TABELA 12) comparativa com as características das vigas 101 e 102, uma vez que possuem concepções estruturais semelhantes.

Tabela 12 - Comparação áreas de aço vigas longitudinais.

Vigas	Seção Transversal (cm)	Comprimento (cm)	Cordoalhas (unidades)	Área de aço (cm <sup>2</sup> )			
				Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
V101	80x50	3651	13	15,7	6,28	18,84	8,04
V102	80x50	3700	18	25,12	21,98	31,4	2

Fonte: do autor (2024).

Em primeira análise, foram observados os valores de armadura passiva identificados em cada tramo da Viga 101. Nessa análise, nota-se que um dos pontos críticos encontra-se no tramo 2 da viga 101, o qual tem em sua estrutura a menor área de aço dentre os tramos. Partindo da premissa que, em todos os tramos da viga, com exceção do Tramo 4, existem vigas complementares similares apoiadas sobre a Viga 101, é possível inferir que a área de aço utilizada no Tramo 2 é insuficiente, uma vez que a área de aço utilizada nos tramos 1 e 3 é significativamente superior à do tramo afetado, e não apresentaram irregularidades. Assim, analogamente ao ocorrido nas vigas complementares, o tramo 2 da Viga 101 foi, possivelmente, subdimensionado.

Outro fator que corrobora com essa hipótese é com relação a diferença entre as quantidades de armadura passiva entre as vigas 101 e 102. Como podemos observar no projeto de formas, a viga 102 está situada exatamente no meio da estrutura. Em decorrência disso, é natural que suas áreas de aço sejam superiores às da viga 101, em virtude do recebimento de mais cargas. Entretanto, quando comparamos a diferença da quantidade de armadura do tramo 1 e do tramo 2 da viga 102, é perceptível que as áreas de aço utilizadas nos respectivos tramos são semelhantes, uma vez que estão submetidas aos mesmos esforços (cargas das lajes adjacentes e pesos próprio da viga), o que não acontece na viga 101, como analisado anteriormente. Nessa lógica, tal fato reforça a hipótese de que o tramo 2 da viga 101 foi subdimensionado.

Além disso, é válido destacar as especificações referentes às armaduras ativas presentes nas vigas longitudinais (V101 e V102). Nessa lógica, de acordo com os dados da tabela, é perceptível que a Viga 102 apresenta maior quantidade de cordoalhas quando comparada à Viga 101. Não obstante, ao identificar as especificações das armaduras ativas utilizadas nas vigas principais, nota-se que foram utilizados diferentes tipos de cordoalhas nas vigas em questão. Na viga 101, a cordoalha utilizada foi a CP190 RB 12.7, assim como nas outras vigas da estrutura, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Especificações cordoalhas viga 101.

PROTENSÃO: AÇO CP190 RB 12.7									
CABO	Ø	Q	COMPRIMENTO		ANCORAGENS			ALONG (cm)	
			UNITÁRIO	TOTAL	A	P	I	INI	FIN
C1A @ C1G	1 Ø 12.7	7	41.27	288.90	7	7		.0	25
C2A @ C2C	1 Ø 12.7	6	41,27	247.62	6	6		.0	25

Fonte: do autor (2024).

Já na viga 102, a cordoalha utilizada foi a CP 190 RB 15.2, identificada na Tabela 14.

Tabela 14 - Especificações cordoalhas viga 102.

PROTENSÃO: AÇO CP190 RB 15.2									
CABO	Ø	Q	COMPRIMENTO		ANCORAGENS			ALONG (cm)	
			UNITÁRIO	TOTAL	A	P	I	INI	FIN
C1A @ C1G	1 Ø 15.2	9	36.81	331.29	9	9		.0	20.6
C2A @ C2C	1 Ø 15.2	9	36.81	331.29	9	9		.0	20.6

Fonte: do autor (2024).

