



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CONTRIBUIÇÃO PARA A METODOLOGIA DE INSPECÇÃO DE CABOS DE
PONTES SUPORTADAS POR CABOS COM VISTA À SUA MANUTENÇÃO**



António Joaquim Macaringue Júnior

Trabalho de Licenciatura Submetido ao Departamento de Engenharia Civil para
obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Civil

Supervisor(a): MSc.Eng^a. Alexandra Neves

Maputo, Fevereiro de 2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CONTRIBUIÇÃO PARA A METODOLOGIA DE INSPECÇÃO DE CABOS DE
PONTES SUPOSTADAS POR CABOS COM VISTA À SUA MANUTENÇÃO**

António Joaquim Macaringue Júnior

Trabalho de Licenciatura Submetido ao Departamento de Engenharia Civil para
obtenção de grau de Licenciatura em Engenharia Civil

Supervisor(a): MSc. Eng^a. Alexandra Neves

Maputo, Fevereiro de 2023

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho aos meus pais
António Macaringue e Maria Emília
Simbine, ao meu irmão Joaquim Jonas
Macaringue, à minha tia Fátima
Madalena, às minhas irmãs Marina
Emília Simbine e Vânia Mondlane,
demais Familiares e amigos pelo
incentivo e apoio.

"Se não puder voar, corra.
Se não puder correr, ande.
Se não puder andar, rasteje,
mas continue em frente de
qualquer jeito."

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para que a realização deste trabalho fosse possível.

Aos meus pais António Macaringue e Maria Emília Simbine, ao meu irmão Joaquim Jonas Macaringue, à minha tia Fátima Madalena, às minhas irmãs Marina Emília Simbine e Vânia Mondlane, a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

Aos meus amigos que sem vocês com certeza essa caminhada seria mais difícil. Obrigado pelo companheirismo.

Aos meus professores da Universidade Eduardo Mondlane, pelo conhecimento compartilhado ao longo do curso, em especial à minha orientadora Engenheira Alexandra Neves pela confiança, disponibilidade, dedicação e condução desse trabalho.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que contribuíram com esse desafio.

RESUMO

O presente trabalho dedica-se ao estudo de todos aspectos pertinentes para inspecção eficiente do sistema de cabos de pontes suportadas por cabos.

Inicia com uma abordagem geral de pontes suportadas por cabos, evidenciando o seu sistema de cabos e suas particularidades. Caracteriza-se cada uma delas, com exemplos ilustrativos.

Com base nas normas Americanas e Europeias definem-se no capítulo 3 as principais propriedades, requisitos e testes dos materiais usados no sistema de cabos.

O capítulo 4 dedica o seu espaço ao estudo dos fundamentos das inspecções de pontes suportadas por cabos. Refere-se a qualificação dos inspectores e seus auxiliares técnicos, suas responsabilidades e deveres, ao planeamento da inspecção, equipamentos da inspecção, métodos de acesso e as práticas de segurança.

No capítulo 5 aborda-se sobre inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos, dando destaque aos tipos de inspecção, periodicidade e aos procedimentos de inspecção a serem adoptados em cada elemento do sistema de cabos.

Por fim, são apresentadas no capítulo 6, as conclusões e desenvolvimentos futuros, baseado na análise e resposta do problema, das perguntas de partida, das hipóteses e dos objectivos apresentados no início do trabalho. É mencionado no mesmo capítulo, a proposta de guião de inspecção de sistemas de cabos pontes suportadas por cabos que é na essência o principal objectivo deste trabalho. Esse guião foi desenvolvido com a intenção de auxiliar qualquer Engenheiro civil e profissional de nível médio no que tange ao processo de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos, desde a visita prévia ao local da obra, as actividades de escritório até as actividades no local da obra.

Palavras-chave: inspecção eficiente, sistema de cabos, fundamentos das inspecções, guião de inspecção.

ÍNDICE DE TEXTO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 PROBLEMA.....	2
1.2.1 Perguntas de partida.....	2
1.2.2 Hipóteses.....	2
1.3 OBJECTIVOS.....	2
1.3.1 Objectivo geral.....	2
1.3.2 Objectivos específicos.....	2
1.4 METODOLOGIA.....	3
2. ASPECTOS GERAIS SOBRE PONTES SUPOSTAS POR CABOS	4
2.1 INTRODUÇÃO.....	4
2.2 PONTES SUSPENSAS.....	4
2.2.1 Generalidades.....	4
2.2.2 Elementos estruturais.....	4
2.2.3 Elementos de tensionamento.....	6
2.2.4 Sistema de conexão dos pendurais.....	6
2.2.5 Sistema de ancoragem.....	7
2.2.6 Sistema de desvio	8
2.2.7 Sistema de amortecimento dos cabos.....	9
2.2.8 Sistema de protecção dos sistemas de cabos.....	9
2.3 PONTES ATIRANTADAS.....	11
2.3.1 Generalidades.....	11
2.3.2 Elementos estruturais.....	11
2.3.3 Elementos de tensionamento (tirantes).....	12
2.3.4 Sistema de ancoragem.....	13
2.3.5 Sistema de desvio.....	13

