

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

HENDRYCK DE OLIVEIRA COSTA

**MANUAL DE USO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE LAJES
PLANAS PROTENDIDAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ARACAJU

2021

HENDRYCK DE OLIVEIRA COSTA

**MANUAL DE USO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE LAJES
PLANAS PROTENDIDAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Sergipe - Campus Aracaju.
Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho.

ARACAJU

2021

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Costa, Hendryck de Oliveira

C837m Manual de uso, operação e manutenção de lajes planas protendidas. /
Hendryck de Oliveira Costa. - Aracaju, 2021.

116 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil.) - Instituto
Federal de Sergipe, 2021.

1. Manual. 2. Laje plana. 3. Laje protendida. 4. Operação. 5.
Manutenção. 6. Patologia. 7. Concreto protendido. I. Carvalho, Carlos
Henrique de. II. Título.

CDU 624.073

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL


TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 201

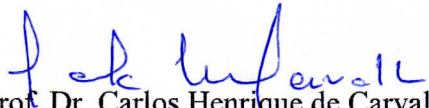
**MANUAL DE USO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE LAJES PLANAS
PROTENDIDAS**

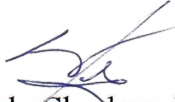
HENDRICK DE OLIVEIRA COSTA

Esta monografia foi apresentada às 19 horas do dia 02 de setembro de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof. M.Sc. Rodolfo Santos da Conceição
(IFS – Campus Aracaju)

EMERSON MEIRELES DE CARVALHO: Assinado digitalmente por EMERSON MEIRELES DE CARVALHO: 37425943549
Data: 2021.09.03 11:23:39-03'00'
Prof. M.Sc. Emerson Meireles de Carvalho
(UFS – Campus São Cristóvão)


Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho.
(IFS – Campus Aracaju)
Orientador


Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

RESUMO

COSTA, Hendryck de Oliveira. **Manual de uso, operação e manutenção de lajes planas protendidas**. 116 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - Campus Aracaju. 2021.

Dado o aumento da utilização de estruturas protendidas, em especial as lajes, torna-se imprescindível o estudo, desenvolvimento e elaboração de novas ferramentas que contribuam para o melhor uso, operação e manutenção destas estruturas, visando tanto sua boa execução quanto prevenção e preservação contra manifestações patológicas. Logo, a fundamentação técnica para elaboração de um manual de uso, operação e manutenção de lajes planas protendidas é essencial para assegurar a qualidade na manutenção da estrutura, além de garantir que este sistema estrutural possua um bom desempenho e durabilidade durante sua vida útil. Portanto, este trabalho tem como objetivo subsidiar projetistas, construtores e empresas especializadas em manutenção, além de fomentar a cultura da manutenção com a criação de um manual de uso, operação e manutenção em lajes planas protendidas, tomando como base as ABNT NBR 5674:2012 e ABNT NBR14037:2014. O manual foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica, estudos de caso e visita em campo, e por meio destes foi possível determinar um passo a passo com as principais atividades de manutenção e reparo nas estruturas protendidas.

Palavras-chave: Manual. Lajes protendidas. Manutenção. Patologias. Concreto protendido.

ABSTRACT

COSTA, Hendryck de Oliveira. **Manual de uso, operação e manutenção de lajes planas protendidas**. 116 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe - Campus Aracaju. 2021.

Given the increased use of prestressed structures, especially prestressed slabs, it is necessary to study, develop, and elaborate new tools that contribute to the better use, operation and maintenance of these structures, aiming both for their good performance and the prevention and preservation of pathologies. Therefore, the technical foundation for the elaboration of a manual for the use, operation and maintenance of the structure, in addition to ensuring that this structural system has good performance and durability during its useful life. Therefore, this work aims to support designers, builders and companies specialized in maintenance, in addition to fostering a culture of maintenance with the creation of a manual for use, operation and maintenance in prestressed slabs, based on ABNT NBR5674:2012 and ABNT NBR14037:2014. The manual was developed through bibliographical research, case studies and field visits, to determine a step by step with the main maintenance and repair activities in prestressed structures.

Keywords: Manual. Prestressed slabs. Maintenance. Pathologies. Prestressed concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo do conceito de protensão com pilha de livros	15
Figura 2 - Esquema de execução de concreto protendido de pré-tração com aderência inicial	16
Figura 3 - Esquema simplificado de fabricação de peça protendida com pós-tensão.....	17
Figura 4 - Nomenclatura de aço de protensão	18
Figura 5 - Gráfico comparativo para lajes em concreto armado ou protendido	23
Figura 6 - Arranjos para cabos de protensão	25
Figura 7 - Mangueira plástica e cap utilizados nas cordoalhas.....	28
Figura 8 - Cadeirinha segurando os cabos	29
Figura 9 - Aplicação de cunhas na ancoragem ativa.....	30
Figura 10 - Aplicação do spray de secagem	31
Figura 11 - Funcionário cortando cordoalha com maçarico.....	33
Figura 12 - Critérios para manutenção em estruturas.....	34
Figura 13 - Aplicação do post-tech em região intermediária	36
Figura 14 - Aplicação do post-tech em ancoragem do cabo	36
Figura 15 - Superfície de concreto carbonatada.....	45
Figura 16 - Ataque de cloretos em região marinha.....	45
Figura 17 - Ensaio De Pacometria.....	47
Figura 18 - Ensaio de Esclerometria	48
Figura 19 - Ensaio De Ultrassonografia.....	49
Figura 20 - Ensaio de profundidade de carbonatação	49
Figura 21 - Ensaio de teor de cloreto.....	50
Figura 22 - Ensaio RIMT	51
Figura 23 - Ensaio de tomografia ionizante em viga	52
Figura 24 Superfície de parede em ensaio de termografia	52
Figura 25 - Etapa de adensamento do concreto	55
Figura 26 - Visão panorâmica da West Seattle Bridge	57
Figura 27 - Representação Frontal Da Ponte	57
Figura 28 - Fissuras na região interna da ponte	58

Figura 30 - Região interna do estacionamento.....	60
Figura 31 - Infiltração Generalizada na laje.....	61
Figura 32 - Solução utilizando treliças de aço ao longo das vigas.....	62
Figura 33 - Solução utilizando canais de aço	62
Figura 34 - Solução utilizando protensão externa.....	63
Figura 35 - Uso dos defletores nas vigas.....	64
Figura 36 - Remoção do concreto na laje.....	65
Figura 37 - Corte oeste-leste do edifício	66
Figura 38 - Vista em perspectiva do projeto arquitetônico.....	67
Figura 39 - Relação entre CA e CP em função do vão	71
Figura 40 - Construção da Mesoestrutura da ponte.....	72
Figura 41 - Montagem das aduelas	73
Figura 42 - Fissuração na região da mesa inferior	74
Figura 43 - Fissuras na região da alma	74
Figura 44 - Fissuras na região da mesa superior	75
Figura 45 - Corrosão encontrada a partir do R.I.M.T.. Error! Bookmark not defined.	
Figura 46 - Ensaio de carbonatação	76
Figura 47 - Reforço por protensão externa	78
Figura 48 - Fluxograma para documentação	93
Figura 49 - Fluxograma para atividades de manutenção	102
Figura 50 - Fluxograma para inspeção no concreto.....	103
Figura 51 - Fluxograma para inspeção em estruturas de aço	105
Figura 52 - Fluxograma para protensão externa.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação de fios (Catálogo Arcelormittal)	19
Tabela 2 - Dados dos condicionamentos dos fios (Catálogo Arcelormittal)	19
Tabela 3 - Especificação De Cordoalhas Não Engraxadas	20
Tabela 4 - Dados do condicionamento das cordoalhas não engraxadas	20
Tabela 5 - Dados de condicionamento das cordoalhas engraxadas.....	21
Tabela 6 - Classes de agressividade ambiental	24
Tabela 7 - Tolerância na colocação dos cabos	25
Tabela 8 - Espaçamento Para Monocordoalhas.....	26
Tabela 10 - Aspectos técnicos para avaliar necessidade de reparo ou reforço	37
Tabela 11 - Metodologia para projeto de reforço	38
Tabela 12 - Coeficiente φR para danos provocados por sismos (CEB, 1983).....	40
Tabela 13 - Coeficiente φR para danos provocados por incêndios (CEB, 1983).	40
Tabela 14 - Coeficiente φR para danos provocados pela corrosão (CEB, 1983).	41
Tabela 15 - Relação entre Coeficiente de Capacidade e Grau de Intervenção ...	42
Tabela 16 - Coeficientes de minoração ($\gamma' C$) para concreto feito em obra (CEB, 1983)	42
Tabela 17 - Coeficientes de minoração ($\gamma' C$) para concreto pré-moldado (CEB, 1983)	43
Tabela 18 - Coeficientes de minoração ($\gamma' S$) para Aço (CEB, 1983).....	43
Tabela 19 - Resumo da armadura passiva do pavimento tipo.....	67
Tabela 20 - Volume de concreto e área de fôrmas do pavimento tipo	67
Tabela 21 - Resumo da armadura ativa e de ancoragem do pavimento tipo.....	68
Tabela 22 - Armadura passiva e negativa para lajes	68
Tabela 23 - Armadura longitudinal e transversal das vigas.....	68
Tabela 24 - Volume de concreto e área de fôrmas para vigas e lajes	69
Tabela 25 - Consumo dos materiais para a solução em CP em relação a CA....	70
Tabela 27 - Garantias para as lajes protendidas.....	84
Tabela 28 - Vida útil de projeto mínima e superior	84

Tabela 30 - Relação de profissionais responsáveis	87
Tabela 31 - Modelo De Manutenção Preventiva	91
Tabela 32 - Ensaio para inspeção no concreto	104
Tabela 33 - Ensaio para armadura passiva	106
Tabela 34 - Ensaio em cabos metálicos e cordoalhas	106
Tabela 35 - Reparos necessários no concreto	107
Tabela 36 - Técnicas de Reparo Para Armadura Passiva	108
Tabela 37 - Técnicas de reparo para armadura ativa.....	109

LISTA DE

C	Carbono
Cl.	Cloro
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
END	Ensaio Não Destrutivo
Fck	Feature Compression Know
Fe	Ferro
FRP	Fiber Reinforced Polymer
H	Hidrogênio
O	Oxigênio
OAEs	Obras de Arte Especiais
Ph	Potencial Hidrogeniônico
RB	Relaxação Baixa
RN	Relaxação Normal
VUP	Vida útil de Projeto

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CEB	Comite Euro-Interacional do Betão
FIHP	Federacion Iberoamericana del Hormigon Premezclado
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
PTI	Post-tensioning Institute

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS	13
1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 PROTENSÃO	15
2.1.1 Tipos de protensão	16
2.1.1.1 Sistema de pré-tração com aderência inicial	16
2.1.1.2 Sistema de pós-tração com aderência posterior	17
2.1.1.3 Sistema de pós-tração sem aderência	17
2.1.2 Aços para protensão	18
2.1.3 Perdas de protensão	21
2.1.3.1. Perdas de protensão imediatas	21
2.1.3.2. Perdas de protensão posteriores	22
2.2 LAJES PLANAS EM CONCRETO PROTENDIDO	22
2.2.1 Concepção	22
2.2.1.1 Espaçamento máximo e mínimo e cobrimento	23
2.2.1.2 Classes de agressividade ambiental	24
2.2.1.3 Arranjo de cabos	24
2.2.2 Execução	25
2.2.2.1 Sequência construtiva	26
2.2.2.2 Cuidados na execução	27
2.3 MANUTENÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO	33
2.3.1 Causas da necessidade da manutenção	33
2.3.2 Técnicas de reforço e reparo em concreto protendido	34
2.3.2.1 Reforço utilizando o compósito FRP	35
2.3.2.2 Protensão externa	35
2.3.2.3 Post-tech PTI anticorrosivo	36
2.3.2.5 Reforço por aumento de seção transversal	37
2.4 ANÁLISE ESTRUTURAL PARA APLICAÇÃO DE REFORÇO EM ESTRUTURAS	37
2.4.1 Tipo de intervenção	42

2.4.2 Parâmetros para dimensionamento de reforço	42
2.5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	44
2.5.1 Carbonatação	44
2.5.2 Ataque de cloretos	45
2.5.3 Corrosão nas cordoalhas e ancoragens	46
2.6 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA MONITORAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	46
2.6.1 Pacometria	46
2.6.2 Esclerometria	47
2.6.3 Ultrassom	48
2.6.4 Carbonatação	49
2.6.5 Ensaio de teor de cloreto	50
2.6.6 Ensaio RIMT	50
2.6.7 Ensaio de tomografia ionizante (RCT)	51
2.6.8 Ensaio de termografia infravermelha	52
3 METODOLOGIA	53
3.1 ESTUDO DE CASO DE OBRA EM ARACAJU - CENTRO MÉDICO	53
3.2 ESTUDO DE CASO - PONTE WEST-SEATTLE	56
3.3 ESTUDO DE CASO - ESTACIONAMENTO PIER 39	59
3.4 ESTUDO DE CASO - COMPARATIVO ENTRE LAJES PLANAS PROTENDIDAS E LAJE CONVENCIONAL EM UNIDADE RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR EM PATO BRANCO.	65
3.5 ESTUDO DE CASO -MONITORAMENTO DA PONTE RIO-NITERÓI	72
4. RESULTADOS	79
4.1 APRESENTAÇÃO DO MANUAL	79
4.1.1 Introdução	79
4.1.2 Termos e definições	80
4.2 GARANTIA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA	83
4.2.1 Garantias	83
4.2.2 Perdas de garantias	85
4.3 MEMORIAL DESCRITIVO	85
4.4 FORNECEDORES	86
4.4.1 Relação dos fornecedores	87
4.4.2 Relação de profissionais responsáveis	87
4.5 OPERAÇÃO, USO E LIMPEZA	87
4.5.1 Cuidados de uso	88

4.5.2 Manutenção preventiva	SUMÁRIO	88
4.6 MANUTENÇÃO		89
4.6.1 Programa de manutenção		89
4.6.2 Planejamento da manutenção preventiva		90
4.6.3 Inspeção no programa de manutenção		92
4.6.4 Registros e documentação necessária		93
4.7 RESPONSABILIDADES RELACIONADAS A MANUTENÇÃO		94
4.7.1 Construtor(a) ou incorporador(a)		94
4.7.2 Síndico		95
4.7.4 Empresa capacitada		97
4.7.5 Empresa ou profissional especializado(a)		97
4.8 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES		98
4.8.1 Segurança		98
4.8.2 Documentação técnica e legal		98
4.8.3 Atualização do manual		99
ANEXO A - CHECKLIST DA MANUTENÇÃO E AÇÕES DE MANUTENÇÃO		100
ANEXO B - DESENVOLVIMENTO DO MANUAL		101
B.1 INSPEÇÃO VISUAL		101
B.1.1 Inspeção das fissuras e degradação do Concreto		102
B.1.2 Inspeção das bainhas, cabos metálicos e armadura passiva		105
B.2 RECUPERAÇÃO E REFORÇOS EM LAJES PROTENDIDAS		106
B.2.1 Recuperação no concreto		107
B.2.2 Recuperação nos componentes de aço		108
B.2.3 Reforço no concreto protendido		109
5. CONCLUSÃO		111
5.1 SUGESTÕES		112
ANEXO A - QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA ENTREVISTA EM OBRA		116

1. INTRODUÇÃO

O concreto protendido é uma solução estrutural criada no final do século 19 nos Estados Unidos por P.H Jackson, mas devido ao fato de na época os aços ainda não apresentarem alta resistência foi uma solução com pouca adesão e aplicabilidade.

Seu uso mais recorrente se deu a partir do século 20, mais especificamente a partir da Segunda Guerra Mundial com o engenheiro civil francês Eugene Freyssinet, que inventou e patenteou métodos construtivos, aços e concretos especiais. Contudo, nos últimos anos o uso de estruturas em concreto protendido vêm crescendo significativamente ao redor do mundo.

Quando falamos de Brasil, uma das obras que temos como referência na aplicação de concreto protendido é a ponte Rio-Niterói, que ainda hoje é a maior ponte do hemisfério sul. Além disso, uma das soluções que vêm ganhando cada vez mais força são as lajes planas em concreto protendido, sua utilização apresenta diversas vantagens como o uso de lajes com menor espessura, menor necessidade na utilização de vigas e pilares, e por consequência a possibilidade de utilizar maiores vãos na estrutura, além do fato de ser um processo construtivo mais rápido, o que pode reduzir os custos da obra.

No entanto, devido ao fato das estruturas protendidas demandarem uma mão de obra mais especializada, é necessário entender bem todo seu processo construtivo, quais cuidados adicionais são necessários, as principais patologias que podem acometer este tipo de estrutura e também em como fazer o seu monitoramento, manutenção, reparos e reforços, caso necessário.

Portanto, pela falta de manuais técnicos relacionados a estruturas protendidas, é de suma importância sua fundamentação técnica para elaboração de um manual de uso, operação e manutenção deste método construtivo, visando facilitar o uso deste tipo de estrutura, para assim ampliar sua utilização na construção civil.

1.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS

O objetivo principal é a elaboração de um manual para uso, operação e manutenção de lajes planas em concreto protendido.

1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

A) Contribuir para o desenvolvimento de uma cultura de concepção, produção e manutenção no concreto pretendido em edifícios residenciais.

B) Promover boas práticas que possam melhorar o desempenho e a durabilidade de estruturas em concreto pretendido.

C) Ajudar a propagar na Engenharia Civil sergipana o uso dos ENDs, desde a produção até o monitoramento das manifestações patológicas no pós-uso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

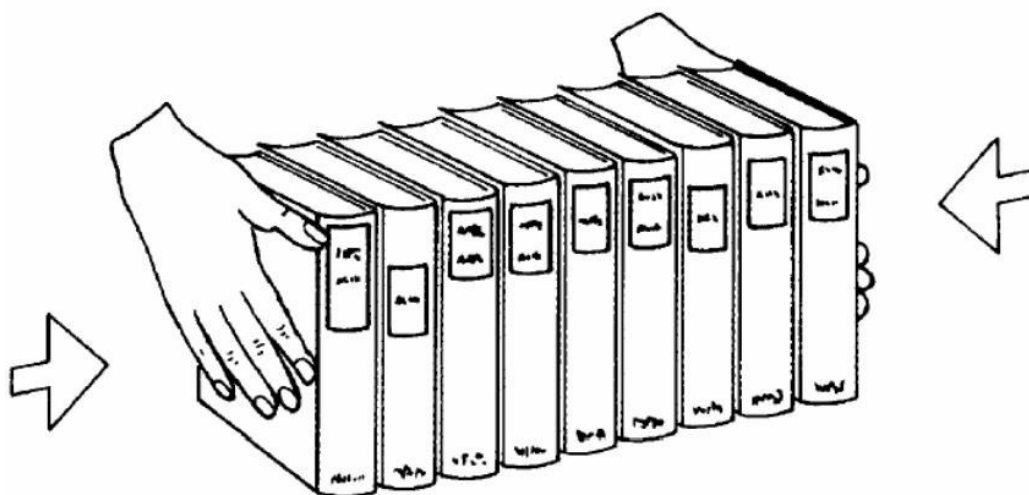
2.1 PROTENSÃO

Segundo a FIHP, o concreto atualmente é o material construtivo mais utilizado no mundo, sendo o segundo no geral atrás apenas da água. Sua composição é feita com cimento, agregados (brita e areia) e água. Por ser um material com baixa resistência a tração são adicionadas barras de aço, que podem funcionar como armadura passiva ou armadura ativa, sendo que a escolha de qual tipo de armadura será utilizada é a principal diferença entre o concreto armado e o protendido. O presente trabalho tem como objetivo conceituar o concreto protendido.

O conceito de protensão pode ser definido como a capacidade de introduzir um estado prévio de tensões a uma estrutura, ou seja, uma peça é considerada de concreto protendido quando é realizada essa protensão, fazendo com que esta possua uma armadura ativa, que é o processo onde a armadura é pré-alongada e já possui uma sollicitação antes de haver alguma deformação na peça.

Um exemplo que pode ilustrar esse conceito, como mostra a figura 1, é uma compressão em uma pilha de livros, onde a pessoa para os carregar aplica uma força horizontal, os comprimindo. Essa força é aplicada com o intuito de que as forças de atrito superem o peso próprio do conjunto, para assim os livros não escorregarem.

Figura 1 - Exemplo do conceito de protensão com pilha de livros



Fonte: (BASTOS, 2019).

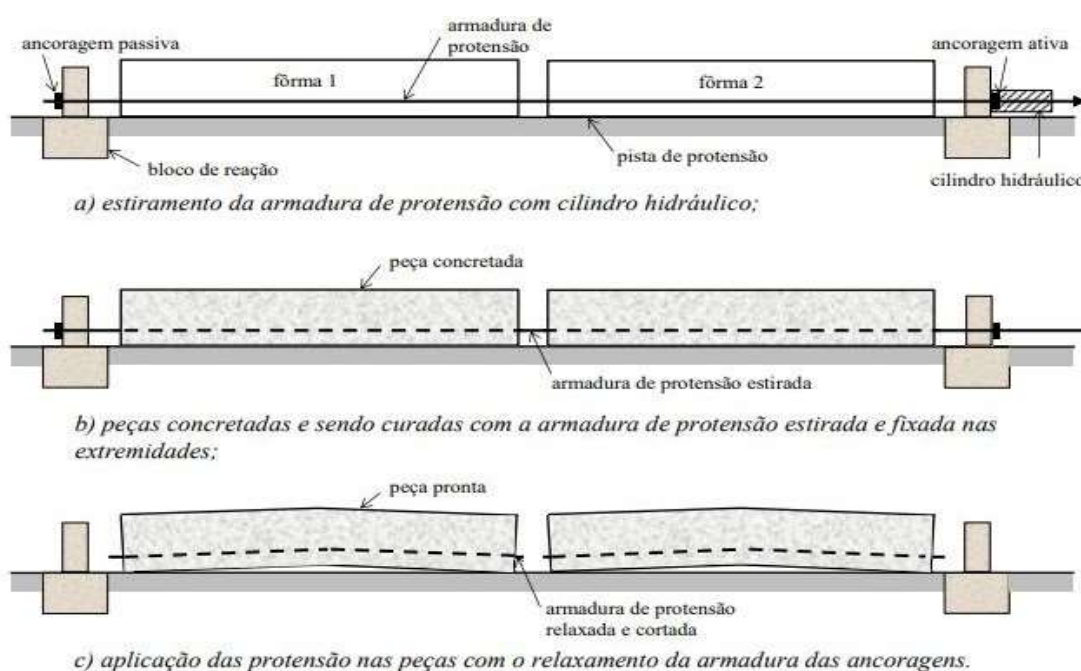
2.1.1 Tipos de protensão

2.1.1.1 Sistema de pré-tração com aderência inicial

No sistema de pré-tração com aderência inicial a armadura é alongada antes da concretagem do elemento, onde as ancoragens são fixadas em apoios independentes do elemento estrutural, deste modo a força de protensão é transferida por aderência na fase de endurecimento do concreto. Este sistema de protensão é comumente utilizado em peças pré-moldadas, pois seu processo de produção é altamente potencializado em ambiente industrial, o que garante um melhor controle de qualidade.

A NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento (item 3.1.7) apresenta a definição para concreto com armadura pré-tracionada (protensão com aderência inicial): concreto onde o pré-alongamento da armadura ativa é feita antes do lançamento do concreto, por meio de apoios que são independentes do elemento estrutural. “Sendo a ligação da armadura de protensão com os referidos apoios desfeita após o endurecimento do concreto; a ancoragem no concreto realiza-se somente por aderência.” A imagem a seguir demonstra como é a execução deste tipo de protensão.

Figura 2 - Esquema de execução de concreto protendido de pré-tração com aderência inicial



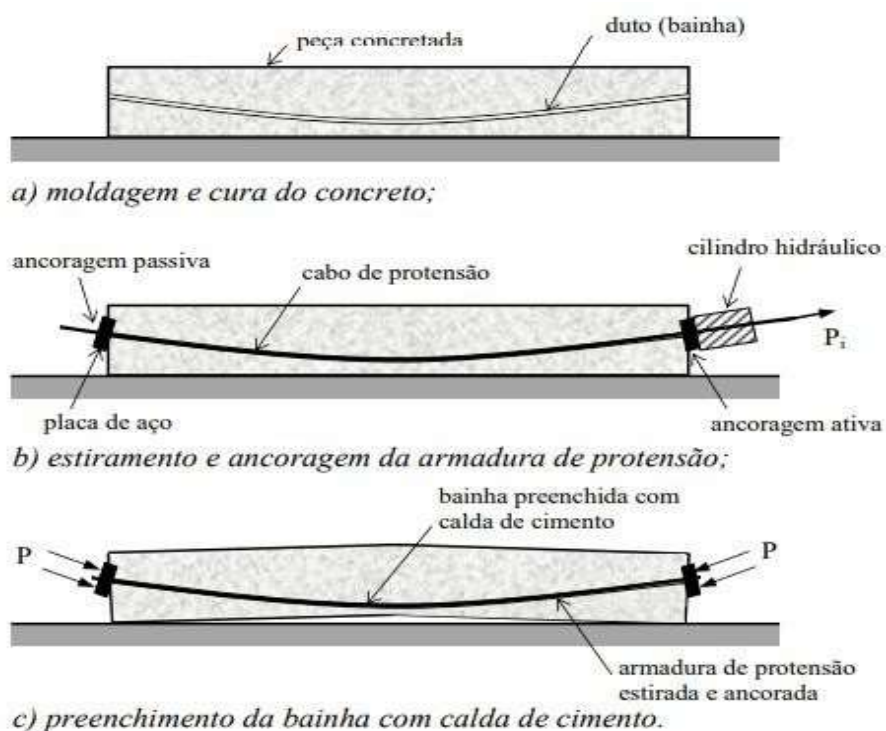
Fonte: (BASTOS, 2019).

2.1.1.2 Sistema de pós-tração com aderência posterior

Neste sistema a armadura é alongada após a concretagem do elemento, quando este atinge o fck de projeto. As ancoragens são fixadas no próprio elemento estrutural e a protensão se inicia quando a nata de cimento é injetada dentro das bainhas. Este sistema de protensão é comumente utilizado em estruturas moldadas no local, ou em peças pré-moldadas no canteiro, para aplicação em pontes e viadutos rodoviários.

A NBR 6118:2014 (item 3.1.8) define concreto com armadura ativa pós-traçada (protensão com aderência posterior): concreto onde o próprio elemento estrutural é utilizado como apoio, sendo o pré-alongamento realizado após o endurecimento do concreto e assim fazendo uma aderência posterior, por meio da injeção de nata de cimento nas bainhas metálicas. A imagem a seguir demonstra esse tipo de protensão.

Figura 3 - Esquema simplificado de fabricação de peça protendida com pós-tensão



Fonte: (BASTOS, 2019).