Dito isso, através da consulta às tabelas dos fabricantes, observa-se que as cordoalhas utilizadas têm valores de cargas de protensão diferentes, como mostrado nas Figuras 42 e 43.

Figura 42 - Carga de protensão cordoalha CP 190 RB 12,7.

Produto	Diâmetro nominal (mm)	Área aprox. (mm <sup>2</sup> )	Massa aprox. de aço (kg/1.000m)	Massa aprox. da cordoalha plastificada e engraxada (kg/1.000m)	Carga mínima de ruptura (kN)	Carga mínima a 1% de deformação (kN)	Alongamento após ruptura (%)
Cordoalha 7 fios CP 190							
Cord. CP 190 RB 12,70	12,7	101	792	890	184	165	3,5
Cord. CP 190 RB 15,20	15,2	143	1126	1240	261	235	3,5
Cord. CP 190 RB 15,70	15,7	150	1180	1310	274	247	3,5
Cordoalha 7 fios CP 210							
Cord. CP 210 RB 12,70	12,7	101	792	890	203	183	3,5
Cord. CP 210 RB 15,20	15,2	143	1126	1240	288	259	3,5
Cord. CP 210 RB 15,70	15,7	150	1180	1310	303	273	3,5

Fonte: Catálogo ArcelorMittal Belgo (2020).

Figura 43 - Carga de protensão cordoalha CP 190 RB 15,2.

Produto	Diâmetro nominal (mm)	Área aprox. (mm <sup>2</sup> )	Massa aprox. de aço (kg/1.000m)	Massa aprox. da cordoalha plastificada e engraxada (kg/1.000m)	Carga mínima de ruptura (kN)	Carga mínima a 1% de deformação (kN)	Alongamento após ruptura (%)
Cordoalha 7 fios CP 190							
Cord. CP 190 RB 12,70	12,7	101	792	890	184	165	3,5
Cord. CP 190 RB 15,20	15,2	143	1126	1240	261	235	3,5
Cord. CP 190 RB 15,70	15,7	150	1180	1310	274	247	3,5
Cordoalha 7 fios CP 210							
Cord. CP 210 RB 12,70	12,7	101	792	890	203	183	3,5
Cord. CP 210 RB 15,20	15,2	143	1126	1240	288	259	3,5
Cord. CP 210 RB 15,70	15,7	150	1180	1310	303	273	3,5

Fonte: Catálogo ArcelorMittal (2020).

Entretanto, apesar de a carga mínima de protensão da viga 102 ser superior a carga mínima de protensão da viga 101, ao observar as informações fornecidas pelo projeto, é possível identificar que o alongamento final das cordoalhas referentes à viga 101 foi superior ao alongamento das mesmas da viga 102. Desse modo, a simples observância do quadro apresentado não nos permite inferir a carga real de protensão aplicada às vigas em questão, já que é possível a utilização da mesma carga de protensão com cordoalhas diferentes, através da aplicação de diferentes alongamentos nos fios. Nesse sentido, a investigação referente à armadura ativa das vigas principais foi inconclusiva, uma vez que para realização dos cálculos da obtenção da carga real de protensão, são necessários parâmetros específicos, os quais não foram fornecidos no projeto estrutural.

Portanto, podemos especular que o dimensionamento das vigas da rampa do LAVRASTEC apresenta inconsistências no que diz respeito aos quantitativos de aço das vigas mais afetadas pela fissuração excessiva, uma vez que a concepção estrutural da edificação não justifica a disparidade dos valores de área de aço encontrados no comparativo entre as vigas, tanto no tocante à armadura ativa, quanto a passiva.

Dito isso, como forma de amenizar os impactos causados por tais inconsistências, é necessário a busca de alternativas viáveis para combater a especificidade dos problemas encontrados.