2.3.6 Sistema de amortecimento dos cabos.....	16
2.3.7 Sistema de protecção do sistema de cabos.....	18
3. PROPRIEDADES, REQUISITOS E TESTES DOS MATERIAIS USADOS NO SISTEMA DE CABOS.....	23
3.1 GENERALIDADES.....	23
3.2 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA À TRACÇÃO.....	23
3.2.1 Generalidades.....	24
3.2.2 Revestimento metálico.....	24
3.2.3 Revestimento epóxi.....	24
3.3 AÇO ESTRUTURAL PARA ANCORAGENS, SELAS, DISPOSITIVOS DE GUIA, DESVIOS E TUBOS.....	26
3.4 COMPONENTES DE AÇO INOXIDÁVEL NO SISTEMA DE CABOS.....	26
3.5 MATERIAIS DE ENCHIMENTO.....	28
3.6 TUBOS DE CABOS E OUTROS TUBOS.....	31
3.6.1 Generalidades.....	31
3.6.2 Tubos termoplásticos.....	32
3.6.3 Tubos de aço.....	33
3.6.4 Outros tubos.....	34
3.7 DISPOSITIVOS DE ORIENTAÇÃO E DESVIO.....	34
3.8 DISPOSITIVOS DE AMORTECIMENTO.....	34
4. FUNDAMENTOS DAS INSPECÇÕES DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS.....	35
4.1 INTRODUÇÃO.....	35
4.2 QUALIFICAÇÃO DOS INSPECTORES DE SISTEMA DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS E AUXILIAREAS TÉCNICOS.....	35
4.2.1 Definição de atribuições.....	35
4.2.2 Qualificação dos inspectores.....	35
4.2.3 Qualificação dos auxiliares técnicos.....	37
4.3 RESPONSABILIDADES E DEVERES DO INSPECTOR.....	38
4.4 PLANEAMENTO DA INSPECÇÃO.....	39

4.5 EQUIPAMENTOS DE INSPECÇÃO.....	39
4.5.1 Equipamentos Comuns.....	39
4.5.2 Equipamentos Especiais	40
4.6 MÉTODOS DE ACESSO.....	40
4.6.1 Generalidades	40
4.6.2 Equipamentos de Acesso.....	41
4.6.3 Veículos de Acesso.....	42
4.7 PRÁTICAS DE SEGURANÇA.....	44
4.7.1 Fundamentos de segurança.....	44
4.7.2 Protecção pessoal.....	44
4.7.3 Causas de Acidentes.....	45
5. INSPECÇÃO DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS.....	46
5.1 GENERALIDADES.....	46
5.2 TIPOS DE INSPECÇÃO E PERIODICIDADE.....	46
5.3 INSPECÇÕES DO SISTEMA DE CABOS DE PONTES SUSPENSAS.....	47
5.3.1 Inspeção da sela de desvio	47
5.3.2 Inspeção de cabos principais e dos pendurais.....	47
5.3.3 Inspeção dos pendurais/soquetes.....	49
5.3.4 Inspeção das conexões entre os pendurais e o cabo principal.....	51
5.3.5 Inspeção no interior dos blocos de ancoragem.....	52
5.3.5.1 Inspeção dos cordões (interior do bloco de ancoragem).....	53
5.3.5.2 Inspeção dos soquetes e barras de ancoragem (interior do bloco de ancoragem).....	53
5.3.5.3 Infiltração ou Drenagem de Água (interior do bloco de ancoragem).....	54
5.4 INSPECÇÃO DE CABOS DE PONTES ATIRANTADAS.....	55
5.4.1 Generalidades.....	55
5.4.2 Inspeções visuais.....	56
5.4.3 Inspeções da força dos cabos com base em vibrações.....	57

5.4.4 Inspeções dos tirantes com base em técnicas ultrassónicas (verificação da existência de rotura de fios).....	59
5.4.5 Inspeção de tirantes com base no método electromagnético.....	61
6. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA INSPECÇÃO DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS.....	63
6.1 INTRODUÇÃO.....	63
6.2 GUIÃO PARA INSPECÇÃO DE SISTEMAS DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS.....	63
6.3 FICHAS DE INSPECÇÃO.....	63
6.3.1 Fichas de Inspeção inicial ou cadatral.....	63
6.3.2 Fichas de Inspeção rotineira.....	64
7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	66
7.1 CONCLUSÕES.....	66
7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E NORMAS CONSULTADAS.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
NORMAS CONSULTADAS.....	69
ANEXOS.....	73
Anexo 1 - Proposta de Guião para inspeção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos.....	A 1.1
Anexo 2 - Fluxograma da proposta de guia de inspeção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos.....	A 2.1
Anexo 3 - Proposta de ficha de inspeção cadastral.....	A 3.1
Anexo 4 - Proposta de ficha de inspeção rotineira.....	A 4.1
Anexo 5 - Instruções para o preenchimento das fichas de inspeção.....	A 5.1
Anexo 6 - Instruções para a atribuição da nota técnica.....	A 6.1

LISTA DE SÍGLAS

MIT – Massachusetts Institute of Technology
PEAD – Politétano de Alta Densidade
EN – European Standards
ASTM – American Society for Testing and Materials
FHWA – Federal Highway Administration
ISO – International Standard Organization
DIN – German Institute for Standardization
NFT – Norme Française
AHT – Condensation atmosphere with Alternating Humidity and air Temperature
NSS – Neutral Salt Salt
NFM – Nonferrous Metal
UV – Ultravioleta
BS – British Standards
LF – Localized Fault
LMA – Loss of Metallic Cross-sectional Area
ANE – Administração Nacional de Estradas
OAE – Obras de Arte Especiais