2.1.1.3 Sistema de pós-tração sem aderência

Na pós-tração sem aderência a armadura também é alongada após a concretagem do elemento quando este atinge o fck do projeto. As ancoragens são

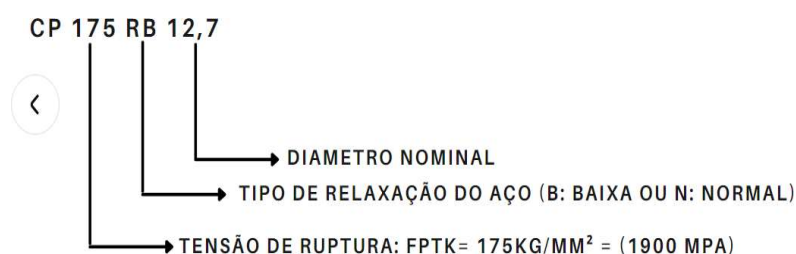
fixadas no próprio elemento estrutural, porém não há aderência com o concreto pois são utilizadas as cordoalhas engraxadas, que são um conjunto de fios de aço com alto teor de carbono e revestidos por bainha plástica de PEAD (polietileno de alta densidade), logo após sua fixação a protensão se inicia em todo o elemento. Este sistema passou a ser um dos mais utilizados no Brasil e no mundo, especialmente para obras de lajes lisa, nervurada, pisos industriais e em reforço estrutural.

A NBR 6118:2014 (item 3.1.9) define concreto com armadura ativa pós-tracionada (protensão sem aderência): concreto onde o próprio elemento estrutural é utilizado como apoio, sendo o pré-alongamento realizado após o endurecimento do concreto, “mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados.”

2.1.2 Aços para protensão

Segundo Bastos (2019), existem três tipos de aços de protensão: fios trefilados, cordoalhas (fios enrolados em forma de hélice) e barras de alta resistência. Um exemplo de como é feita a nomenclatura para os aços de protensão é:

Figura 4 - Nomenclatura de aço de protensão



Fonte: (AUTOR, 2021).

Nas tabelas a seguir estão indicadas as características dos fios fabricados por empresas brasileiras.

Tabela 1 - Especificação de fios (Catálogo Arcelormittal)

Especificações dos produtos – Fios para protensão							
Produto	Diâmetro nominal (mm)	Área aprox. (mm ³)	Área mínima (mm ²)	Massa aprox. (kg/1.000m)	Carga mínima de ruptura (Kn)	Carga mínima a 1% de deformação (Kn)	Alongamento após ruptura (%)
Fio CP RB (Relaxação Baixa)							
CP 145 RB	9,0	63,6	62,9	500	91,2	82,1	6,0
CP 150 RB	8,0	50,3	49,6	395	74,5	67,0	6,0
CP 170 RB	7,0	38,5	37,9	302	64,5	58,0	5,0
CP 175 RB	4,0	12,6	12,3	99	21,4	19,3	5,0
	5,0	19,6	19,2	154	33,7	30,3	5,0
	6,0	28,3	27,8	222	48,7	43,8	5,0
*CP 190 RB	4,0	12,6	12,3	99	23,4	20,8	5,0
	5,0	19,6	19,2	154	36,5	32,5	5,0
	6,0	28,3	27,8	222	52,0	47,5	5,0

Fonte: (Catálogo ARCELORMITTAL).

Segundo Bastos (2019), a tabela a seguir apresenta “as características de acondicionamento de fios do fabricante brasileiro. Os rolos devem ter etiquetas identificando a categoria do aço, tipo de relaxação, acabamento superficial, diâmetro, etc.

Tabela 2 - Dados dos acondicionamentos dos fios (Catálogo Arcelormittal)

ACONDICIONAMENTO				
Diâmetro nominal do fio CP RB e RN (mm)	Peso nominal (kg)	Diâmetro interno (cm)	Diâmetro externo (cm)	Largura do rolo (cm)
4,0	700	150	180	25
4,0	1.100	150	210	30
4,0	2.200	180	250	40
-5,0 -6,0 -7,0 -8,0 -9,0	700	180	210	25
-5,0 -6,0 -7,0 -8,0 -9,1	1.100	180	230	30
-5,0 -6,0 -7,0 -8,0 -9,2	2.200	180	250	40

Fonte: (Catálogo ARCELORMITTAL)

Nas tabelas a seguir estão indicadas as características e dados de acondicionamento das cordoalhas fabricadas por empresa brasileira.

Tabela 3 - Especificação De Cordoalhas Não Engraxadas

ESPECIFICAÇÕES DOS PRODUTOS – CORDOALHAS PARA PROTENSÃO							
Produto	Diâmetro nominal (mm)	Área aprox. (mm ²)	Área mínima (mm ²)	Massa aprox. (kg/1.000m)	Carga mínima de ruptura (kN)	Carga mínima a 1% de deformação (kN)	Alongamento após ruptura (%)
Cordoalhas de 3 fios CP 190							
Cord. CP 190 RB 3 X 3,0	6,5	22	22	171	41	37	3,5
Cord. CP 190 RB 3 X 3,5	7,6	30	30	238	57	51	
Cord. CP 190 RB 3 X 4,0	8,8	38	38	304	71	64	
Cord. CP 190 RB 3 X 4,5	9,6	47	46	366	88	79	
Cord. CP 190 RB 3 X 5,0	11,1	67	66	520	125	112	
Cordoalhas de 7 fios CP 190							
Cord. CP 190 RB 9,5	9,5	56	55	441	104	94	3,5
Cord. CP 190 RB 12,70	12,7	101	99	792	187	169	
Cord. CP 190 RB 15,20	15,2	143	140	1.126	266	239	
Cord. CP 190 RB 15,70	15,7	150	147	1.172	279	246	
Cordoalhas de 7 fios CP 210							
Cord. CP 210 12,70*	12,7	101	99	792	203	183	3,5
Cord. CP 210 15,20	15,2	143	140	1.126	288	259	

Fonte: (Catálogo ARCELORMITTAL).

Tabela 4 - Dados do acondicionamento das cordoalhas não engraxadas

ACONDICIONAMENTO DE CORDOALHAS NUAS PARA PROTENSÃO				
Tipo de cordoalha	Peso (kg)	Diâmetro interno (cm)	Diâmetro externo (cm)	Largura do rolo (cm)
3 e 7 fios	1.800	3.000	76	120
				80

Fonte: (Catálogo ARCELORMITTAL).

Tabela 5 - Dados de acondicionamento das cordoalhas engraxadas

ACONDICIONAMENTO DE CORDOALHAS ENGRAXADAS E PLASTIFICADAS PARA PROTENSÃO					
Tipo de cordoalha	Peso (kg)		Diâmetro interno (cm)	Diâmetro externo (cm)	Largura do rolo (cm)
Cordoalhas de 7 fios engraxadas e plastificadas	1.500	2.500	76	130	79

Fonte: (Catálogo ARCELORMITTAL).

2.1.3 Perdas de protensão

No processo de protensão as armaduras são expostas a uma força que ocasiona o seu alongamento, o qual é feito por meio de macacos hidráulicos. Contudo, essa tensão inicialmente submetida tende a decrescer com o passar do tempo, por diversos fatores, este processo é conhecido como perda de protensão.

Segundo Freitas (2018), as perdas de protensão podem ser definidas como as reduções que ocorrem na força da protensão ao longo de sua vida útil. Segundo Barros (2019) a força de pretensão decresce mais rápido no início e mais lentamente ao longo da vida útil da peça. Algumas das causas dessas perdas se dão por escorregamento na ancoragem, relaxação, encurtamento elástico inicial, retração, fluência e atrito. No final, todas as perdas são somadas para obter a perda de protensão total, que serve para calcular a força de protensão efetiva final.

2.1.3.1. Perdas de protensão imediatas

A NBR 6118:2014 (item 9.6.3.3.2) define que as perdas imediatas da força de protensão no caso de pós tração são causadas devido ao encurtamento imediato do concreto, que acontece quando se aplica a força de protensão, resultando no encurtamento tanto do concreto quanto da armadura que resulta na perda de parte do alongamento inicial. Outra causa é o atrito entre as armaduras e as bainhas, que ocorre durante o estiramento da armadura e tem como consequência a diminuição da tensão aplicada no aço ao longo da peça. Outro motivo que causam as perdas são os deslizamentos da armadura junto à ancoragem, que ocorrem após a fase de estiramento da armadura, quando o cilindro hidráulico solta a armadura.

2.1.3.2. Perdas de protensão posteriores

No item 9.6.3.4 a NBR 6118:2014 apresenta processos simplificados que podem ser aplicados no cálculo das perdas de protensão progressivas, em um determinado período de tempo (de t_0 a t) ou durante toda a vida útil da peça, válidos somente para a protensão com aderência. Os valores parciais e totais das perdas progressivas de protensão, decorrentes da retração e da fluência do concreto e da relaxação do aço de protensão, devem ser determinados considerando-se a interação dessas causas, podendo ser utilizados os processos indicados em 9.6.3.4.2 a 9.6.3.4.5. Nesses processos admite-se que exista aderência entre a armadura e o concreto e que o elemento estrutural permaneça no estágio I.

2.2 LAJES PLANAS EM CONCRETO PROTENDIDO

2.2.1 Concepção

Para a elaboração de projetos em concreto protendido a NBR 6118:2014 dispõe de certos critérios, dentre eles podemos citar a classe de agressividade ambiental, domínio de deformação, cobrimento, nível e tipo de protensão, dentre outros.

Segundo Rudloff (2009), para lajes planas protendidas independente do processo que seja escolhido, o cálculo se desenvolve da seguinte forma:

Quadro 1 - Sequência para cálculo de lajes planas protendidas

Sequência de Cálculo
1. Escolha da opção com ou sem aderência.
2. Distribuição dos pilares e escolha da espessura da laje em função do vão, do cobrimento e da resistência ao fogo desejados.
3. Fixação das características dos materiais a serem empregados.
4. Determinação das cargas.
5. Cálculo dos esforços solicitantes.
6. Escolha da protensão, isto é, da carga a ser "balanceada", e arranjo dos cabos.
7. Cálculo dos momentos secundários devidos à protensão.
8. Verificação do ELU para a flexão com o dimensionamento da armadura passiva necessária.
9. Verificação do ELU para o puncionamento.

10. Verificação dos Estados Limites de Utilização (limitação das fissuras, deformações lineares, vibração, resistência ao fogo).

11. Detalhamento da armadura passiva mínima.

Fonte:(Rudloff, 2009).

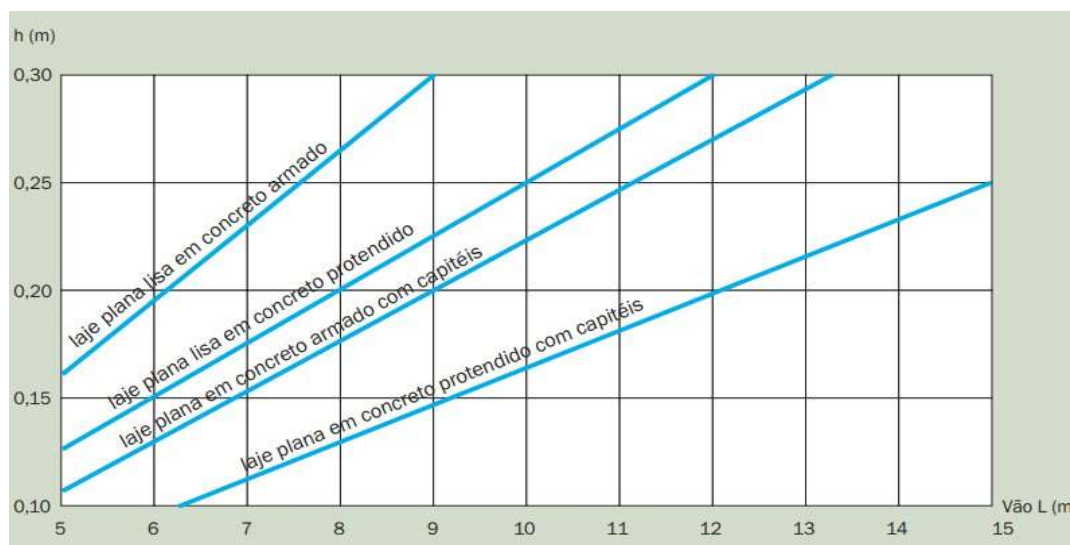
Segundo Rudloff (2009), a determinação da espessura da laje depende de fatores como o comportamento em relação ao ELU de flexão e o puncionamento. No entanto, para a escolha de valores práticos pode-se realizar as seguintes determinações:

$$L/h \leq 48, \text{ para lajes de cobertura.}$$

$$L/h \leq 40, \text{ para lajes de piso.}$$

“A espessura das lajes protendidas lisas não deve ser inferior a 16 cm. Esbeltez (L/h) superior a 40 exige comprovação da segurança em relação aos estados limites de utilização, de deformações e vibrações excessivas” (RUDLOFF, 2019). A figura a seguir demonstra um gráfico comparativo entre os diferentes tipos de laje.

Figura 5 - Gráfico comparativo para lajes em concreto armado ou protendido



Fonte: (Rudloff, 2009).

2.2 1.1 Espaçamento máximo e mínimo e cobrimento

Segundo a NBR 6118:2014, para que uma faixa de laje seja tratada como uma região protendida na direção considerada, o espaçamento entre cordoalhas, cabos ou feixes deve ser de no máximo $6h$, sendo h a altura da laje, a qual não pode exceder os 120 cm.

No que diz respeito aos espaçamentos mínimos, a norma recomenda que entre cabos e feixes de cabos ou entre cabos e armaduras passivas, deve ser mantido

um espaçamento mínimo de 5 cm. Já em relação ao cobrimento, é recomendado um cobrimento mínimo de 7,5 cm dos cabos em relação à face de abertura das lajes.

2.2.1.2 Classes de agressividade ambiental

Segundo Bonilha (2013), as estruturas em concreto precisam ser projetadas de acordo com as necessidades de proteção que o ambiente em que ela se encontra determina. Ou seja, para garantirmos que a construção conserve sua estabilidade, segurança e vida útil de projeto (vup), o tipo de concreto estrutural a ser utilizado vai depender da classe de agressividade ambiental, que são classificadas conforme a tabela a seguir, da NBR 6118:2014.

Tabela 6 - Classes de agressividade ambiental

TABELA 4 – 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 ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

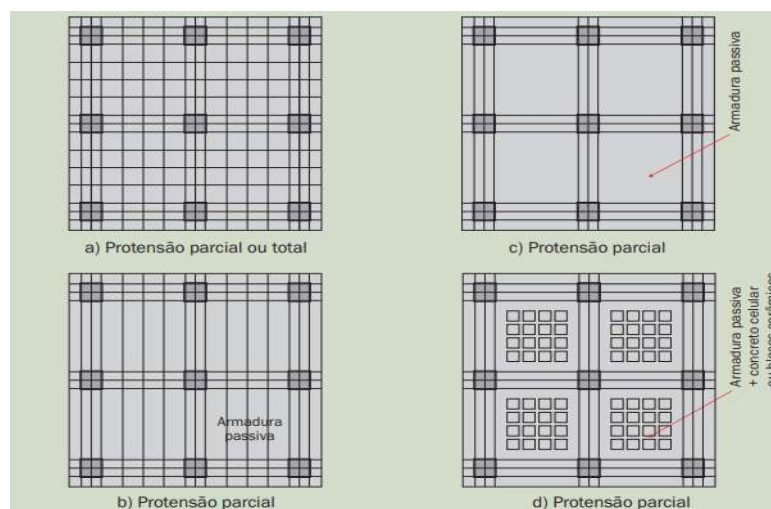
Fonte: (ABNT NBR 6118:2007).

2.2.1.3 Arranjo de cabos

Segundo Rudloff (2009), para arranjo de cabos “a resistência última de uma laje depende acima de tudo da quantidade total de cabos e de armadura passiva aderente em cada direção.” No entanto, estudos demonstram que a melhor opção de arranjo é colocar ao menos 50% dos cabos nas faixas dos pilares e que o restante seja distribuído uniformemente nas faixas restantes. Isto se dá devido á ensaios realizados que demonstraram que os cabos posicionados nas faixas dos pilares têm maior influência na capacidade de carga da laje.

Em relação ao cálculo de esforços solicitantes para carga não balanceada, utiliza-se o método do pórtico equivalente, o qual é regulamentado pela ACI 318 e determina que as lajes e seus respectivos pilares formam pórticos, considerando também suas forças horizontais (por exemplo, vento).

Figura 6 - Arranjos para cabos de protensão



Fonte: (RUDLOFF, 2009).

2.2.2 Execução

Segundo Rudloff (2009), para a execução de lajes planas protendidas podem ser usadas normas nacionais e internacionais como ABNT, CEB, FIP, dentre outras. Dentro dessas práticas de execução são considerados os seguintes aspectos construtivos:

Deve-se projetar as fôrmas e escoramento levando em conta seu peso próprio, peso do concreto, peso da armadura, sobrecarga atuante durante a construção e as deformações na laje devido a protensão.

Os cabos devem ser inseridos e fixados de forma ordenada e rigorosa, seguindo um alinhamento suave e sem mudança repentina de direção. Estes “Devem ficar perpendiculares às respectivas ancoragens em um comprimento de pelo menos 50 cm. Para as tolerâncias na colocação podem ser adotados os valores da tabela 7”.

Tabela 7 - Tolerância na colocação dos cabos

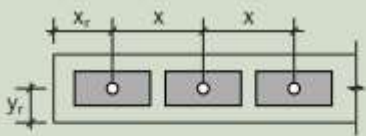
Espessura da laje	Tolerâncias	
	Vertical	Horizontal
$h \leq 200 \text{ mm}$	$\pm h / 40$	$\pm 20 \text{ mm}$

$h > 200 \text{ mm}$	$\pm 5 \text{ mm}$	$\pm 20 \text{ mm}$
----------------------	--------------------	---------------------

Fonte: (Rudloff, 2009).

Segundo Rudloff (2009), “O espaçamento dos cabos sobre os pilares deve permitir a colocação correta da armadura passiva e a perfeita concretagem. O espaçamento entre cabos na região das ancoragens respeita às dimensões das mesmas.” A tabela a seguir mostra os espaçamento adequado para as monocordoalhas.

Tabela 8 - Espaçamento Para Monocordoalhas



Cordoalha	x	x_r	y_r	Ancoragem (mm)
1/2"	150	90	70	110 x 70
5/8"	160	100	75	105 x 75

Fonte: (RUDLOFF, 2009).

Para a proteção das ancoragens, visando a durabilidade da laje é necessário um cuidado especial contra a corrosão da ancoragem, para cabos não aderentes.

2.2.2.1 Sequência construtiva

Para Rudloff (2009), estas são as etapas para execução de lajes planas protendidas:

Quadro 2 - Sequência construtiva para lajes planas protendidas

SEQUÊNCIA CONSTRUTIVA
1. Montagem das fôrmas que irão suportar a laje antes da protensão.
2. Instalação das ancoragens.
3. Colocação da armadura passiva inferior e de punção.
4. Distribuição dos cabos de protensão em planta.
5. Fixação dos cabos em elevação sobre os suportes (cadeirinhas), conforme projeto.
6. Colocação da armadura passiva superior.
7. Concretagem e cura do concreto.
8. Retirada das fôrmas verticais de borda.
9. Protensão dos cabos segundo o plano de protensão definido no projeto, com a obtenção dos alongamentos que serão comprados com os do projeto.
10. Retirada gradativa das fôrmas.

11. Corte das pontas, proteção das ancoragens e fechamento (grauteamento) dos nichos, obedecendo a técnica específica (7).

12. Injeção dos cabos, se forem aderentes.

Fonte: (Rudloff, 2009).

Segundo Rudloff (2009), A aplicação da força de protensão pode ser feita em 50% após o quarto dia de concretagem e com isso liberando o escoramento e as fôrmas, mas mantendo pontaletes nos terços dos vãos. “Os 50% finais poderão ser aplicados a partir do oitavo dia após a concretagem. A laje deverá ficar escorada se tiver de suportar a carga durante a execução da laje subsequente.”

2.2.2.2 Cuidados na execução

Por ser um sistema complexo e com mais detalhes em comparação ao convencional, a realização das lajes protendidas requer cuidados extras em toda o processo executivo durante a obra.

Um dos cuidados iniciais é no recebimento, onde durante a descarga das bobinas é recomendado utilizar correia de náilon. Também recomenda-se realizar a descarga já no local de armazenamento das cordoalhas, para assim evitar seu transporte excessivo. A área deve ser um local seco sobre um estrado e deve ser mantida coberta.

Além disso, é necessário preparar o material que é utilizado na montagem da laje, são eles a mangueira plástica, que são utilizadas para evitar que a cordoalha fique descoberta, e que são cortadas em 50 cm na ancoragem passiva e 30 cm na ancoragem ativa, junto dela é adicionado um cap aberto, próximo as ancoragens ativas, a figura 7 mostra tanto a mangueira plástica quanto o cap.

Os caps chegam à obra fechados e metade deles precisam ser abertos para encaixar a mangueira que ficará próxima a ancoragem ativa. A outra metade continua fechada para ser utilizada com o intuito de proteger a ponta do cabo antes do grauteamento do nicho de protensão.

Figura 7 - Mangueira plástica e cap utilizados nas cordoalhas



Fonte: (Moreira, 2017).

Na ancoragem ativa são utilizados *pocket form*, os quais são unidos a ancoragem e isolados por disco plástico, e que tem como objetivo impossibilitar a entrada de concreto caso haja alguma fenda entre a forma e *pocket form*.

A montagem e conferência das lajes é feita antes da colocação de condutores de eletricidade e outros dispositivos mecânicos. Caso haja interferência de outros dispositivos com os cabos, o engenheiro responsável deve ser consultado para relocação de algum dos elementos.

Antes da distribuição dos cabos, são posicionadas as barquetas, que servem para receber os dispositivos que garantem a elevação dos cabos, além de garantirem o cobrimento das armaduras passivas das lajes. Junto das barquetas são utilizados os agarra-cabos, que servem para fixar as elevações referentes ao traçado do cabo previsto em projeto, e que confina e sustenta o feixe de cabos sobre as barquetas. Todo esse conjunto é utilizado para compor uma determinada elevação dos cabos de aço na laje, e é feito previamente para possibilitar que o operário destinado a montar o sistema apenas verifique no projeto onde cada altura encaixa, como mostra a figura 8.

Figura 8 - Cadeirinha segurando os cabos



Fonte: (Moreira, 2017).

Recomenda-se realizar a distribuição dos cabos da ancoragem passiva para a ativa, garantindo o afastamento necessário do cabo até a fôrma lateral, sem que este precise ser afastado novamente. Para a protensão recomenda-se haver 1 técnico de protensão, 2 armadores e 2 serventes da obra, vale salientar que este número pode variar a depender do tamanho da laje, da quantidade de funcionários da obra e do tempo para execução.

Após a montagem, é fundamental que o serviço seja conferido, para assim verificar:

- A quantidade de cabos;
- Se o prolongamento do cabo está entre 30 e 50 cm;
- Se as mangueiras estão ponteadas, com o intuito de evitar a entrada do concreto;
- Se a distância do cabo com ancoragem passiva a forma é maior que 2,5 cm;
- Se junto as ancoragens ativas os cabos estão saindo na horizontal;

- Se os *Pocket Forms* estão isolados;
- Se as etiquetas indicam as alturas corretas nos locais indicados pelo projeto;
- Altura, distribuição dos cabos e armadura de fretagem;
- Se os cabos estão encostando no tubo de passagem;

Na etapa da protensão dos cabos, deve-se ter um cuidado na hora de retirar os *Pocket Forms*, para não os quebrar. Logo após sua retirada, a cavidade deve ser limpa e verificada quanto a presença de natas de cimento, que precisam ser retiradas. Também é inspecionada a integridade do concreto nos nichos e em toda sua superfície, caso encontrada alguma anormalidade, deve-se avisar aos responsáveis antes da protensão. As cunhas precisam ser espaçadas igualmente e inseridas uniformemente dentro da placa de ancoragem, como mostra a figura a seguir.

Figura 9 - Aplicação de cunhas na ancoragem ativa



Fonte: (Moreira, 2017).

Outra ação necessária durante a protensão é a marcação referente aos alongamentos durante a protensão (figura 10). Para isso é feita uma marcação com

spray de secagem nas extremidades ativas dos cabos. Após a protensão, é possível que a tinta já não seja mais visível, mas caso seja deve ser limpa.

Figura 10 - Aplicação do spray de secagem



Fonte: (Moreira, 2017).

Segundo Moreira (2017), Antes da protensão, outro item que deve ser verificado é o macaco-bomba, devendo ser avaliados os seguintes aspectos:

- Se as mandíbulas do macaco não estão com os dentes lisos, quebrados ou trincados e com o fechamento correto;
- Se não há rachaduras nas mandíbulas dos macacos, e se estas não estão empenadas;
- Se foi feita a limpeza no macaco, especialmente nas mandíbulas e nas áreas do pistão de cravação;
- Se o óleo da bomba está adequado quanto ao nível;
- Se todos os parafusos na bomba e macaco estão bem apertados, ou se falta algum deles;
- Se não há fios soltos ou descascados na tomada ou botoeira da bomba;

- Se a conexão da mangueira está correta entre os orifícios de pressão e retorno do macaco-bomba;
- Se o tamanho do batedor de cunhas do macaco está entre 5 e 8 mm;
- Se existem rachaduras ou vazamentos hidráulicos no macaco;

Após a protensão, deve-se realizar um relatório contendo os alongamentos dos cabos, com o intuito de conferir se os valores estão dentro daqueles previstos em projeto, caso estes não sejam alcançados, é recomendado que haja uma reprotensão.

Por fim, as causas mais prováveis de erros no alongamento são:

- Marca de cordoalha apagada por causa de tinta fraca, impossibilitando a conferência;
- Medição errada;
- Erro na leitura do manômetro de pressão devido a falha nas tabelas de aferição;
- Apoio errado do macaco;
- Assentamento excessivo das cunhas devido a erro nas tabelas de aferição;
- Excesso de atrito ao longo da cordoalha;
- Colocação errada das cunhas e da cordoalha;
- Variação nas propriedades do material, especialmente no módulo de elasticidade do aço;
- Concretagem defeituosa na região da ancoragem;
- Cordoalha exposta entre a placa de ancoragem ativa e o final da bainha;

Após verificação dos alongamentos, deve-se realizar os cortes na ponta dos cabos por meio do maçarico de oxiacetileno, como mostra a figura 11. Os cuidados principais nesta etapa são referentes a chama não atingir as cunhas, com o tempo para o corte devendo ser indicado pelo engenheiro responsável. Também é necessário que à parte exposta da ancoragem seja coberta com graxa e o cap fechado, a fim de evitar sua corrosão. Além de ser necessário que seja deixada uma pequena ponta de 13 a 20 mm após a cunha, para que haja um cobrimento de 25 mm em relação a face do concreto.