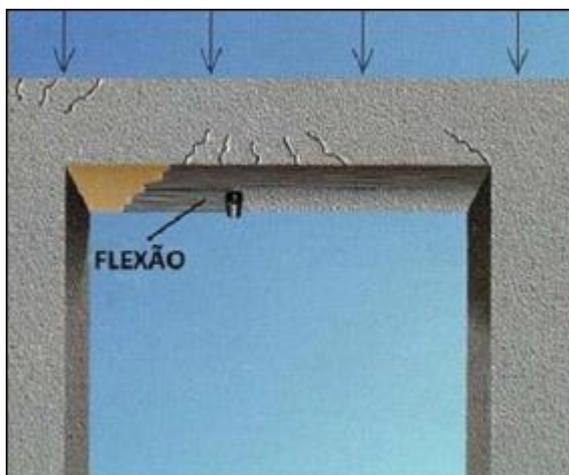
Desse modo, no caso das patologias responsáveis por danos estéticos e superficiais, podem ser reparadas com a aplicação de materiais de preenchimento, como a massa acrílica, seguidos de lixamento e pintura.

No entanto, as alternativas de reparo variam de acordo com a complexidade dos problemas encontrados. Nos casos de problemas estruturais causados por eventuais erros de dimensionamento, o mais indicado é aventar a possibilidade da utilização de reforços estruturais.

Uma alternativa interessante é a utilização de fibra de carbono como reforço estrutural de elementos submetidos à flexão. As fibras de carbono têm como função absorver os esforços de tração advindos de momentos fletores positivos e negativos (MACHADO, 2006 apud MOURA, 2013). Segundo Menacker (2021), as propriedades das fibras de carbono variam de acordo com diversos aspectos como o tipo de fibras, o tamanho e o grau de concentração destas fibras.

Normalmente, é encontrada no mercado como manta ou tecido de fibras de carbono. Segundo Plácido (2014, apud MENACKER 2021), a manta de fibras de carbono é um composto polimérico, formado pelas fibras de carbono e matriz epoxídica. Os materiais têm como função básica a adição de resistência mecânica e envolvimento e proteção das fibras, respectivamente. Nessa ótica, é correto afirmar que a utilização de fibras de carbono como reforço estrutural é a principal alternativa para recuperação de vigas de concreto armado, representada na Figura 44.

Figura 44 - Reforço com fibra de carbono em viga de concreto.



Fonte: Machado (2006).

Outra alternativa relevante é a utilização de chapas de aço por colagem ou chumbamento. De acordo com Souza e Ripper (1998), a aplicação das chapas é indicada quando existe a necessidade de adicionar capacidade resistente ao elemento, proporcionando maior rigidez e redução da fissuração. O processo é relativamente simples e consiste basicamente na

colagem das chapas nas superfícies da viga através da utilização de resina epóxi (MENACKER, 2021) (FIGURA 45).

Figura 45 - Colagem de chapa metálica em viga de concreto.

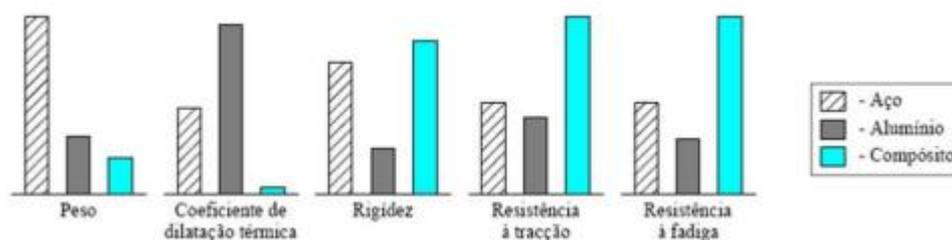


Fonte: Menacker (2021).

Tal método tem como vantagem a facilidade de execução e o aumento irrelevante na seção das peças. Por outro lado, tem como desvantagem um aumento considerável do peso bruto da peça e a necessidade de medidas específicas de proteção e combate em detrimento a incêndios e a corrosão.