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Número equivalente de resistência à corrosão por pite [12].....28
Equação 2 – Relação simples entre a tensão numa corda com sua massa por unidade de comprimento, seu comprimento e sua frequência.....58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de uma ponte suspensa [20].....	5
Figura 2 – Ligação entre pendural e o cabo principal por meio de um anel de fixação [18].....	7
Figura 3 – Ligação do pendural ao cabo principal pelo sistema de soquete aberto [18].....	7
Figura 4 – Sistema de ancoragem do cabo principal no interior do bloco de ancoragem [4].....	8
Figura 5 – Sela para cabos principais de pontes suspensas [1].....	9
Figura 6 – Esquema de ponte atirantada com cabos dispostos em leque [20].....	12
Figura 7 – Elementos que constituem o sistema de ancoragem de pontes atirantadas [7].....	13
Figura 8 – Sela de tubos individuais [7].....	14
Figura 9 – Sela de ancoragem com ranhura e pino [7].....	15
Figura 10 – Sistema de caixa de ancoragem [7].....	16
Figura 11 – Solução convencional de sela de desvio [7].....	16
Figura 12 – Tubo de cabo com nervuras helicoidais [12].....	16
Figura 13 – Amarras cruzadas [12].....	17
Figura 14 – Diferentes tipos de dispositivos de amortecimento [12].....	18
Figura 15 – Sistema de protecção contra corrosão dos tirantes [12].....	20
Figura 16 – Protecção Anti – vandalismo [7].....	21
Figura 17 – Sistema de protecção dos tirantes contra incêndio usando manta de protecção contra incêndio (material não inflamável e de baixa condutividade térmica) [7].....	22
Figura 18 – Sistema de protecção dos tirantes contra incêndio usando invólucro moldado (material inflamável e de baixa condutividade térmica) [8].....	23
Figura 19 – Três opções diferentes de tubos de cabos [12].....	31

Figura 20 – Uso de arnês de segurança para inspecção do cabo principal de uma ponte suspensa [15].....	41
Figura 21 – Transportador para inspecção ou manutenção de cabos principais para pontes suspensas [14].....	41
Figura 22 – Camião tipo Munck com braços articulados [15].....	42
Figura 23 – Acesso directo ao comprimento livre dos cabos usando camião tipo Munck [8].....	43
Figura 24 – Acesso à zona de ancoragem na parte inferior do tabuleiro através do camião tipo Munck [14].....	43
Figura 25 – Acesso à zona de ancoragem dos cabos (mastros) através do camião tipo Munck [8].....	48
Figura 26 – Perfuração do revestimento do cabo principal face a infiltração da água para o interior do cabo principal [4].....	45
Figura 27 – Degradação do revestimento do cabo principal [4].....	49
Figura 28 – Sinais de produtos de corrosão escorrendo ao longo do cabo principal [4].....	49
Figura 29 – Exemplo de desgaste da pintura/revestimento ao longo do comprimento do pendural [4].....	50
Figura 30 – Exemplo típico de corrosão na ligação pendural – tabuleiro [4].....	50
Figura 31 – Exemplo típico de sinais de ruptura de fios na ligação pendural – tabuleiro [4]	50
Figura 32 – Exemplo típico de ruptura de fios e desgaste do revestimento ao longo do comprimento do pendural [4].....	51
Figura 33 – Chave de torque hidráulica para inspecção dos parafusos quanto ao torque [4].....	52
Figura 34 – Extensómetro usado para medir o comprimento do parafuso com grau de precisão de 0,002 polegadas [4].....	52
Figura 35 – Exemplo de redução da secção da barra de ancoragem na interface entre a barras de ancoragem e o betão devido a corrosão [4].....	54

Figura 36 – Vista típica de água se infiltrando para o interior do bloco de ancoragem [4].....	55
Figura 37 – Acelerômetro tridimensional [7].....	58
Figura 38 – Vibrômetro laser doopler para medição da força nos tirantes com base na vibração do cabo [14].....	59
Figura 39 – Resultado de teste ultrassônico realizado num tirante da Ponte Cochrane no Alabama – Estados Unidos da América [14].....	60
Figura 40 – Equipamento para teste ultrassônico [7].....	61
Figura 41 – Instrumento para inspeção electromagnética dos tirantes [9].....	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos mais usuais de sessões transversais de cabos de pontes suspensas “Adaptado de [19]”	6
Tabela 2 – Requisitos para revestimentos de zinco ou alumínio “Adaptado de [12]”....	24
Tabela 3 – Requisitos para revestimento epóxi “Adaptado de [12]”	25
Tabela 4 – Cinco classes de aço inoxidável recomendadas para componentes de cabos “Adaptado de [21]”	27
Tabela 5 – Requisitos da graxa “Adaptado de [21]”	29
Tabela 6 – Requisitos da cera “Adaptado de [21]”	30
Tabela 7 – Requisitos do tubo de cabo PEAD “Adaptado de [12]”	32

1.1 GENERALIDADES

Para ultrapassar um obstáculo, como um rio ou um vale de difícil acesso, e cuja transposição por meio de pilares é pouco prática ou mesmo impossível, existem construções que, criando uma passagem aérea suportada por cabos, apresentam-se como sendo as melhores soluções para obter uma ligação rodoviária, ferroviária ou até pedonal. Estas estruturas são denominadas por pontes suportadas por cabos.

O sistema viário Moçambicano possui três pontes suportadas por cabos, nomeadamente a ponte de Xai - Xai, ponte Samora Machel, a ponte sobre o rio Save e a ponte Maputo - Katembe. A inspecção do sistema cabos deste tipo de pontes é relativamente recente em Moçambique, além disso, a recente inauguração da Ponte Maputo - Katembe, veio aumentar a necessidade de domínio e aperfeiçoamento das técnicas de inspecção dos cabos deste tipo de pontes.

Estes cabos estão submetidos às acções externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devidas ao vento, sismos, acções da água e variação de temperatura. Além disso, estão inseridos em ambientes sujeitos a diversos tipos de classe de agressividade.