Figura 11 - Funcionário cortando cordoalha com maçarico



Fonte: (Moreira. 2017).

Por fim é realizado o grauteamento, para esta etapa é preciso que os nichos estejam completamente limpos ou isentos de qualquer material ou impureza que coloque em risco a aderência entre o graute e o concreto existente.

O construtor deve grautear as ancoragens expostas o mais cedo possível após os cabos terem sido cortados. Vale salientar que a argamassa não poderá conter nenhum aditivo com cloretos, sulfatos, nitratos ou qualquer elemento químico que danifique o aço de protensão ou as ancoragens.

Em conclusão, destaca-se a necessidade de uma atenção especial quanto a qualidade do preenchimento dos nichos, para assim garantir um comportamento estável da estrutura quanto o seu funcionamento e durabilidade.

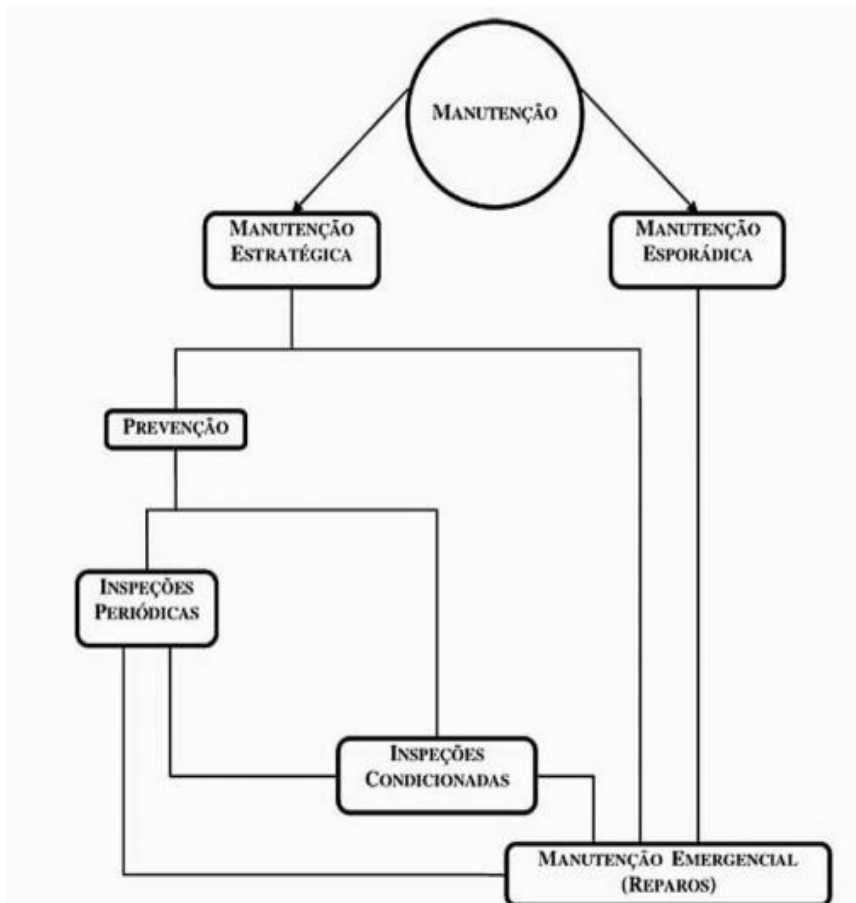
2.3 MANUTENÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO

2.3.1 Causas da necessidade da manutenção

Para que as estruturas atuem de acordo com as normas estabelecidas e atinjam a vida útil de projeto são necessárias ações que visam sua durabilidade e

manutenção. Na figura a seguir estão destacados os critérios utilizados para as manutenções em estruturas.

Figura 12 - Critérios para manutenção em estruturas



Fonte: (RIPPLER, 2009).

Segundo a NBR-5462:1994, a manutenção preventiva é aquela que é realizada em intervalos predeterminados, e que seja de acordo com critérios estabelecidos, com o objetivo de mitigar a probabilidade de falha, degradação ou defeito de um item. Já a manutenção corretiva visa reparar ou consertar falhas ou defeitos dos diversos tipos. Quando nos referimos a estruturas a manutenção corretiva pode ser feita com técnicas de reforço ou reparo nas estruturas, estas têm como finalidade preservar sua vida útil e durabilidade, a seguir serão exploradas algumas destas técnicas.

2.3.2 Técnicas de reforço e reparo em concreto protendido

Como já citado anteriormente as estruturas protendidas precisam de uma mão de obra mais especializada, dado o fato de ser um método construtivo mais complexo

e menos difundido em relação ao concreto armado. Portanto, por vezes, algumas falhas no processo de projeto e cálculo estrutural ou durante sua execução faz com que seja necessário o uso de técnicas de reparos ou reforço. Outro problema que pode acometer este tipo de estrutura tem a ver com sua durabilidade, onde a falta de manutenções e inspeções podem resultar em problemas químicos ou físicos na estrutura do concreto.

Segundo Boto (2015), também é considerada uma ação de reparo ou reforço a aplicação de redistribuição dos esforços, onde não é aplicada nenhuma técnica de reforço, mas apenas uma intervenção ativa com o uso de sistemas de força auto equilibrantes.

2.3.2.1 Reforço utilizando o compósito FRP

Segundo Juvandes (2011), o FRP (Fiber Reinforced Polymer) consiste em um compósito de fibras de carbono, que é uma solução com bastante adesão para quem precisa de reforço estrutural. O FRP é formado por três componentes principais, que são: “o compósito FRP propriamente dito, o adesivo de ligação material-FRP e as resinas de preparação do substrato a reforçar (primário, argamassas de reparação)”. Segundo Silveira (2020), a instalação das placas se dá através da colagem dos polímeros sobre a superfície do concreto na face tensionada da laje. A aplicação desta técnica apresenta vantagens como resistência a corrosão, o fato de a estrutura manter sua geometria original e também que há um acréscimo de peso desprezível na laje.

2.3.2.2 Protensão externa

Segundo Pinheiro (2018), a protensão externa é uma técnica de reforço onde os cabos são ancorados externamente a estrutura para então tracioná-los. Segundo Oliveira (2020), ela também é chamada de protensão sem aderência, pelo fato de não haver união direta entre as armaduras e o material feito previamente, sendo assim feita por meio dos blocos de ancoragem e desviadores.

Entre suas vantagens podemos citar que o consumo de concreto diminui, pois não é necessário engrossar todo o elemento. Também podemos citar o baixo peso acrescido à estrutura, e a possibilidade de fazer manutenção da protensão e substituição das cordoalhas. Como dificuldades, podemos citar que é preciso mão de

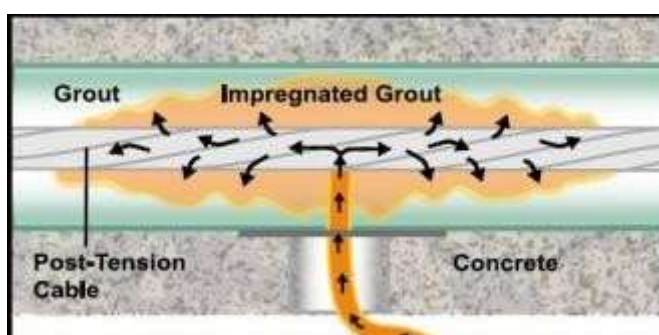
obra especializada e que é necessário fazer uma boa proteção contra a corrosão, pois o aço está exposto.

2.3.2.3 Post-tech PTI anticorrosivo

Segundo Whiltmore (2018), o post-tech PTI consiste num material que visa solucionar o problema da corrosão em estruturas pós-tracionadas aderentes. O material de impregnação é aplicado sob pressão e percorre ao longo dos fios para mitigar a corrosão em cabos protendidos com defeitos na argamassa, como segregação, argamassa mole, contaminação por cloreto e vazios.

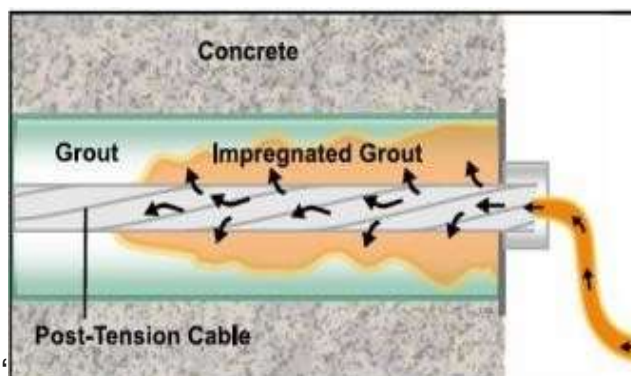
A aplicação desta solução pode ser feita a partir da ancoragem ou de pontos intermediários, as figuras 13 e 14 mostram como é o processo de aplicação do produto, seja em uma região intermediária ou na região da ancoragem.

Figura 13 - Aplicação do post-tech em região intermediária



Fonte (WHILTMORE, 2018)

Figura 14 - Aplicação do post-tech em ancoragem do cabo



Fonte (WHILTMORE, 2018).

2.3.2.5 Reforço por aumento de seção transversal

O uso de reforço com o aumento da seção transversal é uma das opções mais utilizadas no Brasil, esta consiste apenas no redimensionamento da seção transversal da estrutura, que pode precisar ser feita por erro no dimensionamento prévio, erro no cobrimento previsto, dentre outros. Segundo Ripper (2009), a adoção desta técnica tem como motivo o seu baixo custo dos materiais e o fato de ser um método bastante difundida no país.

2.4 ANÁLISE ESTRUTURAL PARA APLICAÇÃO DE REFORÇO EM ESTRUTURAS

Para realizar uma obra de reforço estrutural é necessário fazer uma análise profunda das condições da estrutura, para que assim possa ser feito o método mais rápido, barato e eficiente para o usuário. A seguir, encontram-se os principais aspectos técnicos para análise em projetos de reparo ou reforço (Paiva et al, LNEC 2006).

Tabela 9 - Aspectos técnicos para avaliar necessidade de reparo ou reforço

Segurança Estrutural	Características geométricas e propriedades dos materiais constituintes dos elementos estruturais já construídos e estado de conservação desses materiais
	Aplicabilidade das ações, das regras de combinação e dos coeficientes de segurança estabelecidos para construções novas
	Período de vida útil da estrutura após a intervenção
Análise Estrutural	Distribuição de esforços antes da intervenção
	Distribuição de esforços depois da intervenção
Soluções de interligação entre elementos ou materiais	Por colagem
	Por soldadura
	Por fricção ou atrito
	Por confinamento (pressão transversal)
	Com ferrolhos (corte e tração)
	Com ligadores metálicos (ex. parafusos, pregos)
	Por comportamento diferido
Dimensionamento (definição da capacidade resistente)	Funcionamento “em serviço”
	Resistência última
	Interação entre materiais novos e já existentes
	Funcionamento “em série” ou “em paralelo”
	Tipo de esforço dominante (compressão, tração, flexão, esforço transversal)
Durabilidade	Durabilidade relativa dos materiais

Coexistência não reativa
Resistência á corrosão e ao fogo
Resistência das ligações a fadiga

Fonte: (CEB, 1983).

A tabela 11 demonstra o que o ACI Committee 364 recomenda como metodologia para realizar projeto de reforço:

Tabela 10 - Metodologia para projeto de reforço

FASE A – AVALIAÇÃO DO ESTADO DA ESTRUTURA	
A1. Recolhimento de informação	
A1.1. Elementos de projeto	i. Peças desenhadas
	ii. Peças escritas
A1.2. Elementos de obra	i. Telas finais
	ii. Registros da fiscalização
	iii. Livro de obra
A1.3. História da estrutura	i. Registro de alterações de uso da estrutura
	ii. Registro de anteriores intervenções de reparação/reforço
A1.4. Levantamento da geometria da estrutura atual	i. Recolha da dimensão real dos elementos estruturais
	ii. Verificação da introdução / supressão de elementos estruturais
	iii. Verificação da conformidade do sistema estrutural do projeto/obra.
A2. Inspeção da estrutura	
A2.1. Abordagem nível 1	i. Registro, visualização, análise e eventual quantificação de defeitos visíveis e potenciais nos elementos estruturais (fendilhação, deformação, deterioração do concreto, deterioração do aço, etc.)
A2.2. Abordagem nível 2	i. Quantificação das propriedades mecânicas do concreto e do aço através de ensaios in-situ ou em laboratório.
	ii. Quantificação das anomalias registradas na abordagem nível 1 através de ensaios in-situ ou em laboratório.
FASE B – AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DA ESTRUTURA	
B1.1. Verificação da segurança da estrutura face às condições iniciais de projeto.	i. Verificação aos estados limites últimos
	ii. Verificação aos estados limites de utilização
B1.2. Verificação da segurança da estrutura face às novas exigências de utilização.	i. Verificação aos estados limites últimos
	ii. Verificação aos estados limites de utilização

FASE C – CARACTERIZAÇÃO DO TIPO E OBJETIVOS DA INTERVENÇÃO		
C1. Face aos resultados das fases A e B, deverá adotar-se uma das seguintes estratégias:	i.	Não intervir;
	ii.	Reparar em pequena escala;
	iii.	Reparar e eventualmente reforçar
	iv.	Reforçar;
	v.	Demolir
FASE D – PROJETO DE REPARAÇÃO/REFORÇO		

Fonte (CEB, 1983).

Referente a segurança das estruturas existentes é necessário realizar a verificação dos estados de limite último e de utilização, que são definidos com a seguinte equação:

$$S_d \leq R_d$$

Sendo S_d o valor do esforço que atua na estrutura, ou seja, o solicitante, e R_d o valor resistente da estrutura. Segundo Boto (2015), após escolhido o sistema de intervenção a se utilizar, deve-se realizar a modelagem da estrutura existente. Logo após é necessário quantificar as ações e os coeficientes de majoração para o cálculo estrutural.

Quantificação de ações: Regulamento de Segurança e Ações Para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1983) e, Eurocódigo 1 (CEN, 2002).

Coefficientes de majoração de ações: Coeficientes de segurança propostos no Boletim n.º 162 do CEB (CEB, 1983).

$$y'^g \begin{cases} 1,375x(y_g - 0,1) \rightarrow \text{Estruturas danificadas} \\ 1,25x(y_g - 0,1) \rightarrow \text{Estruturas sãs} \end{cases}$$

$$y'^q \begin{cases} 1,65 x y_q \rightarrow \text{Estruturas danificadas} \\ 1,5 x y_q \rightarrow \text{Estruturas sãs} \end{cases}$$

y'^g = Coeficiente de majoração de ações permanentes em estruturas existentes

y'^q = Coeficiente de majoração de ações variáveis em estruturas existentes

De acordo com o CEB (1983), alguns métodos podem determinar os esforços resistentes dos elementos, dentre eles podemos citar o de estimativa analítica, o qual é feito a partir de estimativas das propriedades mecânicas dos materiais. Outro é a partir do ensaio de prova de carga, que são feitos para avaliar a resistência da estrutura. E por fim, também pode ser feita uma estimativa empírica, que consiste na

aplicação de coeficientes redutores de possíveis ações danificantes que podem acontecer na estrutura.

De acordo com Boto (2015), o método de estimativa empírica pode ser obtido com as seguintes expressões:

$$R_{residual} = \varphi_R \times R_{inicial}$$

$$K_{residual} = \varphi_K \times K_{inicial}$$

Sendo:

$R_{inicial}$ – Características iniciais de resistência

$K_{inicial}$ – Características iniciais de rigidez

$R_{residual}$ – Características residuais de resistência

$K_{residual}$ – Características residuais de rigidez

φ_R – Coeficiente empírico para redução de resistência

φ_K – Coeficiente empírico para redução de rigidez

As tabelas a seguir mostram os valores dos coeficientes indicados pela CEB (CEB – Bul. 162, 1983).

Tabela 11 - Coeficiente φ_R para danos provocados por sismos (CEB, 1983).

TIPO DE CONSTRUÇÃO	Nível de danos			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Nova	0,95	0,75	0,45	0,15
Antiga	0,8	0,6	0,3	0
Nível A	Fendas de flexão isoladas com larguras inferiores a 1 – 2 mm, desde que um cálculo simples demonstre que estas fendas não são devidas a deficiência da armadura para as ações de dimensionamento, mas sim devidas a efeitos localizados (juntas de construção, restrições devidas a paredes divisórias, choques ligeiros, ações térmicas iniciais, retrações, etc.).			
Nível B	Várias fendas de flexão largas ou fendas de corte diagonais isoladas com larguras inferiores a cerca de 0.5 mm, não existindo deslocamentos residuais.			
Nível C	Fendas de corte bi diagonais e/ou esmagamento localizados no concreto devidos a corte e compressão, não existindo deslocamentos residuais apreciáveis; ocorrência de fendilhação em nós de ligação viga / pilar.			
Nível D	Rotura do núcleo de concreto do elemento, encurvadura dos varões (o elemento perdeu a continuidade, mas não colapsou), existindo apenas pequenos deslocamentos residuais (verticais e horizontais); ocorrência de danos severos em nós de ligação pilar / viga.			

Fonte (CEB, 1983).

Tabela 12 - Coeficiente φ_R para danos provocados por incêndios (CEB, 1983).

TIPO DE CONSTRUÇÃO	Nível de danos			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Nova	0,95	0,80	0,65	0,4
Antiga	0,9	0,75	0,6	0,3
Nível A	Sem danos, exceto algum descasque mínimo do acabamento e/ou do concreto.			
Nível B	Acabamento bastante afetado, algum descasque do concreto; micro fendilhação generalizada da superfície do concreto e eventual cor rosada, o que dependerá dos agregados			
Nível C	Arranque generalizado do acabamento, descasque significativo do concreto e eventual cor cinzento avermelhado / esbranquiçado; os varões ainda estão aderentes ao concreto, apenas um varão no caso de pilares ou até 10% da armadura principal no caso de vigas e lajes, tenha encurvado.			
Nível D	Danos severos, descasque generalizado do concreto, deixando à vista praticamente toda a armadura; o concreto possui uma cor amarela acastanhada; mais do que um varão no caso de pilares ou até 50% da armadura principal no case de vigas e lajes, encurvou, podendo existir distorção dos pilares; eventuais fendas de corte com poucos milímetros de largura nos pilares; eventuais fendas de flexão / corte com vários milímetros de largura nas vigas e lajes e possíveis flechas apreciáveis.			

Fonte (CEB, 1983).

Tabela 13 - Coeficiente ϕR para danos provocados pela corrosão (CEB, 1983).

TIPO DE CONSTRUÇÃO	Nível de danos			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Nova	0,95	0,8	0,6	0,35
Antiga	0,85	0,7	0,5	0,25
Nível A	Manchas de ferrugem, alguma fendilhação longitudinal, perda de secção de armadura <1%			
Nível B	Manchas de ferrugem, alguma fendilhação longitudinal e transversal, algum descasque do concreto, perda de secção da armadura <5%.			
Nível C	Manchas de ferrugem, fendilhação extensa, descasque significativo do concreto, perda de secção da armadura <10%.			
Nível D	Manchas de ferrugem, fendilhação extensa, descasque do concreto em algumas zonas deixando a armadura à vista, perda de secção da armadura			

Fonte (CEB, 1983).

De acordo com Boto (2015), “Para verificação dos estados limites de utilização, são calculados os esforços com combinações de ações no Estado Limite de Utilização. No lado da resistência dos materiais, as características de resistência (rigidez axial e de flexão), devem ser reduzidos 20%, coeficiente ϕR , (consultar tabelas 6,7 e 8 do CEB, 1983) (CEB, 1983).”

2.4.1 Tipo de intervenção

Segundo a CEB, para determinar o tipo de intervenção é usado o coeficiente de capacidade ϕ , que é dado pela seguinte expressão:

$$\phi = \frac{R'd}{S'd}$$

Sendo:

Φ = Coeficiente de capacidade;

$R'd$ = Esforço de cálculo residual resistente;

$S'd$ = Esforço de cálculo atuante;

Segundo Boto (2015), para decidir o tipo de intervenção devemos nos basear tanto na tabela seguinte, sugerida pela CEB, quanto na importância e utilização da estrutura.

Tabela 14 - Relação entre Coeficiente de Capacidade e Grau de Intervenção

Coeficiente de Capacidade ϕ ,	Ação
$\phi \geq 1$	Não Reforçar
$0,67 < \phi < 1$	Reparar e eventualmente reforçar
$0,50 < \phi < 0,67$	Reforçar
$\phi \leq 0,50$	Demolir

Fonte (CEB, 1983)

2.4.2 Parâmetros para dimensionamento de reforço

Para o cálculo estrutural dos reforços, deve-se tomar como base as recomendações das normas nacionais e/ou internacionais. A CEB indica os seguintes coeficientes de minoração:

Tabela 15 - Coeficientes de minoração ($\gamma'C$) para concreto feito em obra (CEB, 1983)

Controle de Qualidade e Inspeção	Espessura Adicional			
	<100 mm		>100 mm	
	Acessibilidade			
	Baixa	Normal	Baixa	Normal
Alto	1,80	1,65	1,50	1,50
Médio	1,95	1,80	1,65	1,50

Fonte: (CEB, 1983).

Tabela 16 - Coeficientes de minoração ($\gamma'C$) para concreto pré-moldado (CEB, 1983).

Controle de Qualidade e Inspeção	Acessibilidade	
	Baixa	Normal
Alto	1,95	1,80
Médio	2,10	1,95

Fonte: (CEB, 1983).

Tabela 17 - Coeficientes de minoração ($\gamma'S$) para Aço (CEB, 1983)

Controle de Qualidade e Inspeção	Armaduras Novas
Alto	1,40
Médio	1,40

Fonte: (CEB, 1983).

De acordo com Boto (2015), existem alguns métodos para determinar os esforços resistentes das estruturas, um deles é o método dos coeficientes globais. Neste método os esforços são determinados excluindo qualquer dano de tensão prévio, antes da aplicação do reforço. Logo após é aplicado um coeficiente redutor, que representa a ligação entre a estrutura existente e o reforço. O seu valor é determinado pelo projetista, considerando o tipo de reforço que será utilizado.

$$R_r = y_{n,R} \times R_i$$

R_r = Resistência da estrutura após reforço

$y_{n,R}$ = Coeficiente de monolitismo

R_i = Resistência da estrutura supondo que é nova

Segundo Boto (2015), “A verificação das tensões de corte e as tensões normais entre o material de reforço e a estrutura existente devem ser alvo de análise neste tipo de projetos.”

$$r_{Sd} \leq r_{Rd}$$

$$\sigma_{Sd} \leq \sigma_{Rd}$$

r_{Sd} = Tensão de corte aplicada

r_{Rd} = Tensão de corte resistente

σ_{Sd} = Tensão normal aplicada

σ_{Rd} = Tensão normal resistente

2.5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As manifestações patológicas das estruturas em concreto protendido podem estar associadas em diferentes fases do projeto, seja na concepção, execução, ou também em sua utilização. Na fase de concepção é necessário estar atento as características do concreto, a classe de agressividade ambiental, o tipo de aço, o sistema de protensão, o microclima local e também ao detalhamento do projeto, tanto na fase de cálculo estrutural quanto na sua execução.

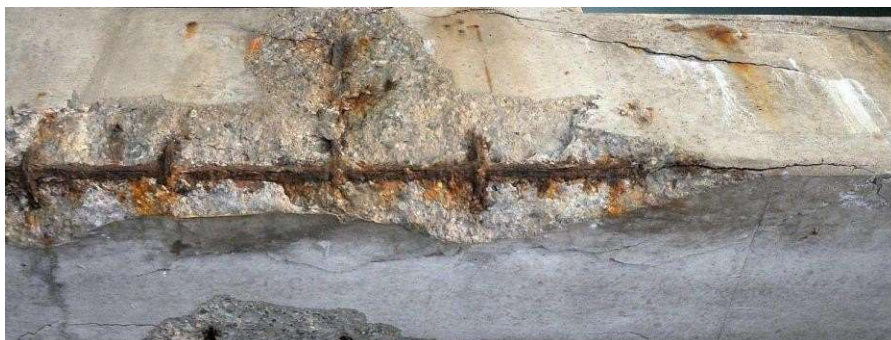
Na fase de execução é preciso ter cuidado ao transporte dos materiais, lançamento do concreto, condições de ancoragem, protensão dos cabos, dentre outros. Também é necessário ter especial atenção quanto a mão de obra utilizada, que precisa ser especializada, a fim de evitar que apareçam problemas futuros. Já durante o pós uso, as falhas podem vir provenientes de mal uso da edificação como a aplicação de sobrecarga não prevista, ou também por falta de uma inspeção regular na construção. É importante ressaltar que com o advento da norma de desempenho NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, o tema da durabilidade vem ganhando cada vez mais força, portanto é necessário cada vez mais que os profissionais da engenharia estejam munidos de informações das origens e causas relacionadas as manifestações patológicas.

2.5.1 Carbonatação

A carbonatação é uma das patologias mais presentes em estruturas de concreto (armado ou protendido), esse fenômeno é causado por uma reação do CO_2 (dióxido de carbono) com o concreto, que quando em altas concentrações penetra os poros do concreto, iniciando uma série de reações químicas que tem como produto o carbonato de cálcio. Este processo apesar de não afetar necessariamente a resistência do concreto, diminui a sua alcalinidade.

Segundo Alves (2020), essas reações fazem com que o pH da água que se encontra na pasta do cimento seja reduzido, e esta diminuição no pH da água em contato com o aço faz com que o mesmo perca sua camada passivada protetora, o que o leva a reagir com a água e oxigênio, resultando em sua corrosão. A figura 15 demonstra como fica a superfície de concreto quando está com um alto índice de carbonatação.

Figura 15 - Superfície de concreto carbonatada



Fonte (TECNOSIL, 2020).

2.5.2 Ataque de cloretos

A penetração de íons cloretos nas estruturas de concreto causam malefícios como a despassivação do aço de forma mais rápida, a corrosão das armaduras de aço, o surgimento de trincas e o deslocamento de concreto. Essa patologia costuma ocorrer principalmente em regiões litorâneas, onde a agressividade marinha causa diversos danos à estrutura do concreto. Segundo Alves (2020) os íons do cloreto em contato com a camada passivada protetora de aço, reagem e formam o cloreto de ferro (FeCl_2). O FeCl_2 reage com a água (H_2O) e forma o hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$). Este, reage com a água e o oxigênio, formando o hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), mais conhecido como ferrugem. A figura 16 mostra como fica a estrutura quando se encontra em região com alta presença de cloretos.

Figura 16 - Ataque de cloretos em região marinha



Fonte (ANDRADE, 2016).