No entanto, é possível observar as diferenças relativas a diferentes parâmetros analisados como peso, coeficiente de dilatação térmica, rigidez, resistência à tração e resistência à fadiga, quando comparados os métodos de recuperação de estruturas com a utilização de compósitos de fibras de carbono, aço e alumínio (PLÁCIDO, 2014 apud MENACKER, 2021), apresentadas na Figura 46.

Figura 46 - Comparativo entre aço, alumínio e fibras de carbono.



Fonte: Adaptado de Machado (2002) por Plácido (2014).

Conforme o comparativo apresentado, os resultados apontam vantagens estruturais interessantes no que diz respeito à utilização de compósitos de fibras de carbono na recuperação

de estruturas. No entanto, existem outras alternativas, as quais podem ser utilizadas de acordo com a necessidade e particularidade de cada edificação.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objeto de estudo as manifestações patológicas encontradas na rampa do Parque Científico e Tecnológico de Lavras, buscando destacar as principais hipóteses causadoras dos problemas e eventuais técnicas de reparo a serem utilizadas, com base nos resultados das análises e investigações realizadas.

Durante as pesquisas, a investigação e os dados coletados levavam a diferentes caminhos e origens das patologias presentes. Desse modo, uma análise detalhada foi fundamental para determinar se as falhas desencadeadoras dos processos patológicos estavam relacionadas à concepção ou a execução da edificação. Nesse sentido, os resultados expostos demonstraram as eventuais falhas durante o processo de concepção da estrutura, uma vez que a principal hipótese adotada relatou um eventual subdimensionamento em parte da edificação, o qual não contém nenhuma explicação lógica que o justifique.

Além disso, a vasta bibliografia acerca das técnicas de reforço estrutural demonstra a recorrência de patologias semelhantes às abordadas neste estudo nas estruturas em todo país, fato que denota a importância do aprimoramento no que diz respeito a concepção estrutural de edificações de grande porte.

Vale lembrar que o estudo não está isento de limitações, uma vez que foram encontrados empecilhos durante a investigação no que diz respeito as armaduras ativas das vigas principais, onde o parecer foi inconclusivo, em virtude da falta de parâmetros necessários aos cálculos e com relação a inexistência de relatórios fotográficos produzidos durante o período de execução da obra.

Em última análise, o estudo de caso realizado contribui como referência para futuras edificações que utilizem técnicas de alto grau de especialização como o concreto protendido, fornecendo uma base sólida acerca dos eventuais problemas a que estão sujeitas as estruturas.

## REFERÊNCIAS

- ANGELO, A. **Análise das patologias das estruturas em concreto armado do estádio Magalhães Pinto – Mineirão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. 439 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023. 242 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7197**: Projeto de estruturas de concreto protendido – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 13 p.
- BARFKNECHT, M. **Análise da influência da concepção estrutural no custo de uma edificação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020. 70 p.
- BASTOS, P. **Fundamentos do Concreto Protendido**. Bauru, 2021.
- BASTOS, P. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru, 2023.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado** – Notas de Aula. Bauru: UNESP, 2006.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2019.
- BELO, G. **Aderência entre o aço e o concreto fresco em condições de concretagem submetidas a vibrações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. 101 p.
- BORGES, F.; CARREIRO, T. **Métodos de Dosagens dos principais tipos de concreto: uma revisão teórica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. 64 p.
- CAETANO, C; FIRMINO, M. **Estimativa de Carga de Protensão**. Material Didático - Departamento de Engenharia, Universidade Pontifícia Católica de Goiás, 2015. 77p.
- CASTRO, S. **Análise do desempenho do aditivo linear alquil benzeno sulfonato de sódio como incorporador de ar em concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017a. 54 p.
- CASTRO, D. **Análise da resistência do concreto com adição de fibras de polipropileno submetido a altas temperaturas**. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017b. 99 p.
- COELHO, R. **Concreto Armado na Prática**. São Luís: Editora UEMA, 2008.

CORRÊIA, A.; SOUZA, D. **Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos de construções na cidade de Caratinga-MG**. Monografia (Engenharia Civil) – Instituto Tecnológico de Caratinga, Caratinga, 2014. 53 p.