Neste contexto, é necessário realizar inspecções, montar uma estratégia de combate e controlo de possíveis problemas para garantir uma maior vida útil e melhor desempenho de serviço dos cabos.

Este trabalho busca apresentar uma proposta de metodologia de inspecções cadastrais e de rotina padronizadas para inspecção de sistemas cabos de pontes suportadas por cabos baseada nos métodos de inspecção aplicados nos Estados Unidos da America e Europa.

1.2 PROBLEMA

Dificuldade de identificar previamente anomalias no sistema de cabos de pontes suportadas por cabos, que possam afectar o funcionamento e segurança da ponte.

1.2.1 Perguntas de partida

Como fazer inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos?

Por onde começar?

1.2.2 Hipóteses

Hipótese 1: Existe um procedimento padrão.

Hipótese 2: Depende da localização da anomalia.

1.3 OBJECTIVOS

1.3.1 Objectivo geral

- Realizar um guião para inspecção do sistema de cabos de pontes suportadas por cabos.

1.3.2 Objectivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica, sucinta, a respeito do sistema de cabos de pontes suportadas por cabos;
- Abordar sobre as propriedades, requisitos e testes dos materiais usados para fabricação dos elementos que compõem os sistemas de cabos de acordo com as normas Europeias e Americanas;
- Contribuir para que os engenheiros e profissionais de nível médio possam inspeccionar de forma eficaz as pontes suportadas por cabos;
- Apresentar uma proposta de metodologia de inspecção para cabos de pontes suportadas por cabos.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento deste trabalho consistiu nos seguintes procedimentos:

- Leitura de livros e trabalhos académicos, para obtenção de citações sobre inspecção de pontes suportadas por cabos;
- Visualização de documentários na youtube sobre a inspecção e manutenção das pontes 25 de abril, Golden State, Akashi Kaikyo, nos quais foram anotados vários comentários que ajudaram a ter uma visão mais prática e real sobre a inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos;
- Análise detalhada das informações colectadas com base nos procedimentos mencionados acima, com vista a realizar uma proposta de metodologia de inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos.

2. ASPECTOS GERAIS DE PONTES SUPPORTADAS POR CABOS

2.1 INTRODUÇÃO

Para um melhor entendimento das actividades de inspecção, são apresentados neste capítulo alguns termos básicos relacionados com pontes suportadas por cabos (suspensas e atirantadas) com especial atenção ao sistema de cabos. É importante destacar que o entendimento da função dos elementos ou sistemas que constituem o sistema de cabos nomeadamente, os elementos de tensionamento, o sistema de conexão, o sistema de ancoragem, o sistema de desvio, o sistema de amortecimento e do sistema de protecção dos cabos permitirá estabelecer melhor os planeamentos de inspecção.

2.2 PONTES SUSPENSAS

2.2.1 Generalidades

De todos os sistemas estruturais de pontes, as pontes suspensas são aquelas que possibilitam transpor grandes vãos. As pontes suspensas têm em geral um tabuleiro contínuo, sustentado por pendurais ligados aos cabos principais que se apoiam nas torres e que, por sua vez, estão ligados às ancoragens.

“O emprego deste sistema estrutural justifica-se principalmente quando o vão a transpor supera os 200 m, pese embora existam alguns com vãos inferiores. Comparativamente às pontes de tirantes, a solução de pontes suspensas é mais empregue e economicamente competitiva para vãos superiores a 1000 metros” (Gomes 2013).

2.2.2 Elementos estruturais

Os principais elementos estruturais das pontes suspensas são o tabuleiro, os pendurais, os cabos principais, as torres e os blocos de ancoragem. Estes elementos são igualmente importantes para a estabilidade e funcionalidade das pontes suspensas, como vêm descrito abaixo:

- **Tabuleiro:** Responsável pela distribuição dos esforços provenientes de veículos e outras sobrecargas. Nas pontes suspensas de grandes vãos, têm se utilizado tabuleiros com vigas em treliças e tabuleiros metálicos em caixão, enquanto que, os tabuleiros em betão são geralmente mais competitivos para vãos menores;
- **Pendurais:** Elementos intermédios entre o tabuleiro e o cabo principal, que absorvem e transferem os esforços provenientes do tabuleiro para os cabos principais;
- **Cabos principais:** São elementos lineares que recebem as cargas transmitidas pelos pendurais e, por sua vez as transferem às torres e aos blocos de ancoragem;
- **Torres ou mastros:** Elementos intermédios entre a superestrutura e a fundação;
- **Blocos de ancoragens:** São geralmente blocos em estrutura de betão armado que servem para a ancoragem dos cabos principais, e em alguns casos podem servir como apoios do tabuleiro.

Os elementos acima descritos são apresentados na Figura 1, onde é possível visualizar a sua distribuição e localização.

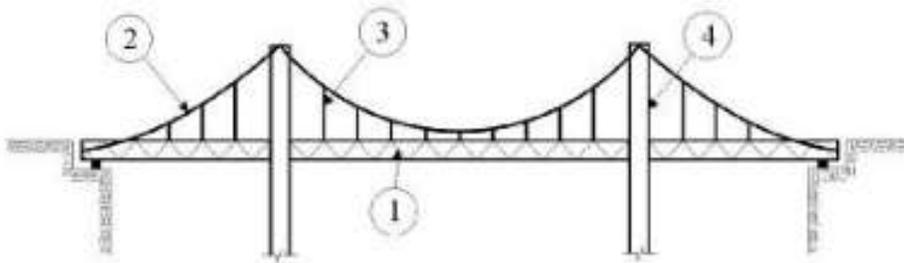


Figura 1 - Esquema de uma ponte suspensa: 1 - tabuleiro; 2- cabo principal; 3 - pendurais; 4 - torres ou mastros [20].