2.5.3 Corrosão nas cordoalhas e ancoragens

Segundo Alves (2020), é necessário haver uma atenção especial com a corrosão do aço nas estruturas em concreto protendido. Uma das questões que justificam um cuidado extra é em relação ao fato de os fios serem pequenos, possuindo diâmetros entre 4 e 9 mm, além de estarem submetidos a grandes tensões. Esses dois fatores combinados com um ambiente agressivo potencializam a corrosão, podendo ocorrer um fenômeno chamado de corrosão sob tensão (stress corrosion). Esta patologia ocorre quando o aço tensionado está na presença de ambiente úmido, que contenha quantidade significativa de cloretos, sulfatos, sulfetos, nitratos e ácidos, que como consequência surge a corrosão, podendo levar o mesmo à ruptura frágil, causando o colapso da estrutura.

Também pode ocorrer a fragilização por hidrogênio nas cordoalhas, onde uma grande presença de hidrogênio atômico pode resultar na diminuição da ductilidade, aparecimento de trincas e em casos mais graves a ruptura das cordoalhas.

Outro tipo de corrosão comum nas estruturas protendidas são aquelas que atingem as ancoragens. Estas se dão principalmente pelo fato de após feita a protensão, os construtores acabam não realizando o grauteamento destas, ou também quando este é feito de forma inadequada, possuindo uma quantidade de cloretos e sulfatos acima do que a norma estabelece.

2.6 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA MONITORAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

2.6.1 Pacometria

O ensaio de pacometria tem como objetivo identificar a presença e localização de barras de aço dentro de uma peça de concreto. Isso é possível através da mensuração da interferência causada pelo aço no campo magnético que é emitido pelo equipamento. Quanto maior o diâmetro (bitola) da barra de aço, ou quanto mais próximo do equipamento, maior é a interferência.

A pacometria também é bastante utilizada como ensaio preliminar para outros ENDs, como esclerometria ou ultrassonografia, principalmente quando os ensaios

precisam ser feitos apenas na peça de concreto. A figura 17 demonstra o ensaio de pacometria.

Figura 17 - Ensaio De Pacometria



Fonte (PROCEQ, 2021).

2.6.2 Esclerometria

O ensaio de esclerometria consiste em uma técnica não destrutiva guiado pela NBR 7584:2012, o qual é realizado com uma massa de martelo que se choca com a peça de concreto ensaiada. Para isso, essa massa de martelo recebe o impulso de uma mola, portanto quanto maior for a dureza da superfície, menor será a deformação permanente e maior deve ser o recuo ou a reflexão da massa martelo.

Com os valores das deformações obtidas é possível fazer uma correlação entre os valores alcançados e a resistência superficial do concreto, servindo também para fazer uma análise a longo prazo das condições da estrutura, a figura 18 demonstra o ensaio de esclerometria.

Figura 18 - Ensaio de Esclerometria

Fonte (PROCEQ, 2021).

2.6.3 Ultrassom

O ensaio de ultrassonografia, que é guiado pela NBR 15955:2016, consiste em uma técnica que emite ondas mecânicas com frequências superiores a ondas sonoras, essas ondas percorrem pelo concreto, refletindo e voltando para o equipamento. Em geral, ondas se propagam mais rapidamente em locais com densidade elevada, ou seja, quanto menos vazios, mais denso é o concreto e maior será a velocidade de propagação da onda, conseqüentemente, quanto mais vazios, menos denso será o concreto e menor será a velocidade de propagação da onda.

Portanto, com este ensaio é possível descobrir regiões do concreto onde há uma grande presença de vazios e defeitos, o que facilita na tomada de decisão da necessidade ou não de realizar manutenções corretivas. A figura 19 demonstra o ensaio de ultrassonografia.

Figura 19 - Ensaio De Ultrassonografia

Fonte (PROCEQ, 2021).

2.6.4 Carbonatação

Para verificação da espessura de carbonatação utiliza-se uma solução líquida em fenolftaleína, que é um indicador de pH e consiste em uma mistura de álcool etílico com fenolftaleína em pó e água ou álcool. A solução quando borrifada no concreto torna-se incolor quando o pH é inferior a 8,3, o que indica que o concreto está carbonatado, e rosa para valores superiores a 8,3, que indicam que ele não está carbonatado, ressalta-se que o pH normal do concreto varia entre 12,5 a 14. Mede-se ao final do ensaio a profundidade carbonatada com auxílio de uma trena ou régua, como mostra a figura a seguir.

Figura 20 - Ensaio de profundidade de carbonatação

Fonte (SOLUÇÃO, 2020).

2.6.5 Ensaio de teor de cloreto

O ensaio que mede o teor de cloretos é chamado de método colorimétrico com aspersão de nitrato de prata (AgNO_3). Segundo Bonadeu (2016), Tal metodologia é possível porque quando o nitrato de prata entra em contato com íons cloreto, ocorre a precipitação de cloreto de prata, uma substância de cor branca, o que permite visualizar se o concreto está com cloreto. Segundo Medeiros (2015), na região sem cloretos ou com cloretos combinados, há formação de um precipitado marrom, o óxido de prata.

Porém, como a frente de penetração de cloretos não é regular, isto pode mascarar as medidas de profundidade de ingresso dos cloretos. Logo, quando os cloretos estão inseridos na matriz do concreto, a visualização pode tornar-se um pouco mais difícil. A figura a seguir mostra o ensaio.

Figura 21 - Ensaio de teor de cloreto



Fonte: (REAL, 2015).

2.6.6 Ensaio RIMT

Segundo a CORDEC (2011), o RIMT consiste em um ensaio que “detecta, localiza e qualifica anomalias em cabos de concreto protendido (aderentes e não aderentes)”. Por meio deste é possível localizar a corrosão, vazios de injeção e a presença de água em cabos protendidos.

O ensaio consiste em conectar o equipamento a um cabo ou tirante próximo, como mostra a figura 22, logo após um sinal é lançado e refletido ao emissor através de um fio, com a análise do sinal é possível determinar as anomalias presentes nos cabos ou tirantes. Segundo SANTOS (2018), a análise das anomalias é feita através de uma escala de integridade de 1 a 6 para anomalias de corrosão. Do nível 1 ao 3

significa que os cabos se encontram em condições normais, o 4 e o 5 demonstram que houveram perdas significativas e o nível 6 demonstra necessidade de reforço estrutural.

Figura 22 - Ensaio RIMT



Fonte: (CORDEC, 2011).

2.6.7 Ensaio de tomografia ionizante (RCT)

Segundo Mariscotti (2004), o ensaio de tomografia ionizante segue uma lógica bastante parecida com o da área médica. Neste, "Os raios gama de uma fonte radiativa iluminam a estrutura a ser examinada e o feixe transmitido é registrado por placas fotográficas ou por detectores especiais." Para isso, é utilizado um hardware que projeta os dados obtidos em campo, com o auxílio de um software para analisá-los, obtendo assim uma reconstrução tridimensional da estrutura em campo.

Com seu uso é possível extrair informações como a região de vazios do concreto e a corrosão em que se encontram as barras de aço. Também é possível obter posição, diâmetro e condições das barras de aço, além de indicação de estribos observados, além também da presença de vazios, rachaduras ou qualquer outro elemento do interesse do cliente.

Figura 23 - Ensaio de tomografia ionizante em viga



Fonte: (THASA, 2020)

2.6.8 Ensaio de termografia infravermelha

O ensaio de termografia corresponde a uma técnica não destrutiva onde é possível obter as temperaturas das superfícies que são analisadas, como mostra a figura 24. O ensaio é feito com a câmera termográfica, a qual permite verificar infiltrações, vazamentos e até mesmo fissuras, através da diferença de temperatura. Alguns cuidados são necessários para realizar o ensaio de termografia, pois variáveis como o vento, radiação solar e umidade podem mascarar os resultados, por isso é recomendável que o ensaio seja realizado no início da manhã ou quando o sol está para se por, por causa da variação térmica que ocorre nestes momentos.

Figura 24 Superfície de parede em ensaio de termografia



Fonte: (ROCHA, 2018).

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada é de caráter exploratório e busca encontrar fundamentos técnicos para analisar e avaliar as lajes planas em concreto protendido, para assim ser possível a realização do manual. Ela também aborda e descreve as patologias que possam acometer a estrutura, além de descrever as possíveis soluções para estes problemas. O estudo foi desenvolvido a partir de:

1. Revisão bibliográfica: O referencial teórico foi feito com uma pesquisa abrangente sobre o conceito e tipos de protensão, além da concepção e execução de lajes planas em concreto protendido, contando também com a conceituação e descrição das manifestações patológicas, além de técnicas de reparo e reforço, análise estrutural e ensaios técnicos. O referencial foi encontrado em arquivos científicos, manuais, catálogos de empresas e artigos disponibilizados pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, ACI – American Concrete Institute e CEB - Comitê Euro-Internacional de Betão, PTI - Post-Tensioning Institute.

2. Pesquisa em campo: realizada através de entrevistas formuladas com questões abertas de natureza exploratória, para entender um pouco mais sobre os processos que circundam a construção em lajes planas em concreto protendido, desde concepção e fabricação até montagem e manutenção.

3. Estudos de caso: Estudos que analisam temas como viabilidade financeira, técnicas de reforço e manutenção em obras de concreto protendido realizadas no Brasil e no exterior.

4. Web seminários sobre lajes protendidas e sites de empresas especializadas na concepção, execução, uso, operação e manutenção de lajes protendidas.

5. Visita em obra local de lajes protendidas.

3.1 ESTUDO DE CASO DE OBRA EM ARACAJU - CENTRO MÉDICO

A visita realizada nessa obra serve como um dos referenciais para a elaboração do manual de uso, operação e manutenção em lajes planas protendidas. O elemento estrutural em questão consiste em uma laje lisa protendida, que está localizada na Avenida Antônio Carlos Leite Franco nº70, no bairro Jardim Europa, e é um edifício comercial em torre única com 15 pavimentos, sendo os 3 primeiros

compostos por lojas, farmácias e restaurantes e os outros 11 pavimentos e cobertura são compostos por salas comerciais. Já as laterais da torre são compostas por lajes nervuradas, que são os 3 pavimentos que compõe as garagens. A área total do terreno é de 6.726,25 m² e área total construída de 31.332,94 m² e consiste em salas médicas para atendimento.

Para esta laje foi adotado o sistema de pós-tração não aderente com cordoalhas engraxadas. Inicialmente foram feitos uma série de questionamentos sobre todo o processo de execução e montagem da laje, e quais cuidados extras são necessários para as estruturas protendidas.

Com relação a execução, ela foi feita da forma tradicional que é feita a protensão não aderente, as dificuldades apontadas foram em relação a falta de experiência da equipe em realizar este método construtivo, e por ser um sistema construtivo que exige maior fiscalização, por exemplo, no que se refere a verificação das alturas das cordoalhas, que era feita em 3 pontos ao longo da laje para cada cordoalha. Também foi citado um cuidado maior durante a concretagem, onde os equipamentos de vibrar o concreto não podiam alterar a posição das cordoalhas.

Também foi questionado como era garantido que os cabos não rompessem durante a fase de protensão, e a resposta é de que quando há um rompimento de um cabo este é expulso da cordoalha, sendo possível verificar que houve a quebra, além disso também ocorre um estrondo significativo nesse momento. No tocante aos cuidados especiais que são necessários na protensão, temos que para garantir a qualidade da ancoragem ela precisava ser feita totalmente na horizontal ou na vertical, pois se feita de outra forma poderia causar um momento fletor não previsto na estrutura.

Além disso, a protensão era iniciada ao menos 4 dias após a concretagem, caso o resultado da resistência a compressão feito em laboratório fosse o previsto. O controle da protensão era feito conferindo o alongamento dos cabos, e para conferir era feito um gabarito com a posição inicial do cabo, feito o alongamento, partia-se para conferir se o cabo teve o alongamento previsto em projeto, com o alongamento podendo ser maior ou menor que 12% em relação ao calculado. A não deformação da laje era garantida com a armadura de fretagem, a qual é feita nos pontos de ancoragem dos cabos de protensão e que tinha como objetivo fazer com que a laje não expandisse, evitando sua ruptura local.

Quanto ao controle tecnológico, o principal ensaio feito para controle durante a obra foi o de rompimento por corpo de prova, com o intuito de avaliar quando o fck atingia o esperado em projeto. Além disso, também era feito um controle em relação ao alongamento das cordoalhas. Em relação a execução da laje, vale ressaltar que houve um reposicionamento das cordoalhas, pois em um trecho que estava previsto havia um shaft no local, também vale salientar que ocorreu um atraso de 17 dias no início da construção, os motivos alegados foram principalmente em relação a falta de experiência da equipe quanto ao sistema construtivo. Outros cuidados citados na execução foram a marcação das canaletas, para facilitar no posicionamento e altura das cordoalhas. A imagem a seguir demonstra uma das etapas da construção.

Figura 25 - Etapa de adensamento do concreto



Fonte: (Silva, 2020).

Houve também um rompimento de uma das cordoalhas durante o processo de protensão, que após identificada foi substituída em um processo onde o macaco hidráulico é adaptado, e se faz uma espécie de “tração reversa” a cordoalha, que em vez de puxar o cabo e apertar a cunha, é feita apenas a retirada da cordoalha, mantendo a capa plástica.

Por fim, foi questionado quais as razões técnicas e econômicas em realizar as lajes planas protendidas. Como justificativa, os realizadores afirmaram que esta possui vantagens como significativo ganho de espaço, menor número de pilares executados e conseqüentemente o uso de vãos maiores na estrutura. Além de que,

por ser uma estrutura de grandes dimensões, a solução pretendida seria mais barata em relação a convencional.

Portanto, podemos concluir que são inúmeros e diferentes os cuidados necessários para realizar uma estrutura pretendida em relação a convencional. Também vale ressaltar que alguns cuidados a mais podem ser feitos, como utilização de ensaios não destrutivos para melhorar o controle de qualidade da obra, por exemplo, utilizar o ultrassom a fim de atestar que o concreto foi bem feito, ou conferir o posicionamento das armaduras passivas a partir da pacometria. Também é preciso salientar que por ser um tipo construtivo ainda pouco utilizado localmente, é necessário que sejam feitos treinamentos e capacitações da mão de obra quanto as particularidades deste método construtivo, para que assim seja possível usufruir dos seus benefícios.

3.2 ESTUDO DE CASO - PONTE WEST-SEATTLE

A ponte West-Seattle consiste em uma estrutura pretendida localizada nos Estados Unidos, onde as obras iniciaram em 1980 e foi inaugurada em julho de 1984. Ela atravessa o rio Duwamish e conecta as regiões oeste e leste de Seattle, que é uma cidade litorânea e conhecida pelo clima úmido, situada na costa leste dos Estados Unidos, no estado de Washington. Em relação as suas dimensões ela possui ao total sete pistas, 43 metros de altura e um comprimento total de 795 metros. O estudo de caso foi realizado pelo engenheiro PhD Michael C. Brown, e apresentado na Concrete Convention de 2020 da American Concrete Institute.

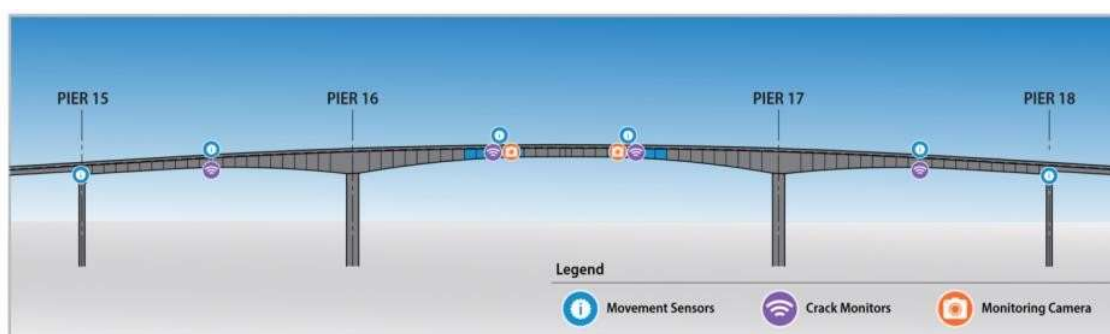
Seu método construtivo é conhecido como balanceamento em consolas, o qual é formado por múltiplos vãos através de cantivelers, que são estruturas que se projetam horizontalmente no espaço através de múltiplos vãos onde as partes de cada estrutura se conectam, esses vãos são apoiados por vigas em caixa feitas de concreto pretendido. A figura a seguir demonstra uma visão panorâmica da ponte.

Figura 26 - Visão panorâmica da West Seattle Bridge



Fonte: (Swaby, 2020).

Figura 27 - Representação Frontal Da Ponte



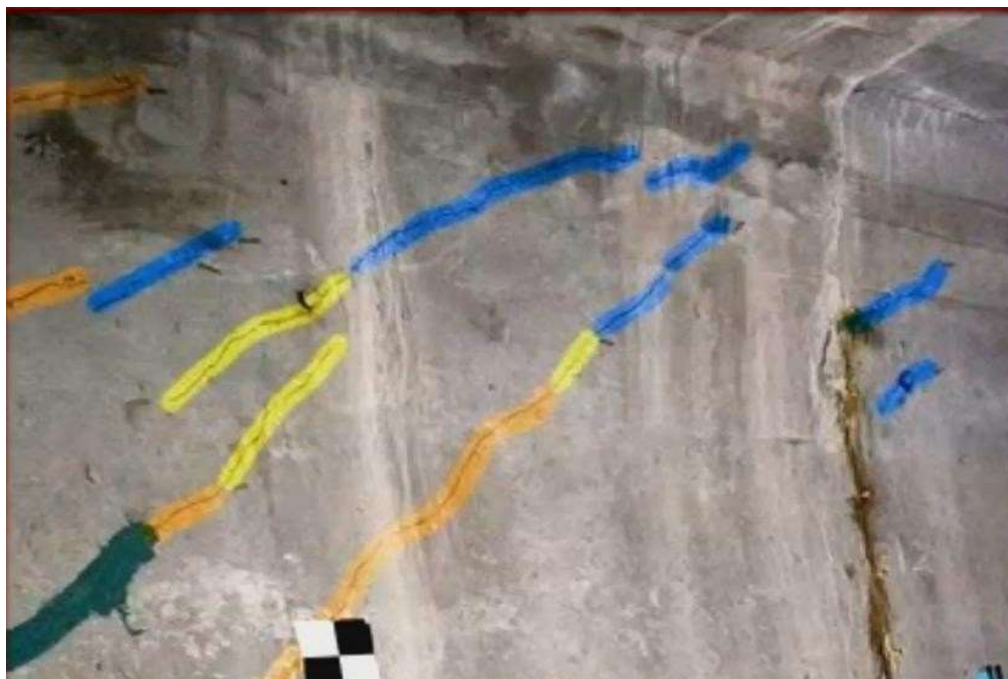
Fonte: (Westseattleblog.com, 2020).

As manifestações patológicas têm seu início em 1998, quando começaram a surgir fissuras no vão central da ponte, na região das vigas em caixa, entre o convés suspenso e no local que liga a laje e a viga. É importante ressaltar que as fissuras estavam ao longo das duas extremidades da viga, de maneira uniforme, como se estivessem espelhadas. Após isso, em 2009 foram reportadas novas trincas longitudinais e diagonais no fundo das vigas em caixa, além de aberturas diagonais e horizontais na alma da viga, e outras nas regiões da junta de dilatação. Também foram encontradas fissuras internas, como mostra a figura 28.

Dado o conjunto de problemas, a partir de 2013 iniciou-se um monitoramento das fissuras e trincas na ponte por meio de medidores nas regiões do fundo das vigas e das almas. Em 2019 houve uma ação com o intuito de preencher com epóxi as

fissuras com mais de 0,2mm, que no final das contas não solucionou os problemas, pois durante o inverno de 2019 para 2020 foram registradas aberturas cada vez maiores e mais preocupantes, que resultaram no fechamento da ponte para tráfego de carros, determinado pelo departamento de transportes de Seattle.

Figura 28 - Fissuras na região interna da ponte



Fonte: (Markovich, 2020).

Feita a investigação prévia, seguiu-se para fazer avaliações por meio de ensaios não destrutivos. O primeiro feito na região interna da ponte foi o de ultrassom, o qual foi feito com o objetivo de determinar a profundidade e existência de fissuras na região interna da estrutura. Após os ensaios, conclui-se que as fissuras existentes na ponte eram superficiais e que elas não se encontravam no interior do concreto.

Em adição a este, também foi feito o ensaio de ultrassom por tomografia na estrada da ponte, com o objetivo de fazer uma correlação com o que foi feito no interior e assim ter um resultado mais amplo de como estava a situação da ponte. Decorrida a análise, chegou-se à conclusão de que as fissuras encontradas não possuíam uma profundidade significativa, sendo assim elas não eram a maior causa dos problemas na ponte.

Além de vazios no concreto, os responsáveis pela supervisão da ponte precisavam avaliar as condições dos cabos metálicos na estrutura, para isso, foi realizado o ensaio de impact-echo, a fim de determinar as condições dos cabos. Em complemento, também foram realizados os ensaios de ultrassom na região de

grauteamento, além dos ensaios de carbonatação, e penetração de cloretos e sulfatos no graute. Após os testes, infere-se que a maior parte dos cabos metálicos estavam em ótima condição, salvo alguns que tinham certa corrosão superficial, no entanto nada que fosse alarmante ou não previsto, também é importante ressaltar que durante a inspeção, uma região de ancoragem não estava sequer grauteada, o que acaba sendo uma problemática recorrente em estruturas protendidas.

Outra ação tomada foi a de utilizar sensores para avaliar as movimentações da ponte, além de monitores estruturais, com o objetivo de entender melhor os fatores que estavam contribuindo para o aparecimento das rachaduras, além de monitorar a estabilidade global da ponte (Figura 27). Até o momento conclui-se que as fissuras não estão em processo de crescimento e sim de estabilização, vale ressaltar que o componente que mais afetou a movimentação da ponte foi a temperatura ao longo das estações, e que quando removida essa variável mostra uma estabilidade.

Logo, fica evidente a importância da utilização dos ensaios não destrutivos para analisar e verificar as condições físico-químicas que a estrutura apresenta, para com os resultados dos ensaios inferir quais são e quais não são os problemas que a estrutura está sofrendo. Em complemento, a análise não só da superfície de concreto como as de aço são fundamentais no concreto protendido, que tem os cabos como elemento mais importante. E por fim, ressalta-se a importância de fazer um plano de monitoramento e avaliação de estruturas constante e periódico, a fim de evitar a interdição de elementos estruturais que são fundamentais para a infraestrutura não só de uso generalizado como pontes, mas também de condomínios, casas, dentre outros.

3.3 ESTUDO DE CASO - ESTACIONAMENTO PIER 39

O Pier 39 é um dos principais pontos turísticos da cidade de San Francisco, localizada no estado da Califórnia, nos Estados Unidos. Por ser uma região litorânea o clima é úmido e as temperaturas costumam variar de 7 a 24 graus. O estudo de caso foi realizado pelo Dr. Bijan O. Aalami, que é professor de engenharia civil da Universidade de São Francisco, nos Estados Unidos.

Seu estacionamento foi construído em 1979 e consiste numa estrutura de 5 andares formada por lajes protendidas retangulares com dimensões de 118,9 x 63 metros, sendo que uma das extremidades possui uma região quadrada de 20.9 x 54.6

metros (Figuras 29 e 30). Os vãos das vigas chegam a 21 metros, enquanto os vãos da laje atingem até 5,8 m. Outra característica da laje é que ela é formada por monocordalhas engraxadas de 7 fios com diâmetro de 12mm, já as vigas são formadas por monocordalhas engraxadas com diâmetro de 15mm.

Figura 29 - Visão lateral do estacionamento



Fonte: (Aalami, 2020)

Figura 30 - Região interna do estacionamento



Fonte: (Aalami, 2020).

As manifestações patológicas começaram a aparecer inicialmente por meio de fissuras na região da laje e infiltrações (figura 31) encontradas na cobertura. Ao longo do tempo, também começaram a aparecer fissuras no topo da laje, que estavam adjacentes e paralelos a várias vigas, indicando que havia uma fissura devido ao momento negativo na laje, além de achar deflexões de até 38mm nas vigas, sendo também encontrados fios de aço expostos. Com o agravamento da situação, o dono do estacionamento consultou uma empresa de engenharia para realizar uma inspeção mais detalhada na estrutura.

Inicialmente, foi retirado o concreto da região central do vão entre as vigas, com o intuito de verificar as condições das cordoalhas de aço. Após feita a abertura, foi possível confirmar que todas as cordoalhas estavam com sinais de corrosão e algumas delas tinham rompido, além disso foi confirmada severa corrosão na cobertura. Como medida de segurança, foi determinado um escoramento na região mais crítica do estacionamento, que resultou em uma perda significativa da área utilizável do local.

Figura 31 - Infiltração Generalizada na laje



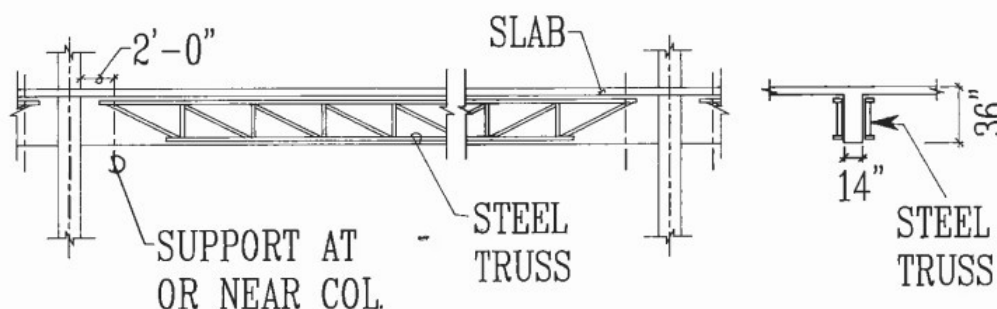
Fonte: (Aalami, 2020).

O principal desafio para a recuperação do estacionamento era que ele deveria continuar em funcionamento enquanto os reparos eram feitos, aliado também ao fato de precisar ser a solução mais econômica possível. Os elementos que eram

prioridades na reabilitação eram as vigas e as lajes, e considerando o fato de que as colunas estavam adequadas para receber as cargas, outro critério estabelecido foi de que o sistema construtivo original seria mantido, e que os reforços adicionados teriam que ser feitos de modo a adequar-se a esta estrutura pré-existente. Feita a análise duas principais soluções foram definidas, uma delas em aço e a outra com concreto.