FELÍCIO, Matheus de Oliveira; SEIXAS, Luís Pedro Ferreira de Assunção Leandro. **Modelo de biela e tirantes aplicado ao dimensionamento de vigas de concreto armado**. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 55p. 2020.

FONSECA, L. **Estudo de caso: Dimensionamento e comparação de vigas de concreto armado utilizando classes de resistência de grupos I e II segundo a NBR 6118:2014**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. 85 p.

FUSCO, P. B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: PINI, 1995.

GONÇALVES, E. **Estudo de Patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado e obras de edificações**. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. 174 p.

HELENE, P. **Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1992.

KLEIN, T. **Estudo Comparativo entre edificações com estrutura em concreto armado e alvenaria estrutural**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. 94 p.

KOCHEM, R. **Dimensionamento de pilares esbeltos de concreto armado com seção transversal retangular submetidos à flexão oblíqua composta**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. 57 p.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. Tese (M.Sc.) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

MACHADO, A. P. **Fibras de Carbono: Manual Prático de Dimensionamento**. BASF – The Chemical Company Carbono, 2006.

**Manifestações patológicas: segregação do concreto (bicheira no concreto)**. Tecnosil, 2022. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/manifestacao-patologica-segregacao-do-concreto-bicheira-no-concreto/#:~:text=A%20segrega%C3%A7%C3%A3o%20no%20concreto%2C%20tamb%C3%A9m,gra%C3%BAdos%20nas%20estruturas%20de%20concreto>.

MARQUES, S. **Estudo de caso: Durabilidade em estruturas de concreto armado na antiga sede administrativa do TRE-RN**. Monografia (Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. 68 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.

MELO, W. **Análise dos domínios de deformação de seções retangulares de concreto armado submetidas à flexão composta normal – segundo NBR 6118/14**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015. 149 p.

- MENACKER, E. **Reforço Estrutural com fibra de carbono em estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2021. 142 p.
- MOURA, M. **Reforço estrutural em estruturas de concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013. 82 p.
- NEVES, M; MENDES, L. **Concreto armado: patologias na estrutura de uma edificação**, 2020. 26p.
- OTONI, L. **Análise das manifestações patológicas em templo religioso na cidade de Jucás-CE**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia civil) - Campus Cajazeiras, Instituto federal de educação, ciências e tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2021. 63p
- PALERMO, G. **Geometria do concreto durável**. In: Revista Técnica, 1993, p. 33-38.
- PLACIDO, C. E. **Análise do ganho de resistência em vigas de concreto armado submetidas à flexão reforçadas com fibra de carbono**. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - PR, 2014.
- SANTOS, I. **Estudo de dosagens de concreto para aumento da resistência à tração na flexão**. Monografia (Engenharia Civil) - Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. 75p.
- SANTOS, M. **Manifestações Patológicas em estruturas de concreto armado**: estudo de caso de uma estação de tratamento de água. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. 112 p.
- SANTOS, N. **Análise da variação da resistência a compressão do concreto estrutural devido à perda de água na mistura do concreto no semiárido nordestino**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016. 119p
- SENA, M. **Diagnóstico e recuperação de estruturas de concreto armado**. Monografia (Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2014. 106 p.
- SILVA, R. **Estudo da durabilidade de concretos com a substituição do cimento por cinza de casca de arroz sob ação de sulfatos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Vale do Taquari, Lajeado, 2019. 68p.
- SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.
- TRINDADE, D. **Patologias em Estruturas de Concreto Armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. 88 p.
- VERÍSSIMO, G. **Concreto Protendido**: Fundamentos Básicos. 4ª ed. Viçosa, 1998.
- WEBER, L. **Cobrimento de Armadura em estruturas de concreto armado**: análise comparativa entre os valores projetados e executados nas obras do vale do Taquari. Monografia (Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014. 97 p.