2.2.3 Elementos de tensionamento

Do largo número de variedades de cabos existentes, destacam-se quatro tipos mais utilizados, nomeadamente, cordões de fios paralelos, cordão de fios, cabos fechados

com núcleos helicoidais anti-torção, cabos fechados com fios zeta. A forma da secção e estrutura dos cabos pode ser vista na tabela 1.

Tabela 1 - Tipos mais usuais de secções transversais de cabos de pontes suspensas
 “Adaptado de [19]”.

Nome	Forma de Secção	Estrutura
Cordão de fios paralelos (<i>Parallel Wire Strand</i>)		Os fios estão juntos de forma hexagonal e de forma paralela
Cordão de fios (<i>Strand Rope</i>)		Seis grupos formados por grupos de fios circundam um fio central
Cabos fechados com núcleos helicoidais anti-torção. (<i>Spiral Rope</i>)		Fios estão aplicados em várias camadas
Cabos fechados com fios zeta (<i>Locked Coil Rope</i>)		Fios deformados são utilizados para camadas exteriores da corda espiral

2.2.4 Sistema de conexão dos pendurais

A ligação entre o cabo principal e o pendural é feita por meio de um anel de fixação de cabos. O anel consiste em duas metades semi - cilíndricas conectadas por parafusos de aço de alta resistência para desenvolver o atrito necessário. A superfície superior do anel é estriada para receber o pendural, que é enrolado sobre o anel. Esta solução já foi usada em várias pontes suspensas como pode ser visto na figura 2.

Ao invés prender os pendurais à volta do anel os mesmos também podem ser conectados por meio de um sistema designado “soquete aberto” (ver Figura 3). Esse sistema consiste num anel de duas metades semi - circulares conectados por meio de

parafusos de aço, porém na parte inferior são aparafusadas duas peças que formam uma forquilha. No pendural é embutido na sua extremidade um soquete, no qual atravessa um parafuso que liga o soquete com a forquilha.



Figura 2 - Ligação entre o pendural e o cabo principal por meio um anel de fixação (ou bandas do cabo principal) [18].



Figura 3 - Ligação do pendural ao cabo principal pelo sistema de soquete aberto [18].

2.2.5 Sistema de ancoragem

Os cabos principais são ancorados nos blocos de ancoragem. Os blocos de ancoragem localizam-se nas extremidades da ponte, tendo a função de garantir a estabilidade e segurança da ponte face aos esforços transmitidos pelos cabos principais que, por sua vez, os transferem para as fundações. A área vazia dentro do bloco de ancoragem é conhecida como Galeria de Inspeção. A força do cabo principal é distribuída através da sela de distribuição, cordões, soquetes e barras de ancoragem. As barras de ancoragem são embutidas e fixadas no betão do bloco de ancoragem. As barras de ancoragem consistem em barras de aço, hastes, tubos, barras ou cordões de pré-constituído pelos seguintes elementos:

- Sela de distribuição;
- Cordões;
- Soquetes;
- Barras de ancoragem;
- Galeria de inspeção.

Os elementos acima descritos são apresentados na figura 4, onde é possível visualizar a sua distribuição e localização.

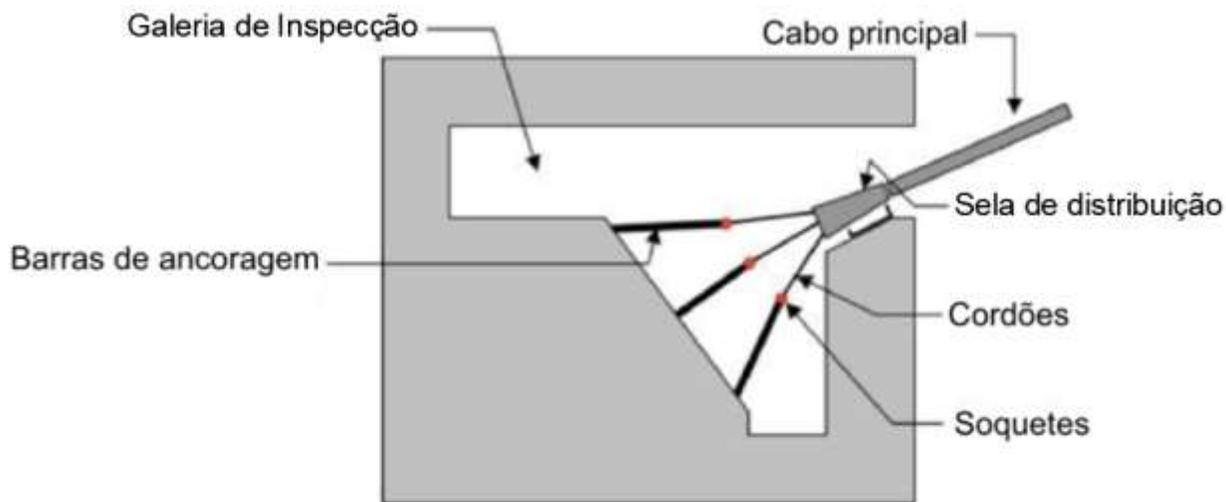


Figura 4 - Sistema de ancoragem do cabo principal no interior do bloco de ancoragem [4].