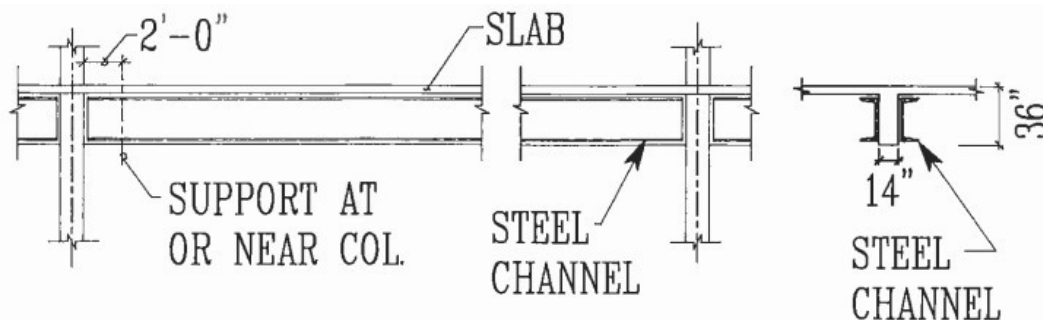
A opção em aço constitui-se em um sistema de treliças tubulares e um canal de aço, também foi examinado realizar um protensão no acorde inferior das treliças. As figuras 32 e 33 mostram esquematicamente o desenho dessas duas opções. A alternativa em concreto consiste no método de protensão externa, que ligaria as extremidades das vigas por onde ela passaria, como mostra a figura 34. Em relação ao custo-benefício da solução, deve-se levar em conta aspectos como se é preferível que o carregamento seja distribuído em um único ponto na faixa central do vão ou em três pontos distribuídos com uma distância de um terço entre eles. Também é necessário considerar se a ancoragem deve ser feita no ponto neutro das vigas e lajes, ou se é melhor impor uma excentricidade nos pontos de ancoragem, com o intuito de melhorar o desempenho da estrutura, e por fim levar em consideração as limitações de espaço e acessibilidade do estacionamento.

Figura 32 - Solução utilizando treliças de aço ao longo das vigas



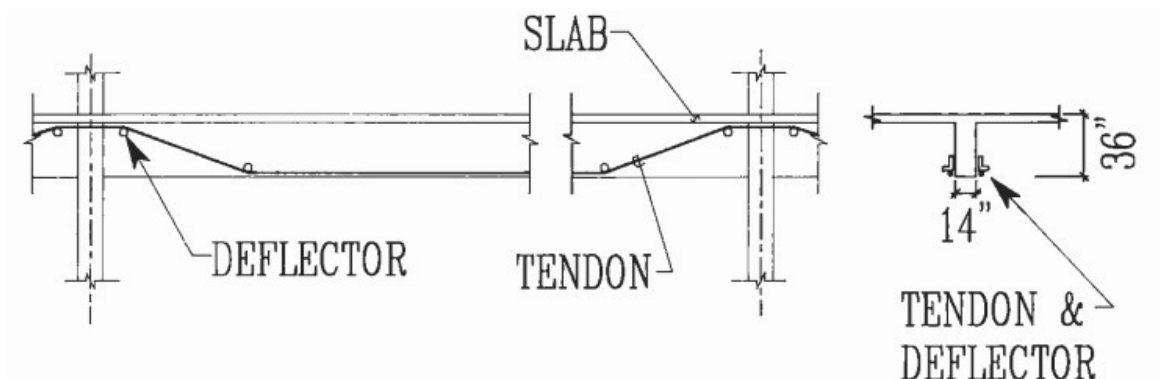
Fonte: (Aalami, 2020).

Figura 33 - Solução utilizando canais de aço.



Fonte: (Aalami, 2020).

Figura 34 - Solução utilizando protensão externa



Fonte: (Aalami, 2020).

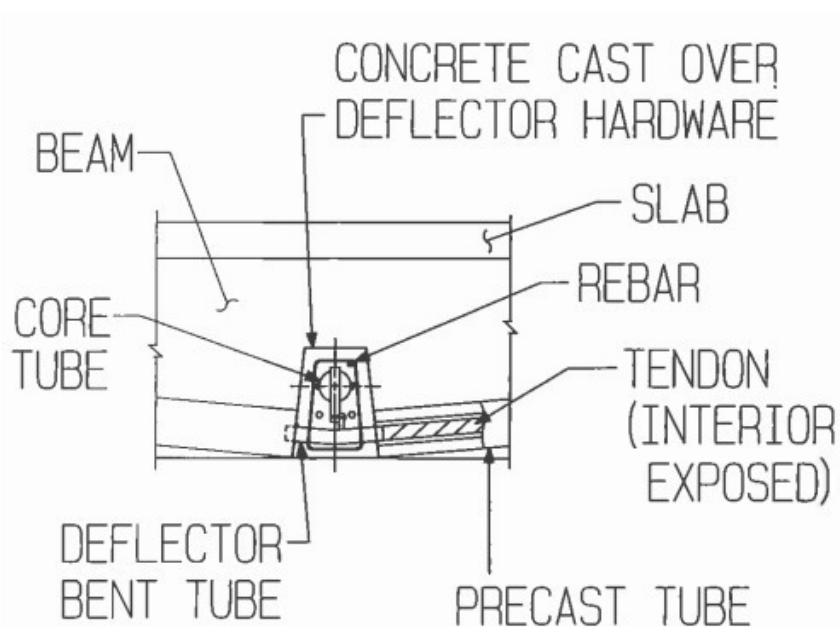
Analizadas as opções, optou-se por utilizar a solução de protensão externa. Para definir um layout para a protensão, foram levados em consideração a geometria das conexões, o método da ancoragem, e os detalhes de cada viga em relação aos pontos de captação. Além disso, havia a ideia de remover as cordoalhas não aderentes que já existiam, mas depois de feita uma análise concluiu-se que a permanência destas ajudaria no reforço que seria feito. Outros requisitos determinados foram que as fibras deveriam ter uma tensão máxima de 2,62 Mpa para tração e de 12,41 Mpa para compressão. Além disso, as deflexões devido a tensão devem ser abaixo de $L/350$, onde L é o comprimento do vão.

Em relação ao design e hardware da construção, para reduzir os custos foram seguidos critérios como o uso de apenas um ponto de captação por vão. Outro aspecto é que a protensão nas colunas e vigas foi feita por meio de tubos ou furos tubulares, além disso não foi permitida redução da folga vertical. Devido ao fato de as colunas serem aproximadamente 15 centímetros mais largas que as vigas, e considerando que o cobrimento seria de 5 cm, o concreto aplicado nesta região teria que ser pré-moldado ou rebocado em um tubo ao redor das cordoalhas. E por fim, a moldagem da viga se define por dois componentes, o primeiro consiste nos suportes da extremidade que envolvem as colunas e transfere as cargas de protensão aplicadas a estrutura, O segundo são os defletores (figura 35), que transferem as cargas de protensão verticais para as vigas e colunas.

O concreto pré-moldado garante uma proteção ao fogo permanente e se conecta com os defletores e os suportes da extremidade através de tubos, em resumo, o intuito do projeto foi de trazer o sistema mais econômico possível e que causasse

menos problemas pro continuo uso do estacionamento. Em relação as lajes, as cordoalhas corroídas foram substituídas por novas, que eram revestidas por epóxi.

Figura 35 - Uso dos defletores nas vigas



Fonte: (Aalami, 2020).

Como já citado, a obra tinha intenção de ser feita com o continuo uso comercial do local, para isso ela era feita da meia noite as 8 da manhã. Em relação as cordoalhas, todas foram pré-cortadas e colocadas em sua posição final no turno diurno. A maior parte da protensão foi feita na parte externa do local, já as vigas de transição foram protendidas dentro do edifício.

Em relação as lajes, foram feitas aberturas no concreto para inspecionar as cordoalhas destas. Após feita a abertura foi analisada as condições destas e as que se encontravam com severa corrosão foram removidas e substituídas, o que dá um total de 10% das cordoalhas. Já em relação ao concreto, foi feito um esforço de fazer a sua substituição sem com que o funcionamento do estacionamento fosse interrompido (figura 36).

Figura 36 - Remoção do concreto na laje



Fonte: (Aalami, 2020).

Portanto, conclui-se que é necessário haver uma atenção extra a edifícios mais antigos construídos em concreto protendido, principalmente porque na época em que foram construídos vários cuidados básicos como cobertura, cálculo mais detalhado das perdas de protensão, dentre outros eram minimizados. Logo, com o passar do tempo é provável que essas estruturas (como a do píer 39), apresentem patologias como corrosão das cordoalhas e infiltrações das lajes, o que ocasionará a necessidade de realizar reparos na estrutura. É importante ressaltar que como no caso apresentado, essas recuperações sejam de preferência feitas sem a paralisação total do local, a fim de trazer o menor prejuízo possível para os clientes

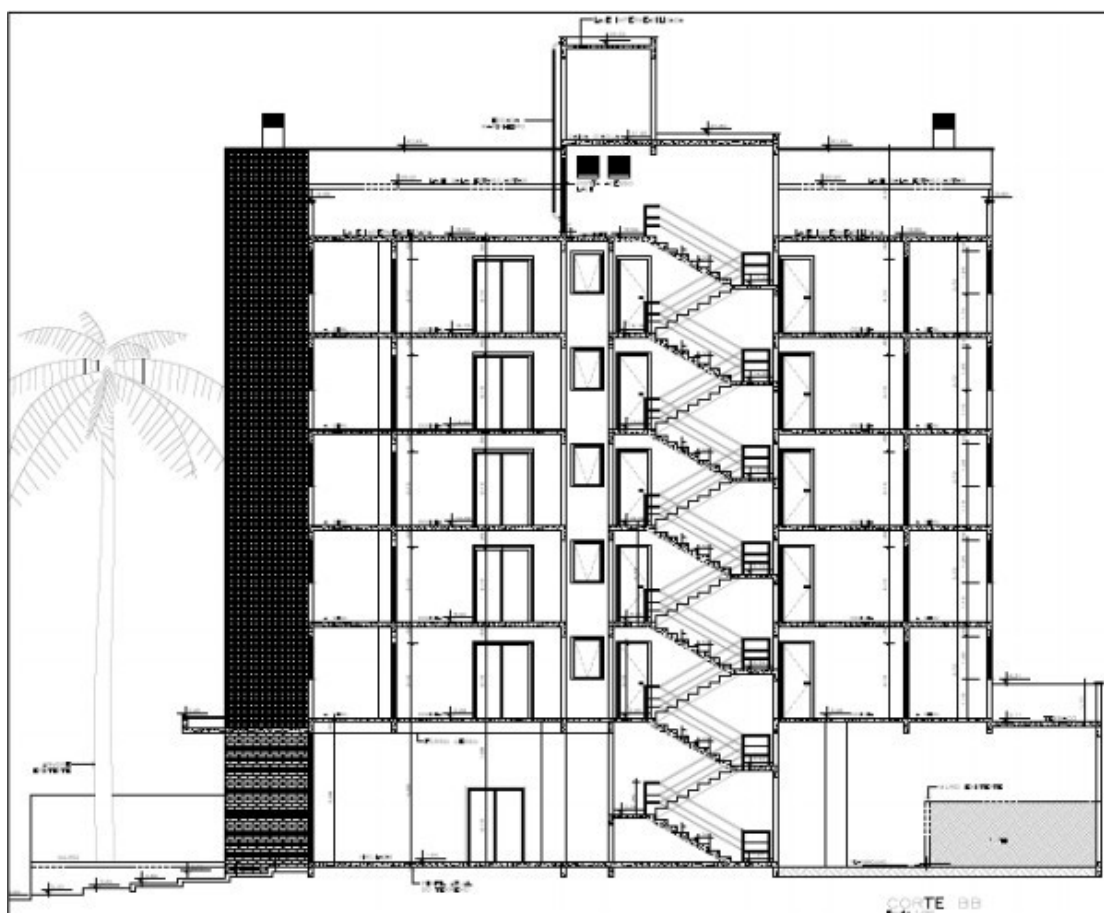
3.4 ESTUDO DE CASO - COMPARATIVO ENTRE LAJES PLANAS PROTENDIDAS E LAJE CONVENCIONAL EM UNIDADE RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR EM PATO BRANCO.

O referido estudo tem como objetivo fazer uma comparação de cunho técnico e financeiro entre o método de lajes planas em concreto protendido e o de lajes convencionais. O objeto de análise consiste em um edifício residencial multifamiliar, localizado na Rua Sergipe número 27, na cidade de Pato Branco, no estado do

Paraná. O estudo de caso foi realizado pelos graduandos Elizandro Zilli e Franchubert Bortoloti, referente a trabalho de conclusão de curso.

Em relação as suas medições, a edificação possui cinco pavimentos tipos, térreo, cobertura e reservatório. Os pavimentos tipo possuem uma área de 249,69m², com 2 apartamentos por andar. Os apartamentos possuem sala de estar, jantar, cozinha, área de serviço, uma suíte, dois dormitórios, um banheiro e uma varanda. A figura a seguir mostra o corte oeste-leste da edificação.

Figura 37 - Corte oeste-leste do edifício



Fonte: (Zilli, 2013).

Em relação ao projeto estrutural da solução proposta em concreto protendido, foram concebidos 19 pilares, além da caixa de elevador em pilar parede, sendo que os vãos entre os pilares chegam a até 7,50 metros. A laje, que é caracterizada como lisa protendida, possui uma espessura de 19 cm, e tem como característica principal o fato de não possuir vigas e capiteis, salvo as regiões da caixa da escada, cobertura e reservatório. Já para a cobertura utilizaram vigas invertidas, que “são vigas que se alinham com a base das lajes por sua face inferior, ou seja, vigas que se elevam acima

do nível da laje, resultando em um conjunto estrutural diferente do usual” (Zilli, 2013). A imagem a seguir mostra a vista em perspectiva do empreendimento.

Figura 38 - Vista em perspectiva do projeto arquitetônico



Fonte: (Zilli, 2013).

Em relação aos quantitativos, as tabelas a seguir mostram a quantidade dos materiais para realizar a estrutura, que são a armadura ativa e passiva, dispositivos de ancoragem, armadura de punção e as quantidades de forma e concreto, para assim fazer uma comparação entre esse modelo construtivo e o tradicional.

Tabela 18 - Resumo da armadura passiva do pavimento tipo

Tipo do aço	Diâmetro das barras	Comprimento total (cm)	Massa específica linear do aço (kg/m)	Massa (kg)
60B	5,0	1568	0,154	2,41
50 ^a	6,3	397295	0,245	973,37
50 ^a	8,0	16813	0,395	66,41
50 ^a	10	3460	0,617	21,35
50 ^a	12,5	125140	0,963	1205,10
TOTAL 50 ^a				2266,23
TOTAL 60B				2,41

Fonte: (Zilli, 2013).

Tabela 19 - Volume de concreto e área de fôrmas do pavimento tipo.

Material	Quantidade
Concreto (m ³)	46,24
Fôrmas (m ²)	265,28

Fonte: (Zilli, 2013).

Tabela 20 - Resumo da armadura ativa e de ancoragem do pavimento tipo

Diâmetro Cordoalha (mm)	Cabos		Ancoragens		
	Comp. (m)	Peso		Ativa	Passiva
		Kg/m	Kg	Unid.	Unid.
2 Φ 12,7	1189,73	0,886	1054,10	100	100
3 Φ 12,7	202,96	0,886	179,82	9	9
TOTAL			1233,92	109	109

Fonte: (Zilli, 2013).

Segundo Zilli, para a solução em concreto armado, realizou-se uma modelagem e análise estrutural pelo SAP2000, a qual foi realizada seguindo as mesmas áreas do projeto em concreto protendido. Feita a análise foi realizada uma relação dos quantitativos para a armadura negativa e positiva das lajes, a longitudinal e transversal para as vigas e o volume de concreto e área de fôrmas para as vigas e as lajes.

Tabela 21 - Armadura passiva e negativa para lajes

Tipo Do Aço	Diâmetro das barras	Comprimento Total (m)	Massa específica linear do aço (kg/m)	Massa (kg)
50A	6,3	184813	0,245	452,79
50^a	8,0	117205	0,395	462,96
50^a	10,0	150920	0,617	931,18
50^a	12,5	73988	0,963	712,50
TOTAL				2559,43

Fonte: (Zilli, 2013).

Tabela 22 - Armadura longitudinal e transversal das vigas

Tipo Do Aço	Diâmetro (mm)	Comprimento Total (cm)	Massa Nominal (kg/m)	Total (kg)
60B	5	49928	0,154	76,89
60B	6	13580	0,222	30,15
60B	7	4232	0,302	12,78

60B	8	24503	0,395	96,79
50^a	6,3	8100	0,245	19,85
50^a	8	30238	0,395	119,44
50^a	10	61308	0,617	378,27
50^a	12,5	12412	0,963	119,53
50^a	16	2128	1,578	33,58
TOTAL 60B				216,60
TOTAL 50^a				670,66
TOTAL				887,26

Fonte: (Zilli, 2013).

Tabela 23 - Volume de concreto e área de fôrmas para vigas e lajes

Material	Quantidade
Concreto Lajes (m³)	22,89
Concreto Vigas (m³)	7,92
Fôrmas Lajes (m²)	228,86
Fôrmas Vigas (m²)	117,87

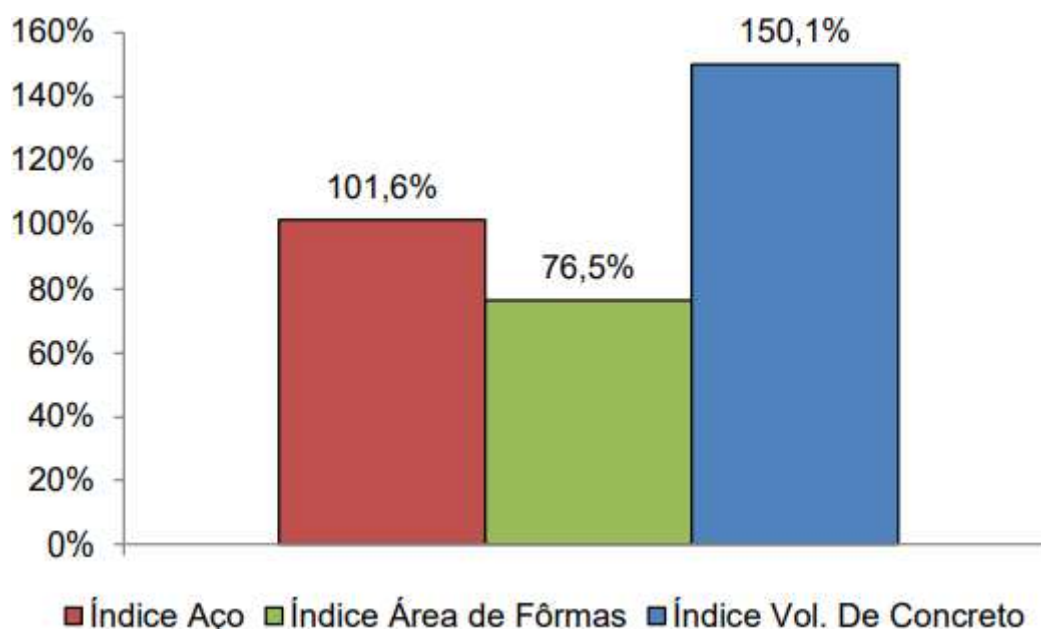
Fonte: (Zilli, 2013).

Comparando as estruturas em concreto armado e concreto protendido, é possível perceber que quando referentes a quantidade de aço, as duas soluções não apresentam grande diferença, com a solução protendida tendo ao total 3500,15 kg de aço, e a armada 3446,70 kg de armadura. No entanto, vale ressaltar que os componentes metálicos das estruturas protendidas correspondem em armadura passiva e armadura ativa, sendo que a armadura ativa possui em média um valor 3 vezes maior, logo a solução em concreto armado mostra-se mais econômica em relação aos aços. Porém, é preciso realizar uma análise de todo o processo das duas soluções, por exemplo, a ausência de vigas na solução protendida simplifica o processo de posicionamento das armaduras, o qual facilita na inspeção e também torna a obra em protendido mais rápida, que pode acarretar na redução de custos com mão de obra, aluguel de equipamentos, dentre outros.

Em relação as fôrmas, temos que a solução de lajes protendidas teve um quantitativo de 265,28 m², enquanto a solução em laje maciça possui um total de 346,73 m², logo, a solução protendida possui cerca de 30,7% a menos no uso de fôrmas em relação a solução com vigas e lajes. Já no que diz respeito ao concreto, o volume calculado nas lajes protendidas foram 46,24 m³, sendo que na convencional foi de 30,81 m³, o que mostra que no geral as soluções protendidas consomem mais concreto e aço que as armadas, no que diz respeito ao pavimento tipo.

A tabela a seguir mostra uma relação percentual entre o consumo de de concreto protendido em relação ao armado.

Tabela 24 - Consumo dos materiais para a solução em CP em relação a CA



Fonte: (Zilli, 2013).

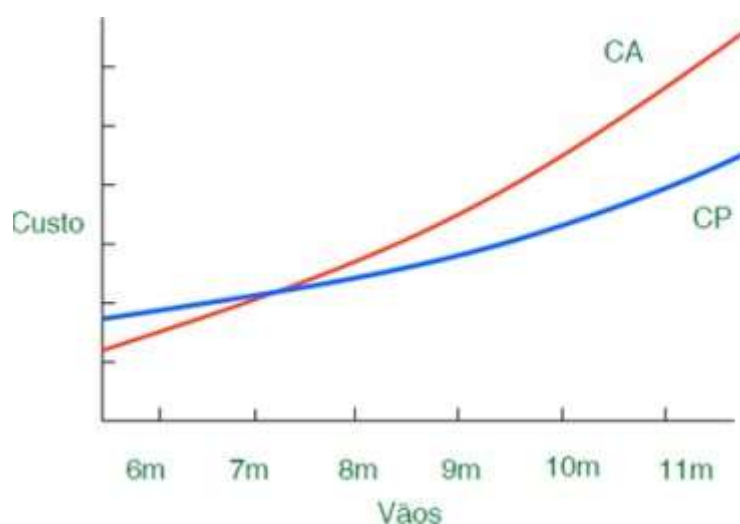
No entanto, para analisar a viabilidade financeira de uma solução em detrimento a outra, é necessário realizar um estudo global de ambos sistemas. Por exemplo, segundo Cauduro (2012), a protensão é imbatível para segmentos comerciais, e também em regiões de estacionamento, pois há um ganho considerável no número de vagas de garagem.

Ademais, o construtor precisa levar em consideração que a parte estrutural de um edifício custa entre 20 a 25% do valor total da obra, portanto é preciso levar em conta outros fatores que também acarretam em custos para a obra, e que o sistema protendido traz benefícios como menor altura total da edificação, que foi de 2,79 metros na protendida para 3 metros na convencional, menor número de pilares necessários, menos lajes e vigas de transição, e uma dificuldade maior em posicionar

as vagas das garagens, a qual a solução protendida facilita por possuir uma distância maior entre estes.

Segundo (Zilli apud Lopes, 2013), a relação de custos entre uma laje protendida e convencional vai variar a partir da escolha do vão de projeto, que é definido a partir da disposição entre os pilares. Em lajes com vãos maiores que 7 metros, há uma economia entre 10 e 20% das soluções protendidas em relação a armada. A figura a seguir apresenta um gráfico que relaciona os custos de ambas soluções em função dos vãos.

Figura 39 - Relação entre CA e CP em função do vão



Fonte: (Zilli apud Lopes, 2013).

Portanto, podemos concluir que para realizar uma análise de qual sistema traz o melhor benefício precisamos realizar uma análise global, que não seja apenas os custos diretos que cada solução apresenta. Além disso, é necessário que os profissionais estejam cada vez mais aptos para realizar projetos em concreto protendido, visto que a grande maioria ainda é refém do sistema convencional. Por fim podemos inferir que o engenheiro calculista tem que analisar diversos fatores como métodos construtivos, materiais empregados, a durabilidade destes materiais, além de como se configura o projeto arquitetônico, pois seu objetivo é de realizar uma estrutura que atenda aos requisitos de segurança, durabilidade e funcionalidade da edificação

3.5 ESTUDO DE CASO -MONITORAMENTO DA PONTE RIO-NITERÓI

A ponte Rio-Niterói (figura 40), é uma construção localizada no estado Rio de Janeiro que atravessa a Baía de Guanabara, ligando as cidades do Rio De Janeiro e Niterói, o início da sua obra foi em novembro de 1968 e sua conclusão em março de 1974. Em relação as dimensões, ela possui um total de 13290 metros de comprimento, é formada por 8 vias com largura total de 26,60 metros e tem um tráfego de cerca de 150 mil veículos por dia, sendo a maior ponte em concreto protendido do hemisfério sul. O estudo de caso foi realizado pelo engenheiro doutor Carlos Henrique Siqueira, em palestra ministrada em evento do instituto de engenharia.

Em relação a seu sistema estrutural, na região da Av. Rio de Janeiro e nas rampas de acesso ao rio Niterói sua construção foi feita através de vigas pré-moldadas de concreto protendido, chamadas longarinas. Na Baía de Guanabara foram utilizadas peças de concreto pré-moldado, que se denominam aduelas (figura 41), que são alçadas por vigas de lançamento. As aduelas de apoio localizam-se no topo dos pilares, e a partir destas sucedem-se aduelas correntes, que são dispostas simetricamente de um lado e de outro do pilar, e estas são ligadas as de apoio por meio de cabos de protensão. Esta protensão longitudinal juntamente com resina epóxi são as responsáveis pela união das aduelas.

Figura 40 - Construção da Mesoestrutura da ponte



Fonte: (Siqueira, 2010).