2.2.6 Sistema de desvio

As selas de desvio de pontes suspensas (ver Figura 5) são geralmente elementos de aço fundido que envolvem o cabo principal conforme ele passa sobre a torre, transferindo a carga dos cabos para as torres a estrutura de suporte, permitindo uma mudança gradual da direcção do cabo de um lado da torre para outro, evitando o movimento lateral dos cabos.



Figura 5 - Sela para cabos principais de pontes suspensas [1].

2.2.7 Sistemas de amortecimento dos cabos

Devido a existência de vibrações nas pontes suspensas, pode ser comum haver vários tipos de sistemas de amortecimento conectados aos cabos. Os sistemas de amortecimento podem ser por meio de um laço entre dois cabos, almofadas de neoprene, amortecedores montados directamente nos cabos ou sistemas indirectos como amortecedores instalados no interior do tabuleiro e nas torres que também amortecem as vibrações dos cabos.

2.2.8 Sistema de protecção do sistema de cabos

O sistema de protecção contra corrosão do sistema de cabos de pontes suspensas consiste na protecção contra corrosão dos cabos principais, dos pendurais e dos elementos que constituem o bloco de ancoragem mencionados no ponto 2.2.5. Cada elemento do sistema de cabos possui particularidades no seu sistema de protecção contra corrosão como vêm descrito abaixo:

- **Protecção contra corrosão dos cabos principais:** os cabos principais das pontes suspensas são geralmente protegidos com revestimentos do tipo acrílico elastomérico. Esses revestimentos são resistentes à corrosão e humidade, além disso, possuem boa flexibilidade e alongamento o que os torna propícios para serem usados como revestimento de cabos. Além do revestimento elastomérico, também pode ser usado o método de galvanização, que consiste na protecção dos cabos principais através da aplicação de uma pasta de zinco ou outra liga com resistência a corrosão superior à do aço.

De referir que actualmente, é muito usado o método de desumidificação que é baseado no facto do aço não sofrer corrosão quando a humidade local for mantida abaixo de 40%. Este princípio básico sobre o qual se assenta a protecção contra corrosão por desumidificação foi desenvolvido pelo professor Herbet Henry Uhlig no Laboratório de Corrosão do MIT. Se a humidade relativa estiver entre 40% e 60%, a corrosão pode ocorrer, embora de forma insignificante. Para níveis de humidade relativa superiores a 60%, a taxa de corrosão aumenta drasticamente. O sistema de desumidificação é composto pelo sistema de

monitorização, sistema de isolamento dos cabos principais e o sistema de Injecção de ar seco. O sistema de monitorização permite o controlo de grandezas necessárias para avaliação do nível de humidade dentro do cabo principal. O sistema de isolamento consiste na camada exterior complementar de protecção adicionada aos cabos principais, ponto de ligação entre cabo principal e o pendural, as selas desvio e permitir o fluxo de ar pressurizado. Neste sistema é usado o revestimento elastomérico. O sistema de injeção de ar seco, garante a sobrepressão dentro do sistema de isolamento dos cabos.

- **Protecção contra corrosão dos pendurais e soquetes:** os revestimentos dos pendurais e soquetes geralmente consistem nos mesmos revestimentos do tipo acrílico elastomérico usados para protecção dos cabos principais.
- **Protecção contra corrosão ou deterioração dos elementos no interior do bloco de ancoragem:** ao contrário dos cordões do cabo principal fora do bloco de ancoragem, os cordões dentro do bloco de ancoragem não são revestidos, no entanto, em alguns casos, os cordões são pintados embora não seja recomendado. O recomendado, é a lubrificação dos cordões com cera como meio eficaz de prevenir corrosão dos cordões.

As barras de ancoragem são revestidas por meio de um sistema de três pinturas usando um selante epóxi, e por cima colocada uma massa de epóxi. Por cima dessa massa é colocada uma camada grossa de graxa a partir da interface entre o betão e a barra de ancoragem.

Note-se que, além dos métodos de protecção já mencionados, a protecção dos elementos que constituem o bloco de ancoragem, também é realizada por meio do sistema de desumidificação ordinária. Este tipo de sistema é relativamente mais simples do que o sistema de desumidificação dos cabos principais e é composto de um desumidificador e condutas de ar. O sistema de desumidificação ordinário é baseado na teoria de reversão de ar da zona de pressão positiva para a zona de pressão negativa no interior do bloco de ancoragem. A pressão negativa é produzida próximo ao desumidificador enquanto que a pressão positiva é formada na extremidade de saída de ar seco.

2.3 PONTES ATIRANTADAS

2.3.1 Generalidades

Diferente do que acontece nas pontes suspensas, as pontes atirantadas possuem cabos fortemente tensionados que fazem a ligação do tabuleiro à torre, transmitindo os esforços, resultantes do peso próprio e das acções exteriores, aos apoios.

2.3.2 Elementos estruturais

Os sistemas de pontes atirantadas geralmente são compostos de três elementos estruturais importantes: as torres, os tirantes e o tabuleiro. Cada um dos elementos apresenta um funcionamento estrutural específico, como vêm explicado a baixo:

- **Tabuleiro:** é responsável pela distribuição dos esforços provenientes de veículos e outras sobrecargas. As pontes atirantadas de grandes vãos, acima de 500 m, vêm utilizando tabuleiros mistos (aço e betão), enquanto que os tabuleiros em betão são em geral competitivos para vãos menores;
- **Tirantes** são os componentes estruturais característicos das estruturas atirantadas e tem a função de transferir directamente os carregamentos actuantes no tabuleiro para o mastro. O seu desempenho condiciona todo o comportamento da estrutura, e o bom funcionamento de uma estrutura atirantada depende da qualidade dos cabos e da sua ancoragem. Dependendo da solução estrutural adoptada a disposição dos cabos pode ser em leque, semi-leque, harpa e assimétrica.
- **Torres (ou Mastros)** são elementos das pontes atirantadas onde se ancoram os tirantes que suspendem a carga vertical do tabuleiro, podendo também apoiar o próprio tabuleiro. As torres podem ter uma variedade de formas, nomeadamente, A, Y invertido, H, diamante, fuste único ou formas particulares. Apesar do peso próprio mais elevado, na maioria das pontes atirantadas adoptam-se torres em betão armado, o que permite maior liberdade na concepção de forma da secção.

Na figura 6 esta ilustrada esquematicamente um exemplo de ponte atirantada.

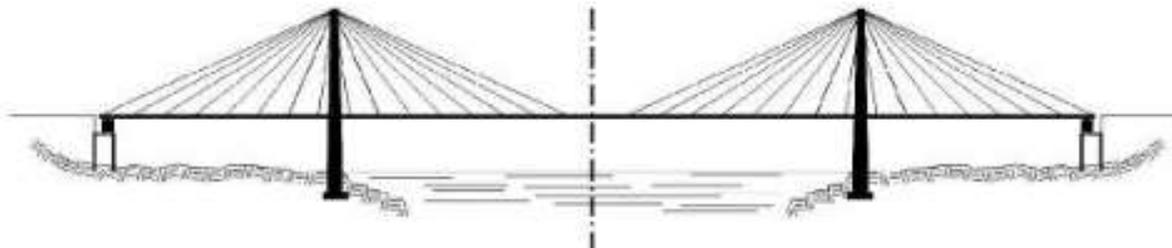


Figura 6 - Esquema de ponte atirantada com cabos dispostos em leque [20].

2.3.3 Elementos de tensionamento (tirantes)

Os elementos de tensionamento de uma ponte atirantada são reponsáveis pela suspensão das cargas do tabuleiro até aos mastros. Estes elementos podem ser formados por um conjunto de barras ou cordões, que formam os tirantes.

Na solução com barras rígidas, os tirantes podem ser compostos por barras únicas ou diversas barras paralelas entre si. Porém, a utilização de cordões tem sido a solução mais bem aceite e adoptada.

De referir que as secções transversais referentes aos cabos de pontes suspensas apresentadas na tabela 1 são as mesmas aplicadas nas pontes atirantadas.

2.3.4 Sistema de ancoragem

Existem diversos tipos de ancoragem de tirantes, variando de acordo com a tecnologia que cada empresa utiliza. De maneira geral os sistemas de ancoragem de pontes atirantadas devem permitir a realização de ajustes, com intuito de manter as tensões, nivelamento dos tirantes e do tabuleiro, e também de permitir a inspecção ou mesmos substituição dos tirantes durante os trabalhos de manutenção.

Na figura 7 é apresentado um exemplo de sistema de ancoragem, onde são apresentados todos elementos que constituem o sistema de ancoragem de pontes atirantadas.

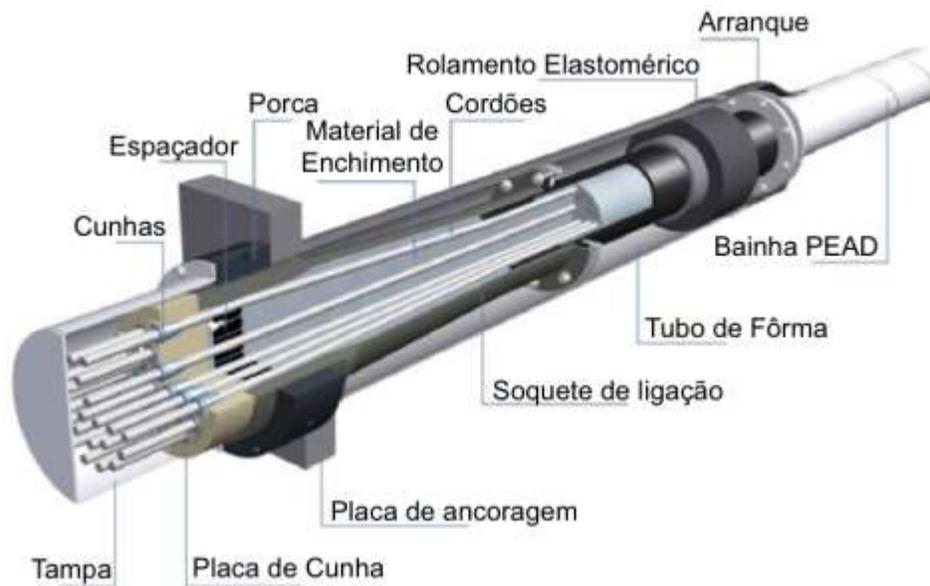


Figura 7 - Elementos que constituem o sistema de ancoragem de pontes atiradas [7].

2.3.5 Sistema de desvio

O sistema de desvio de pontes atiradas é geralmente composto por elementos de aço fundido que envolvem os tirantes conforme eles passam sobre ou através das torres, transferindo a carga do tabuleiro para as torres, permitindo uma mudança gradual de direcção do tirante de um lado da torre para outro evitando o movimento lateral dos cabos. Note-se que existem três tipos de sistemas de desvio nomeadamente, as selas com tubos individuais, as selas de ancoragem e o sistema de caixa de ancoragem. Cada sistema de desvio apresenta particularidades que são descritas abaixo:

- **Sela com tubos individuais** (ver Figura 8): usada se os cordões precisarem de ser guiados através do mastro ou torre da ponte atirada. Esta sela possui as seguintes particularidades:
 - Os cordões são inseridos em um grande número de tubos de fôrma curvos, individualmente. Os espaços entre a sela e esses tubos são preenchidos com graute (agregado de alta resistência e alta trabalhabilidade utilizado para preencher vazios);
 - A sela em si é embutida no mastro;
 - Cordões podem ser substituídos individualmente;

- São aplicados cordões revestidos de epóxi.