Figura 41 - Montagem das aduelas

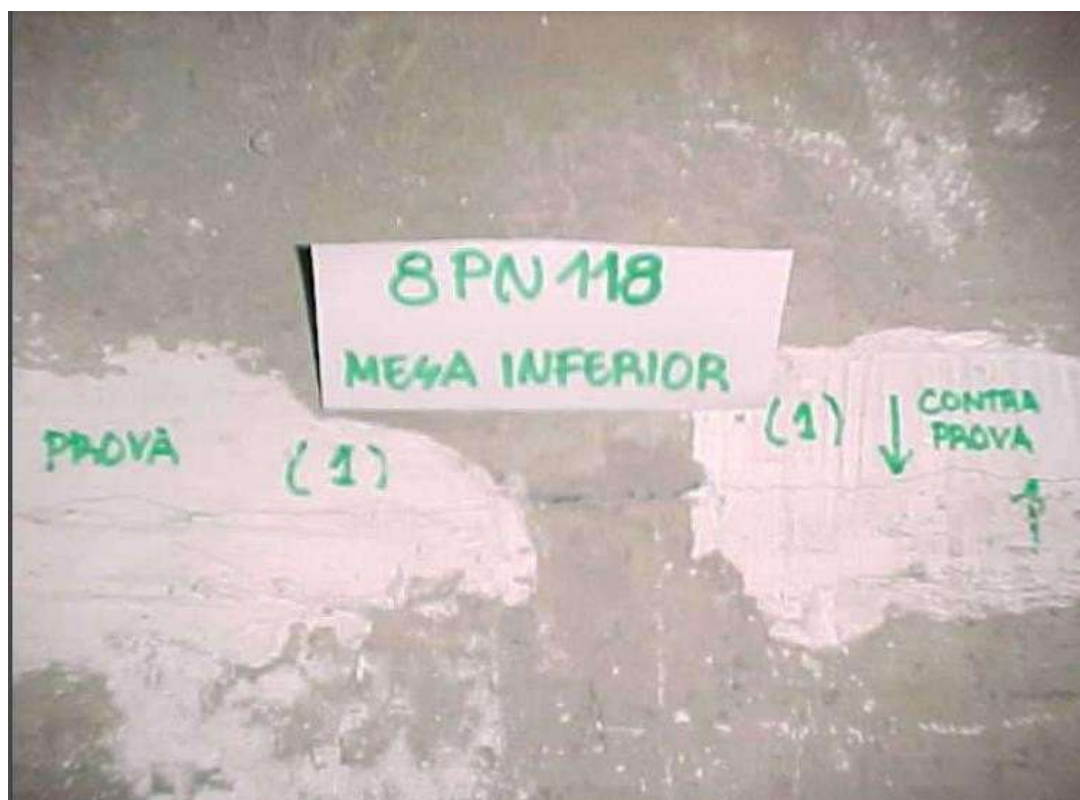
Fonte: (Siqueira, 2010).

Após sua construção, a ponte só recebeu sua primeira vistoria em 1979, que é uma prática não recomendada, sendo o ideal realizar uma vistoria logo no início de seu uso. Em 1995, o governo faz um contrato de concessão com a Pontes S/A, a qual teria como função manter, operar e conservar o bom funcionamento desta.

A primeira ação realizada pela empresa foi de verificar como estava o comportamento da estrutura, por meio da prova de carga. Como o tráfego na ponte era incessante, a solução encontrada foi de fazer esse monitoramento durante o horário de pico, quando a ponte estava em serviço. Feita essa ação, verificou-se que haviam fissuras na região da mesa inferior das aduelas. Essa análise foi feita no meio do vão (zona de maior momento positivo) a partir de uma demarcação de um selo de gesso (Figura 42 e 43), para o qual foi feita uma contraprova (figura 44), que também resultou na fissura deste outro. Logo após, foram feitas verificações nas regiões da alma e da mesa superior, em região de momento negativo máximo, e também foram encontradas fissuras.

Para atestar o que originou as patologias encontradas, foi realizada uma ampla investigação envolvendo ensaios destrutivos e não destrutivos, aplicação de selos de gesso, verificação dos teores de cloreto e sulfato, profundidade de carbonatação, monitoramento das temperaturas, análise do relaxamento nos cabos, e troca de experiência internacional com outros especialistas.

Figura 42 - Fissuração na região da mesa inferior



Fonte: (Siqueira 2010).

Figura 43 - Fissuras na região da alma



Fonte: (Siqueira, 2010).

Figura 44 - Fissuras na região da mesa superior



Fonte: (Siqueira, 2020).

Para os cabos protendidos, foram levantados diversos ensaios que poderiam ser feitos para entender se haviam problemas na estrutura, no entanto apenas o R.I.M.T. foi eficaz em encontrar se haviam defeitos ou não nos cabos protendidos das pontes.

Após feito o R.I.M.T e detectado quais cabos tinham possíveis defeitos, foi iniciada a inspeção destes (figura 45). Como apontado no ensaio, a maioria dos cabos possuíam leve oxidação, o que indicava que esta não era a causa primária para a ocorrência das fissuras nas estruturas. Vale ressaltar que este é um método já utilizado desde os anos 90, mas que a experiência feita na ponte auxiliou no seu desenvolvimento, como por exemplo dar mais detalhes como grau de corrosão, oxidação dentre outros problemas no cabo.

Outra verificação realizada foi a de profundidade de carbonatação no concreto da ponte (figura 46), para isso foram retirados corpos de prova. Feito o ensaio, chegou-se à conclusão que a carbonatação também não era um problema, assim como o cloreto e sulfato, que também foram verificados e se encontravam em uma concentração admissível.

Figura 45 - Corrosão encontrada a partir do R.I.M.T.



Fonte: (Siqueira, 2010)

Figura 46 - Ensaio de carbonatação



Fonte: (Siqueira, 2010).

Logo após, enquanto procuravam estudos sobre problemas nos cabos protendidos, os técnicos responsáveis pela ponte encontraram pesquisas sobre o efeito da temperatura na relaxação dos cabos. Um dos trabalhos relatava que a temperatura tem uma significativa influência na relaxação dos cabos protendidos. Portanto, a concessionária determinou que uma equipe fizesse o monitoramento da temperatura da ponte na região superior da mesa e inferior da alma, durante 48 horas no inverno e 48 horas no verão. As temperaturas médias encontradas foram de 21 graus durante o inverno e 32 graus durante o verão.

Outra avaliação feita foi a de relaxação dos cabos protendidos. Vale ressaltar que na época da construção da ponte, só haviam no Brasil cabos protendidos com relaxação normal, que possuem uma maior perda de protensão ao longo do tempo, atualmente, é recomendado o uso de cabos com baixa relaxação, que é o qual a relaxação é mais gradual e passa por um processo de estabilização ao longo dos anos.

Para iniciar a avaliação da relaxação, foram retirados cabos protendidos da ponte e levados a laboratório, com o intuito de confirmar o tipo de relaxação. Feito o ensaio, confirmou-se que este era de relaxação normal, no entanto, é necessário entender que os valores de relaxação consideram para uma atuação em uma temperatura média de 20°C, enquanto que no verão, a média na ponte é de 32°C, o que causa em um efeito mais significativo da relaxação que o previsto.

Decorridas as diversas análises e levantados os problemas da ponte, as soluções concebidas foram de reforçar os vãos fissurados e continuar com o monitoramento com o selo de gesso. O reforço que consiste em protensão externa foi realizado em 84 vãos da ponte entre o período de 2000 a 2009, no entanto a expectativa era de reforçar 41 novos vãos, onde foram encontradas novas fissuras.

Figura 47 - Reforço por protensão externa



Fonte: (Siqueira, 2010).

Portanto, podemos concluir que é primordial realizar vistorias periódicas e constantes, para assim assegurar que os elementos estruturais garantam sua vida útil de projeto. Em relação as particularidades do concreto protendido, é fundamental que sua vistoria e perícia não se limite apenas ao concreto, mas também aos cabos, sendo que a avaliação preferencialmente deve ser feita a partir de ensaios que mostrem como estão as condições físico-químicas deste elemento, pois são eles o principal componente das estruturas protendidas.

4. RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DO MANUAL

4.1.1 Introdução

O empreendimento [nome do empreendimento] é uma edificação feita com lajes protendidas de [apresentar número de andares] andares, construída pela [construtora ou engenheiro responsável] localizada na [endereço da edificação]. A construção possui [área construída]m² e teve a duração de [informar a duração da obra em meses], nela foi o utilizado o método construtivo de [identificar o método de protensão da obra].

Observação: Apresentar mais informações que possam ser necessárias ao conhecimento dos proprietários.

O **Manual de Uso, Operação e Manutenção de Edificações em Lajes Planas Protendidas** tem como objetivo apresentar todas as informações necessárias a respeito do sistema estrutural da edificação. Neste guia são exibidos termos e prazos de garantias, as condições de perdas dessas garantias, relação de fornecedores de materiais e projetistas, os procedimentos para uso, operação e limpeza, e também um plano de manutenção preventiva para as lajes da edificação, além das demais recomendações essenciais para que a estrutura atinja a vida útil de projeto (VUP).

É fundamental que o(a) proprietário(a) realize a leitura de maneira atenta e integral deste documento logo após a entrega e vistoria do imóvel. Para que assim fique ciente de suas obrigações e responsabilidades, e que realize acompanhando(a) de profissional responsável e qualificado toda e qualquer recomendação prevista no manual, de modo a garantir seus direitos e a vida útil da estrutura de acordo com a norma de desempenho. As informações e instruções descritas no manual que não forem seguidas pelo(a) proprietário(a) podem resultar na perda da garantia parcial ou integral do imóvel, visto que este documento faz parte do contrato de compra e venda.

Vale ressaltar que é de total responsabilidade do proprietário manter e conservar o manual em sua posse, com bom estado de conservação. Caso seja necessário realizar um reparo ou manutenção do bem, o(a) proprietário(a) poderá permitir que este seja consultado pelo profissional que irá executar o serviço no

imóvel. Mediante realização de obra, é dever do(a) proprietário(a) deixar registrado no manual as alterações realizadas. Qualquer obra realizada precisa ser feita sob orientação de profissional legalmente habilitado, como Engenheiro Civil ou Arquiteto. Caso a obra seja feita dentro do período de garantia contratual, o [construtor ou engenheiro responsável] deverá ser alertado e informado por escrito.

Para manter as condições de durabilidade e segurança do elemento estrutural em condições normais, os detalhes, as recomendações e informações estabelecidas neste arquivo devem ser estritamente seguidas.

Na fase de vistoria e entrega da edificação, junto com o representante do [construtor ou engenheiro representante], inicia-se a responsabilidade do(a) proprietário(a). A entrega das chaves e do HABITE-SE simboliza a posse do imóvel, por consequência o adquirente irá receber o **Manual de uso, operação e manutenção das edificações em lajes planas protendidas**. É por meio deste manual que o proprietário(a) deverá se orientar em todas intervenções que vier a fazer no seu respectivo imóvel. Também é recomendado que haja uma apresentação do manual em assembleia geral.

4.1.2 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições das ABNT NBR 5674:2012, ABNT NBR 14037:2014, ABNT NBR 15575-1/2:2013 e NBR 6118:2014.

Armadura Ativa (de protensão): Armadura constituída por barras, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial;

Componente: unidade integrante de determinado elemento do edifício, com forma definida e destinada a cumprir funções específicas (exemplos: bloco de alvenaria, telha, folha de porta);

Concreto com armadura ativa pré-tracionada (protensão com aderência inicial): concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é feito utilizando-se apoios independentes do elemento estrutural, antes do lançamento do concreto, sendo a ligação da armadura de protensão com os referidos apoios desfeita após o endurecimento do concreto; a ancoragem no concreto realiza-se somente por aderência;

Concreto com armadura ativa pós-tracionada (protensão com aderência posterior): concreto protendido em que o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, parte do próprio elemento estrutural, criando posteriormente aderência com o concreto, de modo permanente, através da injeção das bainhas;

Concreto com armadura ativa pós-tracionada sem aderência (protensão sem aderência): concreto protendido em que o pré-alongamento é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizadas, como apoios, parte do elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados;

Construtor: pessoa física ou jurídica, legalmente habilitada, contratada para executar o empreendimento de acordo com o projeto e em condições mutuamente estabelecidas;

Degradação: redução do desempenho devido à atuação de um ou de vários agentes de degradação;

Desempenho: comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas;

Edificação: produto constituído de um conjunto de sistemas, elementos ou componentes estabelecidos e integrados em conformidade com os princípios e técnicas da engenharia e da arquitetura;

Elementos de concreto protendido: Aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último (ELU);

Empresa capacitada: organização ou pessoa que tenha recebido capacitação, orientação e responsabilidade de profissional habilitado e que trabalhe sob responsabilidade de profissional habilitado;

Empresa especializada: organização ou profissional liberal que exerce função na qual são exigidas qualificação e competência técnica específicas;

Fornecedor: organização ou pessoa que fornece um produto (exemplo, produtor, distribuidor, varejista ou comerciante de um produto ou prestador de um serviço ou informação);

Garantia legal: direito do consumidor de reclamar reparos, recomposição, devolução ou substituição do produto adquirido, conforme legislação vigente;

Garantia contratual: condições dadas pelo fornecedor por meio de certificado ou contrato de garantia para reparos, recomposição, devolução ou substituição do produto adquirido;

Inspeção predial de uso e manutenção: análise técnica, através de metodologia específica, das condições de uso e de manutenção preventiva e corretiva da edificação;

Integridade estrutural: capacidade da estrutura de evitar seu colapso progressivo na ocorrência de danos localizados;

Manual de uso, operação e manutenção: documento que reúne informações necessárias para orientar as atividades de conservação, uso e manutenção da edificação e operação dos equipamentos;

Manutenção: conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de seus sistemas constituintes, a fim de atender às necessidades e segurança dos seus usuários;

Prazo de garantia: período de tempo em que é elevada a probabilidade de que eventuais vícios ou defeitos em um sistema, em estado de novo, venham a se manifestar, decorrentes de anomalias que repercutam em desempenho inferior àquele previsto;

Serviço de manutenção: intervenção realizada na edificação e seus sistemas, elementos ou componentes constituintes;

Sistema: a maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macro função que a define (exemplo: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura);

Sistema de manutenção: conjunto de procedimentos organizados para gerenciar os serviços de manutenção;

Uso: atividades a serem realizadas pelos usuários na edificação dentro das condições previstas em projeto;

Usuário: pessoas que ocupa ou utiliza as dependências da edificação;

Vida útil de projeto (VUP): período estimado de tempo em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecidos neste manual, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção;

4.2 GARANTIA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

A estrutura da edificação foi projetada, construída e instalada seguindo os padrões normativos estabelecidos pela ABNT, utilizando materiais e mão de obra qualificada.

Assim que tiver a posse do imóvel, o(a) proprietário deverá receber este manual e ler todas as condições expressas as garantias da sua unidade, de forma que deverá estar atento as condições de garantia e atendimento pelo [construtor ou engenheiro responsável]. Já o síndico ou responsável legal pela edificação receberá também o Manual das áreas comuns.

O início da garantia começará a partir da data do auto de conclusão do imóvel, porém vale ressaltar que a garantia se inicia para o(a) proprietário(a) após a assinatura do termo de vistoria técnico da edificação assinado pelo proprietário(a), com este aceitando o imóvel e sendo entregue as chaves e o documento HABITE-SE. Sendo assim, os prazos de garantia são estabelecidos a partir do auto de conclusão do imóvel. Além disso, serão estabelecidas as condições referentes as situações que poderão acarretar a perda de garantia a(o) proprietário(a), descrevendo as suas responsabilidades.

Por fim, recomenda-se realizar assembleia geral com o objetivo de explicar e esclarecer possíveis dúvidas relacionadas as condições e perdas de garantias, além das obrigatoriedades em relação a assistência técnica e ao [construtor ou engenheiro responsável].

4.2.1 Garantias

A(o) [construtora ou engenheiro responsável] cabe fornecer a todos(a) proprietários(as) o **Manual de Uso, Operação e Manutenções de Lajes Planas Protendidas**, de acordo com ABNT NBR 5674:2012 e ABNT NBR 14037:2014, com as instruções acerca do uso adequado do imóvel, além dos prazos de garantia dos materiais, da estrutura e das manutenções preventivas.

A(o) [construtora ou engenheiro responsável] é atribuído entregar e fornecer informações, jogo de planta, características como carga máxima, tensão, e especificações das unidades autônomas, áreas comuns e dos equipamentos.

A [construtora ou engenheiro responsável deverá prestar dentro dos prazos de garantia, o serviço de assistência técnica, com as devidas reparações ou substituições que se mostrem necessárias, em virtude dos defeitos ou vícios que se encontrem no imóvel, sendo este feito sem ônus por parte do proprietário(a), conforme prazo estabelecido neste termo de garantia, desde que sejam comprovados que os problemas sejam de sua responsabilidade. Vale destacar que caso seja encontrada uma anomalia, o proprietário(a) ou síndico deverá entrar em contato com a assistência técnica da Construtora/Incorporadora para que esta tome as providências necessárias.

Em caso de alteração de síndico, o antecessor deverá transmitir as orientações sobre o adequado uso, manutenção e garantia das áreas comuns, além de entregar formalmente os documentos e manuais correspondentes. Já em caso de revenda ou locação, o proprietário(a) deverá transmitir as orientações sobre o adequado uso, manutenção e garantia do seu imóvel ao novo condômino, por meio da entrega dos documentos e manuais correspondentes.

Vale ressaltar que independente dos prazos de garantia que a construtora tem como requisito legal, a NBR 15575-1:2013, conhecida como norma de desempenho dispõe que a vida útil de projeto mínimo para as estruturas de uma edificação é de 50 anos, sendo consideradas a periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário. As tabelas 28 e 29 falam respectivamente sobre o prazo de garantia orientado pela CBIC e tempo de vida útil estabelecido pela NBR 15575-1:2013. As tabelas a seguir diferenciam os prazos de garantia e vida útil.

Tabela 25 - Garantias para as lajes pretendidas

Sistema	Prazo de Garantia	Condições a ser garantidas ou evitadas
Estrutural (lajes e cobertura)	5 anos	Segurança e estabilidade global

Fonte: (CBIC, 2014).

Tabela 26 - Vida útil de projeto mínima e superior

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutural (lajes e cobertura)	50	63	75

Fonte: (NBR 15575-1:2013).

4.2.2 Perdas de garantias

A seguir serão apresentadas as condições que resultam na perda das garantias do imóvel por parte do(a) proprietário(a), o qual exime as responsabilidades do(a) [construtora ou engenheiro responsável] a cerca de alguns defeitos que possam começar a surgir devido ao descumprimento do que está descrito no manual, essas condições são:

- Reformas ou alterações que comprometam o desempenho ou altere o resultado previsto em projeto do sistema estrutural do edifício, áreas comuns e autônomas;
- Sobrecarga não prevista nas Lajes;
- Realização de limpeza de forma inadequada;
- Não implementação e execução de forma eficiente do Programa de Manutenção estabelecidos pela NBR 5674:2012, ou apresentada a efetiva realização das ações descritas no plano;
- Caso ocorra mau uso ou não forem tomados os cuidados de uso;
- Caso haja a não autorização dos moradores ao acesso de profissional destacado pela [construtora ou engenheiro responsável] as unidades residenciais ou áreas comuns, quando houver necessidade de realizar vistoria técnica ou os serviços de assistência técnica;
- Caso haja irregularidades em eventual vistoria técnica e as providências sugeridas não forem tomadas por parte do proprietário ou condomínio;
- Caso os cuidados de uso e manutenção preventiva não sejam feitas por profissional devidamente habilitado e qualificado, ou por empresa especializada e habilitada;
- Falta de comprovação da realização de manutenção eventualmente estabelecida, conforme previsto na norma ABNT NBR 5674;

4.3 MEMORIAL DESCRITIVO

O Manual de Uso, Operação e Manutenção deve apresentar uma descrição escrita e ilustrativa da edificação em “As Built” (como construída), isto é, após a obra estar totalmente finalizada, o [construtor ou engenheiro responsável] deverá fazer um

levantamento cadastral das edificações e áreas comuns, a fim de aferir se houve alguma alteração em relação ao projeto originalmente estabelecido. As informações devem se ater, no mínimo, à abrangência dessas respectivas áreas e contemplar:

- a) Estudo e conhecimento do microclima local para realizar o programa da manutenção;
- b) Mapeamento de cloretos local;
- c) Cargas estruturais máximas admissíveis;
- d) Descrição do sistema e modo de protensão utilizado, e dos equipamentos usados;
- e) Descrição do tipo de relaxação usada e de previsão de perdas de protensão;
- f) Desenhos esquemáticos, com dimensões cotadas, que representem a posição e caminhos percorridos pelas estruturas em aço;
- g) Informações sobre aspectos relevantes ao proprietário e ao condomínio, como propriedades especiais previstas em projeto e sistema construtivo empregado;
- h) Relação dos componentes utilizados para acabamentos (por exemplo, revestimentos cerâmicos, tintas, argamassas etc.) com as suas especificações;
- i) Sugestão ou modelo do programa de manutenção;

O modo de abordagem e a extensão de informações vai depender da complexidade da edificação, bem como seu tempo de construção e suas particularidades, e também dos seus equipamentos. Os projetos e desenhos esquemáticos podem ser ilustrados dentro do conteúdo do manual ou como anexos.

4.4 FORNECEDORES

Diversos são os materiais e profissionais envolvidos em todas as fases da construção de uma laje protendida. Portanto, para haver um melhor controle de qualidade e que o empreendimento chegue a sua vida útil de projeto é essencial que seja feita uma listagem de todos os materiais e equipamentos utilizados, assim como os profissionais envolvidos no processo de construção da laje da edificação.

A seguir pode-se observar a relação dos fornecedores de materiais e equipamentos, com seus respectivos contatos. Além da relação dos profissionais envolvidos, com a listagem dos processos que fizeram parte e seus contatos.

4.4.1 Relação dos fornecedores

Tabela 27 - Relação dos fornecedores

Materiais/Equipamentos	Fornecedor	Contato

Fonte: (Autor, 2021)

Observação: Deve-se preencher a tabela com os materiais e equipamentos (e suas especificações) utilizados no sistema estrutural da laje, com a identificação dos fornecedores e seus contatos.

4.4.2 Relação de profissionais responsáveis

Tabela 28 - Relação de profissionais responsáveis

Profissional Responsável	Processo	Contato

Fonte: (Autor, 2021).

Observação: Deve-se preencher a tabela com os profissionais responsáveis em algum processo ou projeto do sistema estrutural e seus respectivos contatos.

4.5 OPERAÇÃO, USO E LIMPEZA

Para que o imóvel seja utilizado de forma correta e que a estrutura mantenha sua vida útil de projeto (VUP), é preciso que o(a) proprietário(a) siga as instruções abaixo referente aos cuidados de uso e manutenção preventiva.

Vale ressaltar que este tópico disserta sobre os procedimentos de uso, operação e limpeza das lajes pretendidas, portanto, para garantir sua segurança e

estabilidade, o(a) proprietário(a) deve se orientar por todas as informações e observações contidas neste manual, com o objetivo de que não surjam falhas não previstas que resultem em problemas na estrutura, além da perda da garantia do sistema.

4.5.1 Cuidados de uso

- NÃO retirar, alterar seção ou efetuar furos de passagens de dutos ou tubulações na laje para evitar danos à solidez e à segurança da edificação;
- NÃO sobrecarregar as lajes além dos limites previstos em projeto, sob o risco de gerar fissuras ou comprometimento dos elementos estruturais, como por exemplo, troca de uso dos ambientes e colocação de ornamentos decorativos com carga excessiva;
- Antes de perfurar a laje, consultar projetos e detalhamentos contidos no Manual do Proprietário e/ou Manual das Áreas Comuns, evitando, deste modo, a perfuração de tubulações de água, energia elétrica ou gás;
- Não quebrar pilares ou paredes que possam estar fazendo função estrutural na sustentação da laje;
- Para trabalhos na cobertura, são demandados cuidados especiais de segurança, e somente pessoas treinadas tecnicamente e sob segurança deverão transitar sobre a cobertura;
- Evitar a utilização de produtos químicos na laje que possam potencializar seu processo de corrosão;
- Estabelecer um limite do máximo que um furo pode ter, com o objetivo de não atingir os cabos protendidos ou bainhas metálicas;

4.5.2 Manutenção preventiva

Este sistema estrutural necessita de um plano de manutenção específico, que atenda às recomendações dos fabricantes, diretivas da ABNT NBR 5674:2012 e normas específicas do sistema, sendo elas:

- Verificar o estado do grauteamento das regiões da ancoragem;

- Procurar manter os ambientes bem ventilados. Pois nos períodos de inverno ou de chuva, pode ocorrer o surgimento de mofo na laje, decorrente de condensação de água por deficiência de ventilação, principalmente em ambientes fechados;
- Combata o mofo com produtos químicos que não danifiquem os sistemas estruturais e não causem problemas como carbonatação;
- Somente utilizar peças originais ou com desempenho de características comprovadamente equivalente;
- Realizar ensaios não destrutivos periodicamente, com o objetivo de monitorar as condições do concreto e das estruturas metálicas da laje;
- Ainda na fase de concepção, realizar estudo sobre microclima do local da construção, através do mapeamento de cloretos e sulfatos;

4.6 MANUTENÇÃO

4.6.1 Programa de manutenção

Para que o imóvel possa atender seus usuários por vários anos é necessário realizar a sua manutenção e de seus vários componentes e elementos, este documento particulariza as lajes pretendidas, que possuem características diferenciadas e exigem diferentes tipos, prazos e formas de manutenção. No entanto, a manutenção não deve ser realizada de modo improvisado ou casual, sendo assim necessário haver um programa de manutenção.

Este manual apresenta o programa de manutenção que atende as diretrizes de elaboração e implementação da ABNT NBR 5674:2012. Para a sua plena realização, é necessária a contratação de empresas capacitadas e especialistas, a fim de prestar os serviços técnicos necessários. No entanto, também há casos onde a manutenção pode ser feita com equipe do condomínio, a depender da complexidade desta. Para que o imóvel seja conservado conforme o planejado, é preciso a implantação de um sistema de gestão da manutenção que inclua quais serviços, materiais e/ou equipamentos serão necessários, além de como são executados cada um deles e quais são suas especificidades, de acordo com cada empreendimento ou área comum. O início da gestão da manutenção deve ser feito a partir da finalização dos imóveis, estando eles ocupados ou não.

Para os que estão em uso, é responsabilidade do(a) proprietário(a), o cumprimento das atividades estabelecidas neste manual, constituindo assim condição de garantia do imóvel, assim como é sua corresponsabilidade a realização e custeio das áreas comuns. O programa consiste nas atividades essenciais de manutenção, sua periodicidade, os responsáveis pela execução e os recursos necessários.

Cabe ao síndico a atualização do programa, podendo contratar empresa ou profissional especializado para auxiliar na elaboração e gerenciamento, seguindo a ABNT NBR 14037:2014 e ABNT NBR 5674:2012. Vale ressaltar que é fundamental a contratação de empresas e profissionais especializados e qualificados, além de realizar o treinamento adequado para a equipe de manutenção para a execução dos serviços. Recomenda-se também a utilização de equipamentos devidamente calibrados, além de materiais de boa qualidade que preferencialmente sigam as especificações dos materiais utilizados na construção.

O(A) Proprietário(a)/Usuário, ao realizar a manutenção em seu imóvel, deve observar e seguir o estabelecido no Manual de Uso, Operação e Manutenção e fazer cumprir e prover os recursos para o Programa de Gestão da Manutenção das Áreas Comuns.

4.6.2 Planejamento da manutenção preventiva

Para realizar um planejamento assertivo, todos os serviços devem ser definidos em períodos de curto, médio e longo prazo, em consonância com o programa de manutenção e de maneira a:

- Coordenar os serviços de manutenção para reduzir a necessidade de sucessivas intervenções;
- Minimizar a interferência dos serviços de manutenção no uso da edificação e a interferência dos usuários sobre a execução dos serviços de manutenção;
- Otimizar o aproveitamento de recursos humanos, financeiros e equipamentos;
- Garantir manutenção técnica e de qualidade para os proprietários(a);
- Garantir que a estrutura tenha sua vida útil de projeto, conforme ABNT NBR 15575-1:2013;

A seguir se encontra o modelo para a elaboração do programa de **Manutenção Preventiva**, que tem como base o Anexo A da norma ABNT NBR 5674:2012.

Tabela 29 - Modelo De Manutenção Preventiva

Periodicidade	Elemento	Atividade	Ensaio ou Método de Análise	Responsável
A cada 3 anos	Laje Protendida	Verificar integridade físico-química do concreto.	Ensaio De Ultrassonografia; Ensaio de Pacometria; Ensaio de Carbonatação e Teor de cloretos	Empresa capacitada/especializada
		Verificar deformações ou se há fissuras ou rachaduras	Análise Visual	Empresa capacitada/especializada
		Verificar se há infiltrações na laje	Ensaio de termografia;	Empresa capacitada/especializada
A cada 5 anos	Laje Protendida	Verificar integridade da armadura passiva quanto a corrosão ou perda de seção	Ensaio de potencial de meia célula; Ensaio de resistividade;	Empresa capacitada/especializada
		Verificar a integridade da armadura ativa quanto a corrosão ou perda de seção	Ensaio R.I.M.T.	Empresa capacitada/especializada
		Fazer análise global da estrutura protendida (tanto	Ensaio de Tomografia Ionizante;	Empresa Capacitada/Especializada

		concreto quanto aço)		
A cada 10 anos	Laje Protendida	Verificar deformações na Laje por meio de ensaios;	Ensaio de extensometria;	Empresa Capacitada/Especializada;
A cada 25 anos	Laje Protendida	Verificar segurança e estabilidade estrutural da laje;	Ensaio de prova de carga;	Empresa Capacitada/Especializada;

Fonte: (Autor, 2021).

4.6.3 Inspeção no programa de manutenção

As inspeções são parte fundamental do programa de manutenção e devem ser feitas periodicamente, como estabelecidas no manual. Essas verificações são imprescindíveis para a gestão da manutenção, pois com elas que são orientadas as atividades da manutenção, e as possíveis correções que a estrutura possa precisar. Para que sua periodicidade possa ser atestada é fundamental a elaboração de relatórios das inspeções programadas, estes devem conter as características e grau de complexidade da laje, definição de ações, prazos e responsáveis. Além disso o relatório precisa conter:

- Roteiro lógico de inspeção predial e verificações das edificações;
- As formas de manifestação esperadas de acordo com o desgaste natural da edificação;
- As solicitações e reclamações dos usuários;
- As possíveis soluções de reparo ou recuperação para os problemas mais comuns;
- Os ensaios que precisam ser realizados para a manutenção adequada; Estes relatórios descrevem o estado em que se encontra a edificação e avaliam as perdas de desempenho e classificam o serviço de manutenção conforme o grau de urgência, que são:
 - Serviços de urgência imediata;
 - Serviços a serem incluídos no programa de manutenção;

Estas verificações periódicas e planejadas permitem que os responsáveis pela administração da edificação compreendam as mudanças que ocorrem no desempenho ao longo do tempo, tornando a manutenção mais rápida, com menor custo e também trazendo maior previsibilidade no orçamento para a manutenção, melhorando assim a qualidade de vida e segurança dos moradores, além de valorizar o empreendimento.

4.6.4 Registros e documentação necessária

Para um melhor controle, a NBR 5674:2012 indica a realização de documentos e registros, com o objetivo de propiciar evidências da realização da gestão da manutenção, mostrar o custo benefício na realização da manutenção, além de servir como auxílio no planejamento de serviços futuros.

Para isso, o condomínio deve dispor de um fluxo de documentação, que facilita no processo de execução da manutenção, organização de documentos oficiais, além de facilitar no controle financeiro da manutenção. A seguir pode ser visto o fluxograma de documentação, baseado na ABNT NBR 5674:2012:

Figura 48 - Fluxograma para documentação



Fonte: (ABNT NBR 5674:2012, adaptado pelo AUTOR, 2021).

Os registros devem ser mantidos de forma a estarem legíveis e disponíveis para comprovação de que o programa de manutenção, o planejamento, as inspeções e a efetiva realização das manutenções foram implementadas. A organização e coleta

de dados devem indicar os serviços de manutenção preventiva e corretiva realizados, bem como suas o que ambas alteraram. Cada registro deve conter:

- a) Identificação.
- b) Funções dos responsáveis pela coleta de dados que compõem o registro.
- c) Estabelecimento da forma e do período do arquivamento do registro.

Em relação aos arquivos, toda documentação dos serviços de manutenção precisa ser arquivada junto do manual de uso, operação e manutenção da edificação, ficando sob a guarda do responsável legal (proprietário ou síndico). Toda essa documentação deve estar disponível aos proprietários, condôminos, construtor/incorporador e contratado, caso necessário. Caso haja troca do responsável legal, toda a documentação deve formalmente entregue ao sucessor.

4.7 RESPONSABILIDADES RELACIONADAS A MANUTENÇÃO

Este item tem como função mostrar quais as responsabilidades, direitos e deveres das partes que estão envolvidas direta ou indiretamente com a manutenção da edificação, de acordo com regimento interno aprovado em assembleia de instalação do condomínio, convenção essa elaborada de acordo com o Código Civil Brasileiro nos artigos 1332, 1333 e 1334.

Vale ressaltar a importância dos envolvidos em praticar os atos que lhe são incumbidos. Todas as responsabilidades dispostas neste manual têm como base as ABNT NBR 14037:2014, ABNT NBR 5674:2012 e ABNT NBR 15575:2013.

Observação: Os itens dos responsáveis que serão apresentados a seguir podem ser adicionados ou removidos, a depender da complexidade da edificação.

4.7.1 Construtor(a) ou incorporador(a)

- Entregar o Termo de Garantia, Manual do Proprietário e Manual de Uso, Operação e Manutenção da Edificação, conforme ABNT NBR 14037:2011;
- Entregar um jogo completo de plantas e especificações técnicas do edifício, conforme ABNT NBR 14037:2011;
- Fornecer os documentos relacionados ao item 4.4 deste manual;

- Prestar esclarecimentos técnicos sobre materiais e métodos construtivos utilizados;
- Prover serviços de assistência técnica dentro do prazo e condições de garantia;
- Entregar modelo de programa de manutenção ou modelo de lista de verificação do programa de manutenção, conforme ABNT NBR 14037:2011 e ABNT NBR 5674:2012;
- Registro de todo acervo técnico de concepção (projeto arquitetônico, complementares, as-built, etc), manual de uso, operação e manutenção e das manutenções desenvolvidas salvos na nuvem;

4.7.2 Síndico

- Administrar os recursos para realização da manutenção;
- Coletar e arquivar os documentos, de preferência na nuvem, relacionados as atividades da manutenção, durante o prazo de vida útil dos sistemas da edificação;
- Contratar funcionários treinados e empresas capacitadas ou especializadas para realizar as manutenções;
- Convocar assembleia geral para aprovação de recursos para a manutenção;
- Elaborar e implantar plano de transição em caso de troca de responsável legal pela gestão do empreendimento. Toda a documentação deve ser formalmente entregue ao sucessor;
- Elaborar, implantar e acompanhar o sistema de gestão de manutenção e o planejamento anual das atividades de manutenção, com assistência técnica, caso necessário;
- Encaminhar para prévia análise do incorporador, construtor, projetista ou responsável técnico legal alterações nos sistemas estruturais da edificação, ou qualquer modificação que altere ou comprometa o desempenho do sistema, conforme descrito na ABNT NBR 14037:2011;
- Cumprir as normas técnicas pertinentes ao condomínio, bem como as leis de segurança e saúde dos trabalhadores;

- Gerenciar e manter atualizada a documentação, seus registros e seu fluxo pertinente à gestão da manutenção do edifício;
- Gerir as atividades de manutenção, conservação das áreas comuns e equipamentos coletivos do condomínio.
- Gerenciar o arquivo de dados com todo o histórico do manual de uso, operação e manutenção e todo acervo técnico de concepção (projeto arquitetônico, complementares, as-built, etc.) e das manutenções desenvolvidas salvos na nuvem;
- Estabelecer dentro do orçamento do condomínio um teto mínimo de recursos para as atividades de manutenção e monitoramento, de acordo com as atividades de monitoramento propostas no manual e com auxílio de profissional capacitado ou especializado;
- Escolher com base na capacidade técnica e histórico da empresa, e não apenas baseado no menor valor;

4.7.3 Proprietário/Usuário

- Ao realizar a manutenção ou reformas no seu imóvel, seguir as diretrizes e orientações dispostas no manual de uso, operação e manutenção;
- Fazer cumprir e dispor recursos para a realização da gestão de manutenção do seu imóvel e das áreas comuns;
- Coletar e armazenar documentação que comprove a realização da manutenção em sua unidade;
- Em caso de venda ou aluguel do imóvel, entregar os manuais e documentos ao novo condômino, além de orienta-lo a buscar as informações sobre a manutenção com o síndico ou empresa responsável pela manutenção;
- Contratar profissional responsável ou empresa capacitada para realizar a gestão da manutenção;
- Contratar profissional especializado para realizar reformas estruturais, inclusive projeto de recuperação e reforço;

4.7.4 Empresa capacitada

- Realizar os serviços de acordo com as normas técnicas e capacitação ou orientação recebida, conforme programa de gestão da manutenção;
- Prover documentos que comprovem a realização da gestão da manutenção, como contratos, notas fiscais, laudos de inspeção, etc.;
- Cumprir as normas vigentes de segurança e saúde do trabalhador;
- Fornecer ao síndico e moradores laudos e relatórios ao fim das atividades de manutenção;

4.7.5 Empresa ou profissional especializado(a)

- Assessorar os proprietários e síndico nas decisões que envolvam a manutenção da edificação, inclusive sugerir a adaptação do sistema de manutenção e planejamento anual das atividades;
- Providenciar e manter atualizados os documentos e registros da edificação e fornecer documentos que comprovem a realização dos serviços de manutenção, como contratos, notas fiscais, garantias, certificados etc.;
- Implementar e realizar as verificações ou inspeções previstas no programa de manutenção preventiva;
- Elaborar previsões orçamentárias e orçar os serviços de manutenção
- Supervisionar a realização dos serviços de acordo com as Normas Brasileiras, projetos e orientações do manual de uso, operação e manutenção da edificação que atenda às [ABNT NBR 14037:2011; ABNT NBR 15575-1:2013];
- Assessorar o proprietário ou síndico na contratação de terceiros para realizar a manutenção das lajes;
- Estabelecer e implementar uma gestão do sistema de serviços, conforme ABNT NBR 5674:2012;
- Orientar os usuários sobre o uso adequado da edificação em conformidade com o manual de uso, operação e manutenção da edificação;

- Orientar os usuários para situações emergenciais, em conformidade com o manual de uso, operação e manutenção da edificação;
- Durante a recuperação ou reforço, o condomínio deverá contratar profissional com capacitação para acompanhar a obra;

4.8 INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

4.8.1 Segurança

Para garantir a segurança dos usuários quanto ao uso da sua unidade, são recomendadas as seguintes medidas:

- Contratar seguro contra incêndio e outros sinistros (obrigatório), abrangendo todas as unidades, partes e objetos comuns;
- Toda ou qualquer alteração no sistema estrutural das lajes deverá ser submetida para a análise do [construtor ou incorporador, projetista ou responsável técnico];
- Toda consulta sobre limitações e impedimentos quanto ao uso do sistema estrutural deve ser previamente submetida a análise do [construtor ou incorporador, projetista ou responsável técnica];
- Consultar o manual de uso, operação e manutenção e projetos complementares antes de realizar quaisquer furos na laje;
- Todas as alterações devem ser objeto de documentação específica, incluindo projeto e memorial a serem elaborados pelo responsável técnico;
- Observar aspectos de segurança do trabalho e higiene ocupacional durante as operações de manutenção, recuperações e/ou reforços;

Observação: A depender da complexidade do sistema estrutural, medidas complementares podem ser tomadas.

4.8.2 Documentação técnica e legal

Neste tópico deverá conter a relação de documentos técnicos e legais, indicando a incumbência pelo fornecimento inicial, o responsável e a periodicidade da renovação, de acordo com a Tabela A.1 da ABNT NBR 14037. Vale ressaltar que o

proprietário ou o representante legal do condomínio são responsáveis pela guarda e renovação dos documentos legais e fiscais durante os prazos legais. Além disso, salienta-se que esses documentos podem ser entregues por meios eletrônicos, anexados ao manual.

4.8.3 Atualização do manual

O proprietário ou condomínio é responsável (por meio de assistência técnica de profissional ou empresa capacitada ou especializada) pela **atualização obrigatória quanto a modificações no sistema estrutural das lajes em relação ao originalmente construído**, portanto, é responsável pela atualização do manual de acordo com as experiências vivenciadas nas diversas manutenções e documentado no manual original, além disso:

- a) a atualização deve necessariamente incluir a revisão e correção de todas as descrições técnicas e projetos da edificação, além da revisão do manual;
- b) a atualização do manual pode ser feita na forma de encartes que documentem a revisão de partes isoladas, identificando, no corpo do manual, os itens revisados, ou na forma de uma nova estrutura, dependendo da intensidade das modificações realizadas na edificação;
- c) a atualização do manual é um serviço técnico, que deve ser realizado por empresa ou responsável técnico;
- d) recomenda-se que as versões desatualizadas do manual sejam claramente identificadas como fora de utilização, devendo, porém, ser guardadas como fonte de informações sobre a memória técnica da edificação.

Observação: Caso, apareçam novos ensaios ou técnicas de manutenção ao longo do tempo que provem ser mais eficazes, recomenda-se adicioná-las ao manual, sendo esta atualização realizada por empresa ou responsável técnico capacitado ou especializado.

ANEXO A – CHECKLIST DA MANUTENÇÃO E AÇÕES DE MANUTENÇÃO

CHECKLIST DA MANUTENÇÃO		
Verificações ou ações de recuperações e reparos	Ensaio ou patologias encontradas	Recomendações Adicionais
Verificação quanto a deformações	Análise visual	Conferir nivelamento da laje; Conferir se existem fissuras;
Verificação quanto a integridade físico-química do concreto	Ensaio de Pacometria (Prévio); Ensaio de Ultrassonografia; Ensaio de Esclerometria (opcional) Ensaio de Carbonatação; Ensaio de Teor de Cloretos;	Escolher pontos no centro e nas extremidades da laje;
Verificação quanto a infiltrações	Ensaio de Termografia	Fazer uma análise global, porém dar mais atenção a pontos onde passam o sistema hidráulico;
Verificação quanto a integridade da armadura passiva	Ensaio de Resistividade; Ensaio de potencial de meia-célula;	Verificar se existem pontos de umidade;
Verificação quanto a integridade da armadura ativa	Ensaio R.I.M.T (cordoalhas e bainhas metálicas) Ensaio GPR (bainhas metálicas)	Verificar se as ancoragens estão grauteadas;
Análise global da estrutura	Ensaio de Tomografia Ionizante	Fazer análise detalhada de todas informações recebidas;
Injeção de epóxi ou análogos, para tratamento das fissuras.	Fissuras no concreto	Monitoramento das fissuras com gesso.
Remoção de concreto velho e substituição por novo com baixo teor de cloreto e sulfetos.	Carbonatação e presença de cloretos no concreto	Monitorar microclima local, para análise mais profunda.
Utilização de aditivos impermeabilizantes	Excesso de umidade no concreto	Identificar qual a origem dessa umidade
Escovação da armadura, seguido de limpeza da superfície e aplicação de inibidor de corrosão.	Leve corrosão na armadura passiva	Fazer uma análise estrutural para indicar melhor técnica de reforço a se utilizar.
Substituição da armadura degradada por nova armadura, seguido de reforço.	Alta Corrosão Na Armadura passiva	Fazer uma análise estrutural para indicar melhor técnica de reforço a se utilizar.
Substituição do elemento corroído, seguido pela sua pintura com epóxi e preenchimento usando graute.	Corrosão nas ancoragens	Inspeccionar outros cabos da laje para procurar pontos de corrosão, de preferência com o ensaio RIMT.
Substituição parcial das cordoalhas ou cabos metálicos.	Corrosão localizada nas cordoalhas	Por precaução, recomenda-se fazer escoramento no local, e fazer uma investigação geral dos cabos.
Substituição total das cordoalhas ou cabos metálicos.	Ampla corrosão nas cordoalhas	Fazer escoramento no local.

ANEXO B – DESENVOLVIMENTO DO MANUAL

Um dos pilares para que a edificação atinja a vida útil para a qual foi projetada é a sua manutenção, logo, ela precisa ser planejada, recorrente e minuciosa, para que assim a construção possa garantir o seu desempenho e durabilidade. Inicialmente, seja em estruturas de concreto armado ou protendido, recomenda-se fazer uma inspeção visual da estrutura, para assim poder planejar uma melhor estratégia de manutenção.

Diferente do concreto armado, o concreto protendido tem suas particularidades e diferenças quanto a análise, uma das diferenças se dá que devido ao fato de as estruturas protendidas já estarem sob um estado prévio de tensão, o aparecimento de fissuras é mais raro em relação ao concreto convencional, e também devido a isso a corrosão e despassivação de suas armaduras representa um risco maior do que em estruturas convencionais. Além disso é preciso estar atento ao fato de que este tipo de estrutura costuma apresentar menos sinais de que está em estado de degradação em relação aos seus pares, o que pode ocasionar num colapso sem aviso prévio. Portanto, é essencial que a inspeção visual seja minuciosa e detalhada.

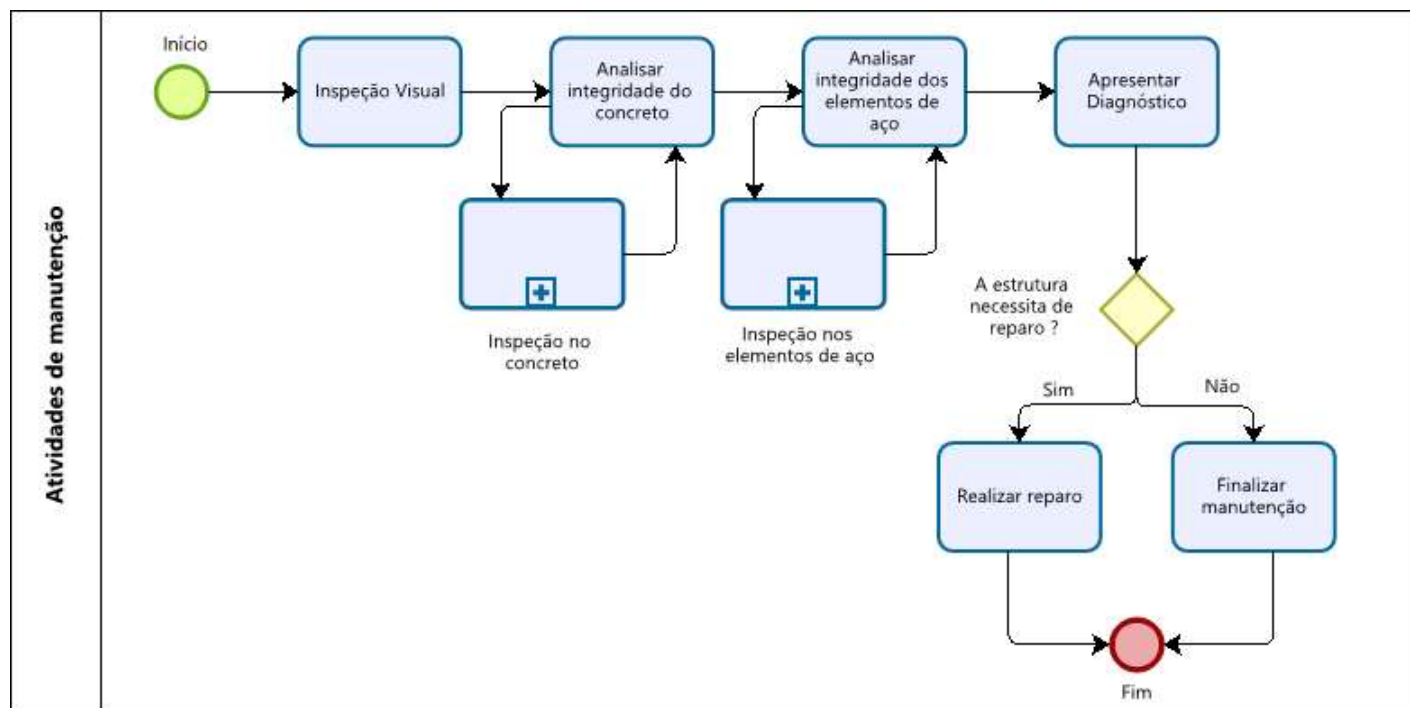
B.1 INSPEÇÃO VISUAL

Conforme referido, deve-se realizar uma inspeção visual com a finalidade de detectar previamente quaisquer patologias que estejam aparentes no sistema estrutural e/ou de proteção. Essas patologias podem vir oriundas de um processo físico, químico, da natureza ou de ação do homem, a ABNT NBR NM 315:2017 apresenta os requisitos e práticas recomendadas para a inspeção visual, a norma indica que essa análise pode ser feita através da análise visual direta, remota ou translúcida. É importante ressaltar que o presente trabalho tem como objetivo analisar as patologias oriundas dos mais diversos processos, sejam eles físicos ou químicos, que possam agredir a estrutura.

Após a análise visual, deve ser feita uma inspeção minuciosa na estrutura do concreto, nas regiões de ancoragem, nos cabos metálicos e armaduras passivas da estrutura protendida, além das possíveis deformações sofridas pela estrutura. Para assim gerar um diagnóstico e finalizar a manutenção, e então concluir se haverá necessidade de realizar reparos ou reforços na estrutura.

No fluxograma a seguir estão os passos a serem seguidos para a realização de uma manutenção em estruturas protendidas.

Figura 49 - Fluxograma para atividades de manutenção



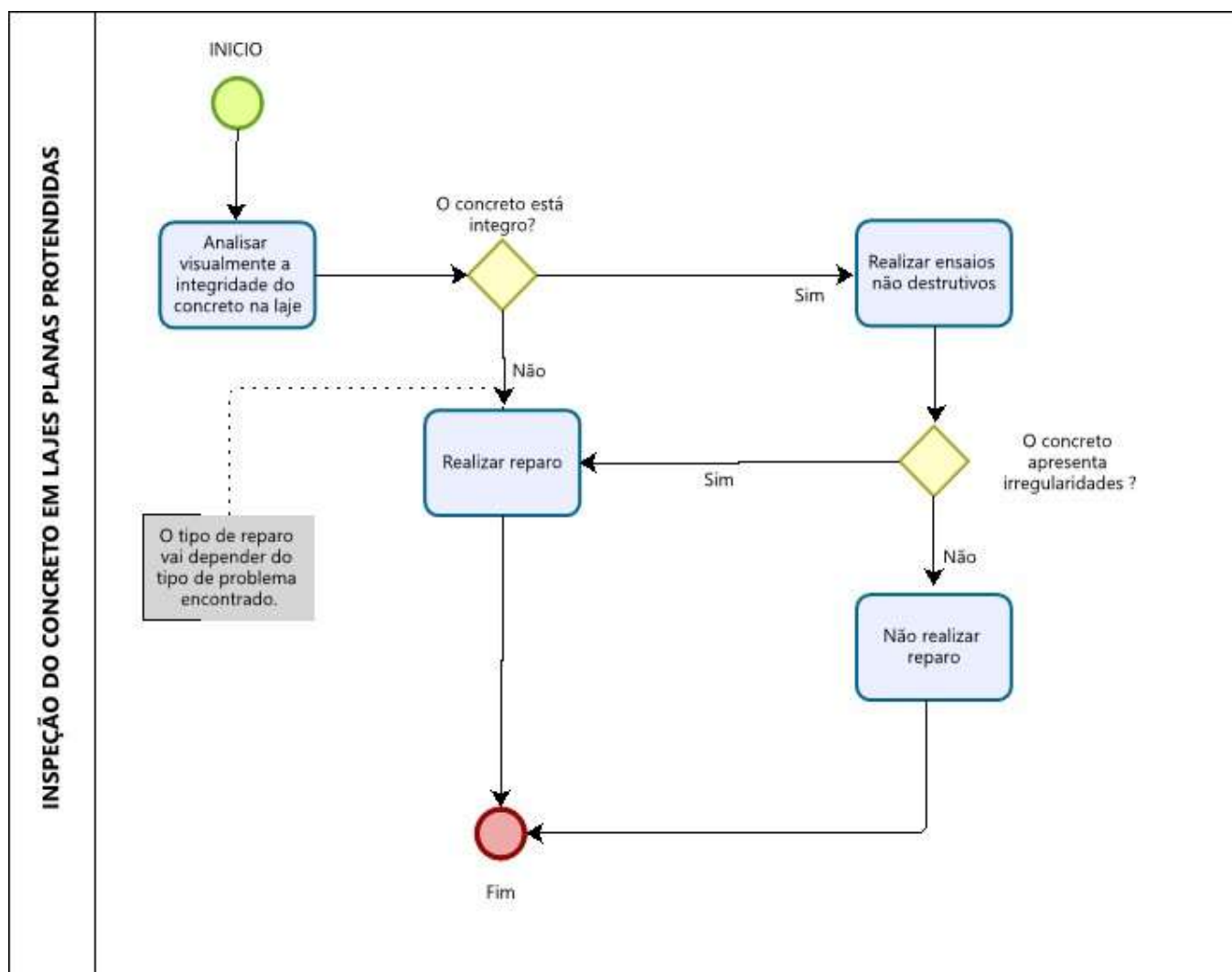
Fonte: (Autor, 2021).

B.1.1 Inspeção das fissuras e degradação do Concreto

Como mencionado anteriormente, uma das etapas para a manutenção de uma laje plana protendida é sua inspeção, esta visa garantir que a vida útil de projeto esteja assegurada. Para que a inspeção seja feita de forma satisfatória é preciso se atentar a toda a superfície da laje, a fim de obter uma análise completa do elemento estrutural.

Na figura a seguir há um passo a passo para realizar uma análise completa no concreto das lajes planas protendidas.

Figura 50 - Fluxograma para inspeção no concreto



Fonte: (Autor, 2021).

Como exposto no fluxograma acima, o concreto precisa ser analisado ao longo de boa parte da superfície da laje. Existem diversos problemas que podem acometer a superfície de uma laje em concreto protendido, como um mal lançamento na etapa de concretagem, excesso de vibração nas áreas próximas a ancoragem, ou até mesmo a utilização de um concreto que contém um teor maior que 0,05% de íon cloretos em relação a massa do cimento, que é o máximo valor para concretos protendidos. Dado o fato desta ser uma estrutura que já está sob um estado de tensão, sua fissuração é muito rara, então deve-se ter um cuidado extra ao procurar fissurações, mesmo que tenham espessura mínima. Outras patologias que também devem ser observadas são pontos de umidade, deformações, dentre outras que podem comprometer o desempenho da estrutura.

Após a análise visual, caso não haja nenhum defeito detectado, recomenda-se fazer uma inspeção a partir de ensaios não destrutivos. Na tabela abaixo estão listados alguns ensaios que podem ser feitos na avaliação da laje.

Tabela 30 - Ensaios para inspeção no concreto

Normas ou Procedimentos	Objetivo	Ensaio
ABNT NBR 8802 – Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação ultrassônica	Encontrar discontinuidades ou vazios na superfície do concreto.	Ultrassom por transmissão Direta
		Ultrassom por transmissão semidireta
		Ultrassom por transmissão indireta
Ensaio de carbonatação	Analisar o pH do concreto, e assim, analisar sua proteção nos cabos metálicos e armadura passiva.	Teste de fenolftaleína
ABNT NBR 16292 – Termografia – Medição e compensação da temperatura aparente refletida usando câmeras termográficas	Medir a temperatura da superfície de concreto, a fim de identificar pontos de umidade, infiltração e fissuras	Método refletor
		Método direto
ASTM C1202-19 – Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete Ability to Resist Chloride	Medir a penetração de cloretos no concreto.	Teste com nitrato de prata.
Ensaio de Tomografia	Obter vazios do concreto, posição e condição das barras de aço e bainhas e cabos metálicos.	Tomografia ionizante (RCT).

Fonte: (AUTOR, 2021).

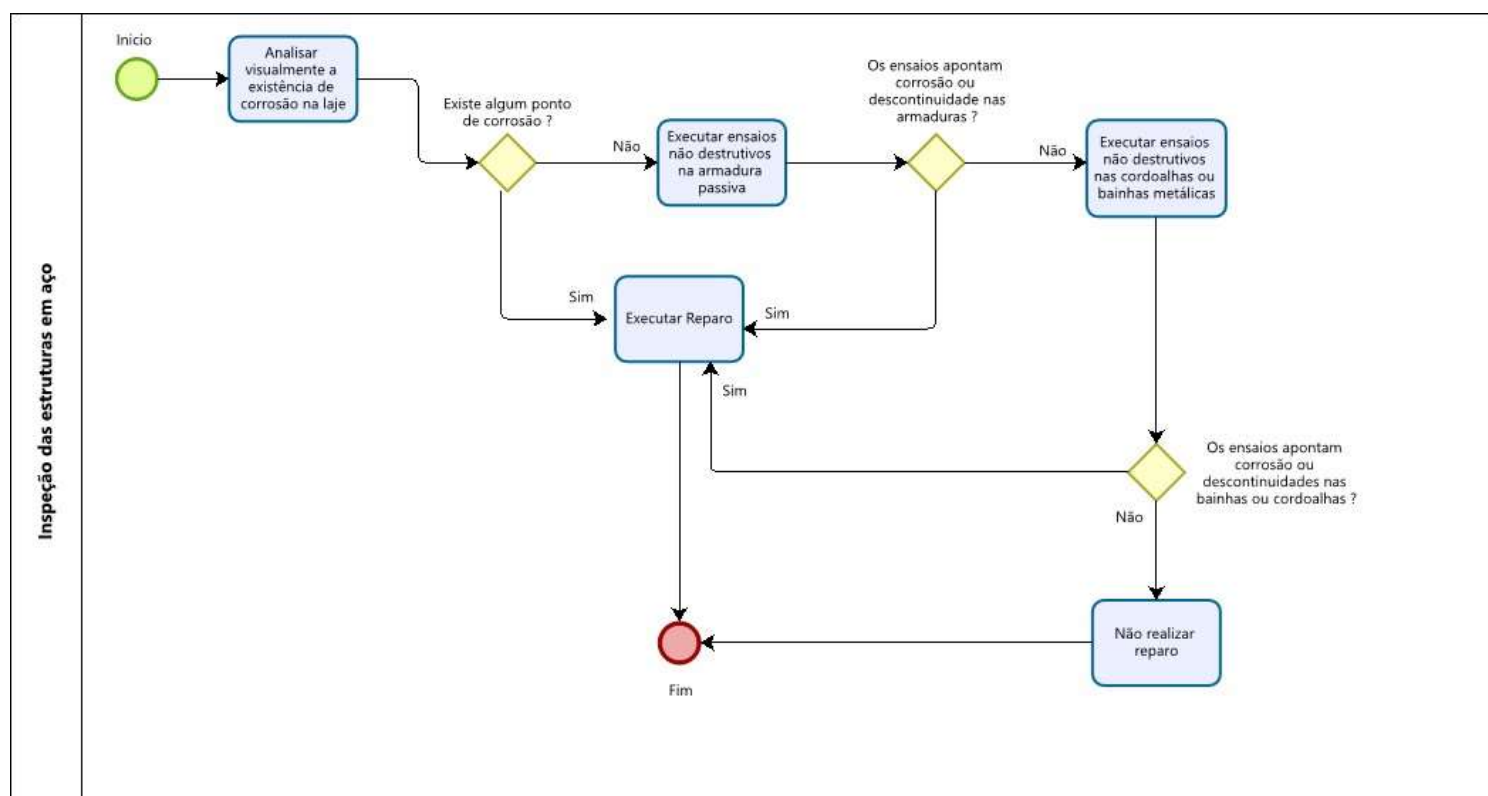
Realizados os ensaios e não detectados defeitos no concreto, finaliza-se a inspeção da laje, ficando evidente a desnecessidade de reparos. Porém, na hipótese contrária os reparos deverão ser executados com a técnica mais adequada de recuperação.

B.1.2 Inspeção das bainhas, cabos metálicos e armadura passiva

Outro elemento fundamental a ser inspecionado e que precisa de muita atenção para a manutenção e monitoramento são as estruturas de aço que formam as lajes planas protendida. Essas estruturas são compostas tanto pela armadura ativa, que são os cabos ou bainhas metálicas, quanto pela armadura passiva. Considerando que as armaduras ativas são um elemento crítico para o funcionamento das estruturas, é recomendado que haja cuidados especiais.

No fluxograma a seguir estão as atividades para inspeção e manutenção dos componentes em aço do concreto protendido.

Figura 51 - Fluxograma para inspeção em estruturas de aço



Fonte: (AUTOR, 2021).

Reitera-se a necessidade de inspeção visual detalhada na laje com o fito de detecção de corrosão instalada. Havendo componentes dos cabos em estado de corrosão aparentes, recomenda-se proceder um mapeamento com ensaios não destrutivos.

São várias as patologias que podem ocorrer nas estruturas de aço de lajes em concreto protendido. Estas podem ser originadas de problemas de corrosão nas armaduras, protensão mal feita, falha na ancoragem, mal dimensionamento da

armadura mínima e dos cabos e bainhas metálicas, alongamento incorreto, a não proteção na região da ancoragem, dentre outros.

Nas tabelas a seguir, estão determinados quais ensaios são recomendados realizar tanto na armadura passiva, quanto nos cabos, fios e cordoalhas de aço.

Tabela 31 - Ensaio para armadura passiva

Normas	Objetivo	Ensaio
ASTM C876 15 – Standard method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete	Classificar a probabilidade de corrosão na armadura de aço	Potencial De Corrosão
AASHTO T 358 - Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration	Determinar a resistividade do concreto para determinar a resistência á penetração do íon cloreto e de corrosão da armadura de aço	Ensaio de resistividade
Ensaio de Tomografia	Obter posição, diâmetro, cobrimento e estado de corrosão de armaduras de aço.	Tomografia Ionizante (RCT).

Fonte: (AUTOR, 2021).

Tabela 32 - Ensaio em cabos metálicos e cordoalhas

Normas	Objetivo	Ensaio
Ensaio RIMT (Reflectometric Impulse Measurement Technique)	Detectar, localizar e graduar anomalias em cabos protendidos	R.I.M.T.
Ensaio de Tomografia	Obter posição, diâmetro, cobrimento e estado de corrosão de cabos e cordoalhas.	Tomografia Ionizante

Fonte: (AUTOR, 2021).

Encerrados os ensaios nos aços, segue-se basicamente o mesmo roteiro para a inspeção nos concretos. Finalizada a inspeção, lavra-se o diagnóstico e determinam-se técnicas adequadas para recuperação ou reforço.

B.2 RECUPERAÇÃO E REFORÇOS EM LAJES PROTENDIDAS

Uma das etapas requeridas durante a manutenção nos elementos estruturais é a decisão pelo uso de reparos ou reforços.

Definida a opção entre reforço ou recuperação, projetam-se as técnicas mais adequadas com o foco no pleno desempenho durante sua nova vida útil.

B.2.1 Recuperação no concreto

O concreto é o elemento base das estruturas protendidas, e como já citado no processo de manutenção, dado o fato de ser uma estrutura em que há um menor “aviso” prévio de problemas na estrutura, sua ruína pode ser por vezes inesperada ou instantânea. Dito isso, a inspeção deve ser minuciosa para detectar os defeitos que podem acontecer e que levam a sérios riscos de segurança aos usuários.

Na tabela a seguir determina-se quais monitoramentos e reparos são recomendados de fazer em uma laje plana protendida:

Tabela 33 - Reparos necessários no concreto

Patologia	Técnica De Reparo	Recomendações adicionais
Fissuras no concreto	Injeção de epóxi ou análogos, para tratamento das fissuras.	Monitoramento das fissuras com gesso.
Carbonatação e presença de cloretos no concreto	Remoção de concreto velho e substituição por novo com baixo teor de cloreto e sulfetos.	Monitorar microclima local, para análise mais profunda.
Excesso de umidade no concreto	Utilização de aditivos impermeabilizantes	Identificar qual a origem dessa umidade

Fonte: (AUTOR, 2021).

Conforme referido, os reparos nas estruturas de concreto são fundamentais para que as patologias que os atingem não cheguem nos componentes de aço (armadura passiva, cordoalhas de aço e bainhas metálicas). Também é importante ressaltar que se recomenda fazer o monitoramento das fissuras antes de haver um prognóstico do tratamento destas, com o objetivo de entender se as causas dessas fissuras são oriundas de problemas na estrutura ainda existentes, ou se já estão estabilizadas. Para esse monitoramento existe um método bastante simples, que é aplicação de um selo de gesso, que por ser um material frágil consegue demonstrar se está havendo ou não uma movimentação na estrutura, pois caso esteja acarretaria na ruptura deste.

Outra ressalva importante a ser feita é que já na fase de concepção o concreto protendido deve ter cuidados especiais em relação ao concreto armado, um desses cuidados é que ele necessita de uma proteção especial em relação a agentes agressivos do ambiente, em especial um concreto com baixíssima concentração de sulfatos e cloretos. Caso não seja feito serão necessários reparos como a sua remoção e substituição por um concreto com estas características, visando a vida útil e manutenibilidade da estrutura.

B.2.2 Recuperação nos componentes de aço

O reparo nos componentes de aço nas lajes protendidas é algo fundamental para a estabilidade, segurança e manutenibilidade da estrutura, visando o seu bom funcionamento e vida útil. As patologias dentro das estruturas de aço podem ter diversas origens, que vem desde a fase de concepção e execução, ou também se originar por uma falta de manutenção e monitoramento.

Podemos separar as estruturas de aço em lajes protendidas em 2 grupos principais, que seriam a armadura passiva, que representa o aço carbono mais comum que é utilizado em estruturas de concreto armado, e a armadura ativa, que é representado pelas bainhas metálicas e cordoalhas de aço.

Na tabela a seguir, determinam-se algumas patologias causadas nas armaduras passivas e como fazer a recuperação destas.

Tabela 34 - Técnicas de Reparo Para Armadura Passiva

Patologias	Técnica De Reparo	Recomendações Adicionais
Leve Corrosão Na Armadura	Escovação da armadura, seguido de limpeza da superfície e aplicação de inibidor de corrosão.	Caso a superfície do material não puder ser molhada, fazer a limpeza com jateamento de ar.
Alta Corrosão Na Armadura	Substituição da armadura degradada por nova armadura, seguido de reforço.	Fazer uma análise estrutural para indicar melhor técnica de reforço a se utilizar.

Fonte: (AUTOR, 2021).

Como exposto acima, o principal problema que pode ocorrer nos componentes de aço é a corrosão, podendo ser uma corrosão na fase inicial, a qual um reparo mais simples já é o suficiente para correção do problema. Caso haja uma deterioração considerável, com perda de seção da armadura, recomenda-se fazer a substituição das armaduras de aço seguido de um reforço na estrutura. É importante salientar que para realizar o reparo com aplicação do inibidor, é necessário remover o concreto ao redor das barras, cerca de 3 cm, para aplicação do inibidor em toda seção. Também é recomendado realizar uma cura de cerca de 7 dias na estrutura.

Para concreto protendido o principal elemento de resistência a tração são as armaduras ativas, dito isso é fundamental que seja feito um forte monitoramento nas condições desse elemento estrutural, para que não ocorram patologias.

A seguir, são expostas as patologias mais comuns nesse elemento e quais são as técnicas de reparo recomendadas:

Tabela 35 - Técnicas de reparo para armadura ativa

Patologias	Técnica De Reparo	Recomendações Adicionais
Corrosão nas ancoragens	Substituição do elemento corroído, seguido pela sua pintura com epóxi e preenchimento usando graute.	Inspecionar outros cabos da laje para procurar pontos de corrosão, de preferência com o ensaio RIMT.
Corrosão localizada nas cordoalhas	Substituição parcial das cordoalhas ou cabos metálicos.	Por precaução, recomenda-se fazer escoramento no local.
Ampla corrosão nas cordoalhas	Substituição total das cordoalhas ou cabos metálicos.	Fazer escoramento no local.

Fonte: (AUTOR, 2021).

Sobre o exposto acima, a corrosão na região da ancoragem pode ter consequências catastróficas nas lajes planas protendidas, por isso é necessário um monitoramento periódico deste tipo de estrutura, visando a segurança e vida útil de projeto.

Devido a esse fato, um controle rigoroso ainda na fase de execução é fundamental, alguns dos cuidados a serem feitos são:

- Nata de injeção de cimento com baixos teores de sulfetos e cloretos para protensão aderente.
- Verificar se o alongamento dos cabos está dentro do previsto em projeto.
- Utilização da armadura de fretagem.
- Verificar a integridade do capeamento plástico.

Após os cortes das pontas das cordoalhas, deve-se proteger a parte exposta com pintura epóxi, e após isso preencher os nichos de protensão com graute. Para regiões litorâneas, recomenda-se usar um cap plástico para proteção da cordoalha exposta.

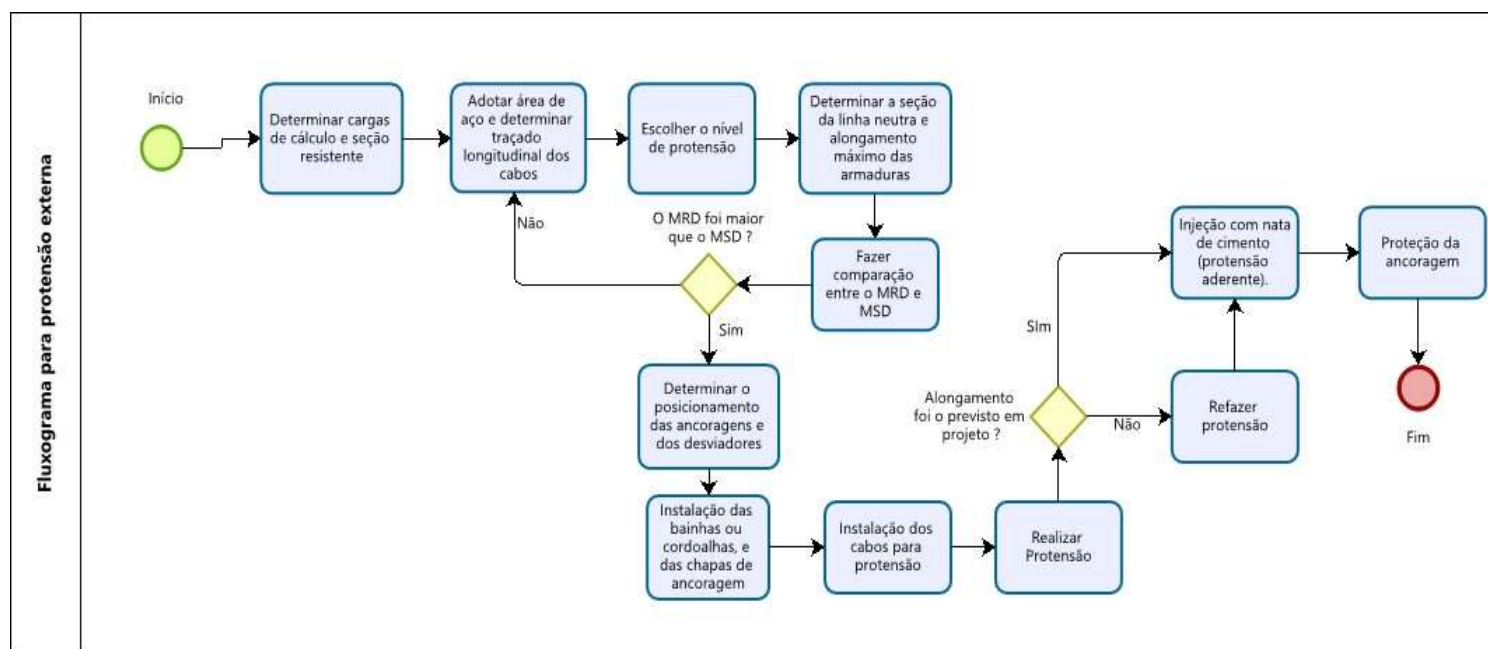
B.2.3 Reforço no concreto protendido

. Os elementos estruturais feitos em concreto protendido possuem diversos benefícios em relação ao concreto convencional, dentre eles podemos citar que estes possuem estruturas mais esbeltas, reduzindo o consumo de aço e concreto, maior estanqueidade, menos fissurações em relação ao concreto armado, redução da quantidade de vigas e pilares, uma maior facilidade de construir estruturas arquitetônicas mais ousadas, dentre outras vantagens.

No entanto, até mesmo as estruturas protendidas podem chegar em um nível de deterioração relevante, e que resulta na necessidade de reforço estrutural. Uma

das opções de reforço mais comuns e que utiliza elementos protendidos é a protensão externa, no fluxograma a seguir é apresentado um passo a passo para execução de reforço por protensão externa, que é uma técnica eficaz e produtiva, face que pode ser executada sem interditar a laje ou qualquer elemento estrutural.

Figura 52 - Fluxograma para protensão externa



Fonte: (AUTOR, 2021)

5. CONCLUSÃO

Diante do que foi abordado neste trabalho conclui-se que o objetivo principal foi atingido com a apresentação do Manual de Uso, Operação e Manutenção de Lajes Planas Protendidas, apresentado nos resultados deste trabalho (item 4) e anexos A e B. O mesmo foi construído baseado nas recomendações das ABNT NBR 14037:2011 e ABNT NBR5674:2012. Seu desenvolvimento foi feito através de profunda pesquisa bibliográfica de estruturas protendidas, estudos de caso em obras protendidas, além de entrevistas e visitas em construções que apresentam esta solução.

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível perceber a importância de um bom programa de manutenção, uso e operação neste sistema estrutural, visto que ele requer mão de obra qualificada e especializada, a fim de garantir o bom desempenho durante sua vida útil de projeto. Também ficou evidente a necessidade dos construtores e projetistas se aprofundarem a respeito dos aspectos da durabilidade. Visando subsidia-los quanto a esse aspecto, o Manual de uso, operação e manutenção elenca as diretrizes a serem seguidas para um bom planejamento, visando a realização da manutenção preventiva e de quais são os melhores meios de se realizar essa manutenção, o qual colabora com a redução de custos futuros e garante o bom desempenho da estrutura.

Outra vertente que é de fundamental importância tem a ver com uma adequada concepção e execução da estrutura, visto que quando falhas podem ser a porta de entradas para o surgimento de manifestações patológicas, e em casos mais graves, da ruína da estrutura. Portanto, os construtores e incorporadores devem atentar-se aos cuidados especiais que são exigidos em ambas as fases, principalmente na execução. Além disso, é de suma importância a disseminação das técnicas de reparo e reforço neste tipo de estrutura, e que para evitar a necessidade de utiliza-las é de suma importância o monitoramento e manutenção por meio dos ENDS, com o intuito de dispor de dados e análises aprofundadas quanto a saúde físico-química da estrutura.

Logo, é possível afirmar que todos os objetivos foram atingidos respaldados com a criação do Manual de uso, operação e manutenção de lajes protendidas, cabendo aos construtores, incorporadores e projetistas o utilizarem como subsídio para a construção de uma melhor gestão da manutenção. Em relação aos objetivos secundários, serão alcançados com a aplicação e implementação dos conceitos

resultantes do objetivo principal, o manual é instrumento fundamental para o desenvolvimento nesse sistema estrutural.

5.1 SUGESTÕES

A partir deste estudo, fica como sugestões para futuros trabalhos:

- a) Aplicação do manual de uso, operação e manutenção de lajes planas em concreto protendido com o fito de atestar a eficiência e os benefícios da gestão da manutenção em estruturas protendidas, a fim de garantir seu desempenho e durabilidade;
- b) Aplicação das técnicas e práticas para monitoramento e reparo citadas no trabalho, para estudo de caso;
- c) Criação de normas técnicas que foquem na prevenção de patologias em estruturas protendidas;
- d) Análise de custos em edificações com lajes protendidas que necessitaram de reforços ou reparos em comparação com edificações que realizam o monitoramento e manutenção de suas estruturas;

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.

ABNT NBR 8802: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação ultrassônica.

ABNT NBR 16292: Termografia - Medição e compensação da temperatura aparente refletida usando câmeras termográficas.

ABNT NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade.

ABNT NBR 5674: Manutenções de edificações - Procedimento.

ABNT NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção de edificações – Requisitos para elaboração e apresentação de conteúdo.

ABNT NBR 7584: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio.

ABNT NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais.

ASTM C805: Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete.

BS 1881-204:1988: Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters.df

PS BASTOS. **Fundamentos do concreto protendido.** 265 páginas. Apostila – Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2019.

Catálogo ARCELORMITTAL. **Fios e Cordoalhas para Concreto Protendido.** 2020.

RUDOLFF, M. T. S. **Lajes planas protendidas**. Disponível em: http://www.rudloff.com.br/downloads/publicacao1_lajes_planas_protendidas.pdf.

2019.

BONILHA, L.C.L. **Concreto Protendido: teoria e prática**. 360 páginas. Editora Oficina de Textos; 2ª edição (1 novembro 2018).

CAUDURO, E.L. **Manual para a Boa Execução de Estruturas Protendidas Usando Cordoalhas de Aço Engraxadas e Plastificadas**. 109 páginas.

RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 255 páginas. Editora PINI. 2009.

BOTO, T.A.P. **Estratégias para intervenções de reparação e reforço em estruturas de betão armado**. 169 páginas. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialidade de Construção Urbana - Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. 2015.

JUVANDES, L. **Aplicações de compósitos FRP no reforço de estruturas**. 32 páginas. Publicação - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2011.

PINHEIRO, L.H.B. **Reforço de pontes em concreto armado por protensão externa**. 186 páginas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2018.

BONADEU, JR. **Análise da penetração de cloretos no concreto armado exposto em ambiente natural e simulado**. 57 páginas. Dissertação - Universidade Federal Do Paraná. Curitiba. 2016.

AALAMI, B. **Innovative Rehabilitation of a Parking Structure**. 6 páginas. Disponível em: <https://ptstructures.com/uploads/pdf/p16.pdf>

E ZILLI, F BORTOLOTI. **Estudo comparativo entre uma estrutura com laje convencional em concreto armado e uma estrutura com laje plana lisa protendida: Estudo de caso de um edifício residencial multifamiliar na cidade de Pato Branco – PR**. 133 páginas. Dissertação – Universidade Tecnológica do Paraná. Pato Branco. 2013.

VELIHOVETCHI N, SIQUEIRA CH. **Manutenção da superestrutura em concreto protendido da ponte Rio-Niterói.** 61 páginas. Publicação - Instituto de Engenharia. São Paulo. 2010.

SILVEIRA, I.P. **Reforço de lajes fungiformes com compósitos cimentícios de ultra-elevado desempenho.** 95 páginas. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto. 2020.

MARISCOTTI, M.A.J. **Development and application of computed tomography in the inspection of reinforced concrete.** Publicação - The British Institute of Non-Destructive Testing. 2004.

OLIVEIRA, M.B. **Reforço estrutural de pontes rodoviárias em concreto armado utilizando protensão externa.** 93 páginas. Dissertação - Universidade Federal De Uberlândia. Uberlândia, 2020.

BOLETIM CEB Assessment of Concrete Structures and Design Procedures. 1983.

WHITMORE, D. **Impregnation technique provides corrosion protection to grouted post-tensioning tendons.** 5th International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation, and Retrofitting. 2018.

CBIC. **Guia nacional para elaboração do manual de uso, operação e manutenção das edificações.** 188 páginas. 2014.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO UTILIZADO PARA ENTREVISTA EM OBRA

- I. **Como foi feita a execução da laje e quais foram as maiores dificuldades durante a fase de execução?**
- II. **Quais os cuidados extras que devem ser feitos em relação a execução uma laje convencional?**
- III. **Qual sistema de protensão foi utilizado e como se executa esta protensão?**
- IV. **como é garantido que não houve quebras nos cabos de protensão durante a concretagem?**
- V. **Quais os cuidados na ancoragem da protensão e como é garantida a sua qualidade?**
- VI. **Quanto tempo depois de concretada é iniciada a protensão e como é feito o controle da protensão?**
- VII. **como é garantido que não há deformação na laje?**
- VIII. **Quais ensaios de controle tecnológico foram realizados antes e depois da protensão?**
- IX. **existe algum procedimento técnico para verificar o desempenho da laje?**
- X. **Foi feito algum manual de manutenção para a laje?**
- XI. **Quais são os procedimentos técnicos que os proprietários devem obedecer visando manter a vida útil da laje?**

- XII. Quais são os ensaios solicitados no manual para que os proprietários procedam a execução e as suas periodicidade visando o desempenho da sua vida útil?**
- XIII. Houve reposicionamento das cordoalhas?**
- XIV. Houve algum atraso na execução em comparação ao planejado inicialmente? Se sim, por qual o motivo?**
- XV. Como era feita a armazenagem do material para a execução da laje?**
- XVI. Houve marcação das canaletas?**
- XVII. Quanto tempo leva para grautear os furos de ancoragem e qual o procedimento para o grauteamento?**
- XVIII. Quais as razões técnicas e econômicas para a escolha das lajes planas protendidas ?**