Figura 8 - Selas de tubos individuais [7].

- **Sela de Ancoragem com ranhura e pino de ancoragem** (ver Figura 9): transfere forças diferenciais através de um nariz de cisalhamento, ancorada com um pino que fica inserido no mastro de betão. Este sistema de desvio possui as seguintes características:
 - Os cordões (sem revestimento PEAD no interior da sela) são inseridos num tubo curvo, esse tubo é de seguida preenchido com graute.
 - Um tubo de sela curvo interior é guiado através de um tubo fôrma exterior, incorporado no betão.
 - As forças diferenciais nos tirantes, em ambos os lados da sela, são transferidos de maneira segura, através de um nariz de cisalhamento (ranhura e pino de construção)

- O conjunto de cordões, incluindo o tubo de sela, pode ser trocado, se necessário.

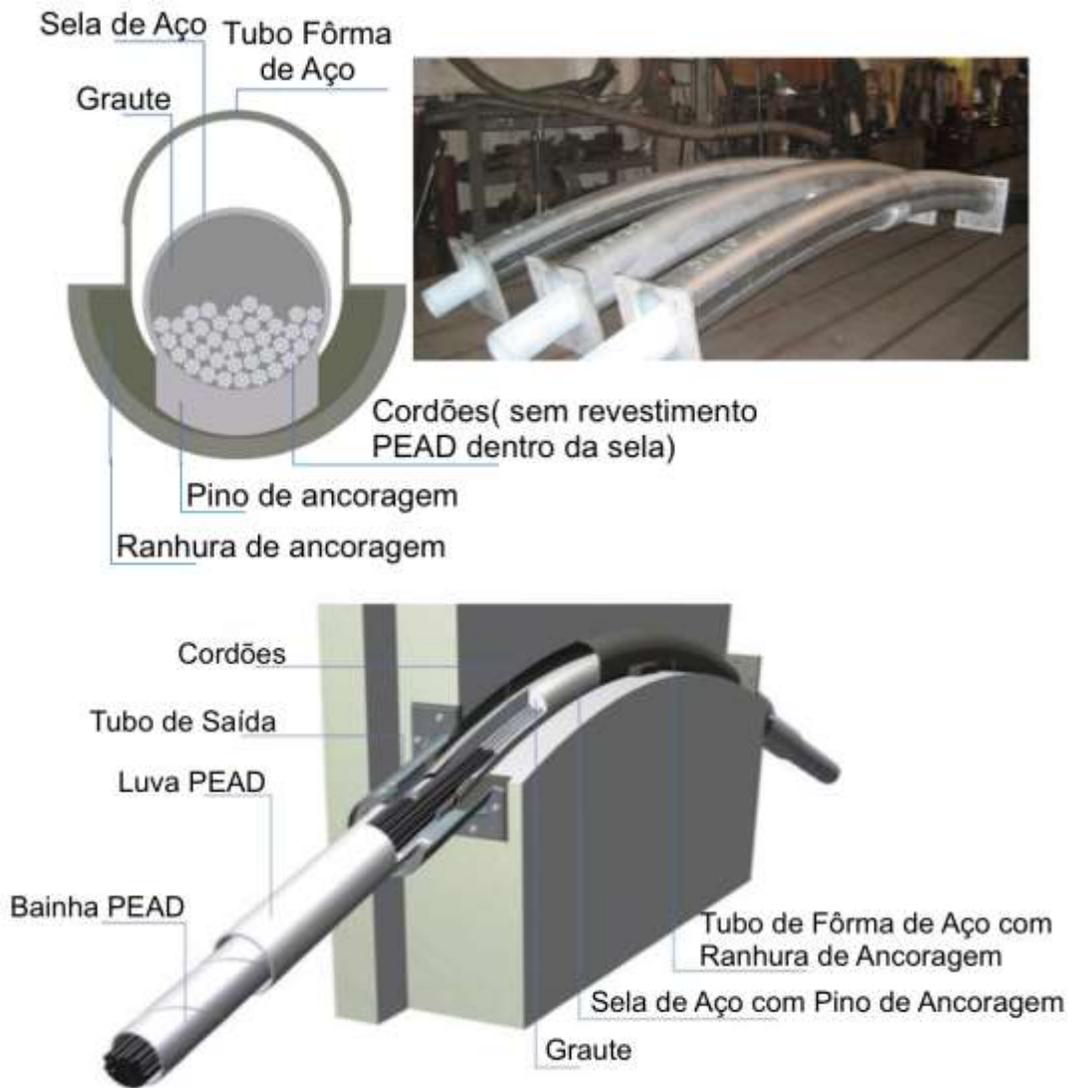


Figura 9 - Selas de ancoragem com ranhura e pino [7].

- **Sistema de Caixa de Ancoragem:** Este sistema é geralmente usado quando diâmetros dos tirantes nos dois lados do mastro não são iguais. Neste caso, os cordões não são desviados ao longo da sela como acontece nas selas convencionais (selas de tubos individuais e selas de ancoragem com ranhura e pino), pois em ambos lados da torre, os cabos são ancorados fora do mastro como se pode ver na figura 10. Este aspecto facilita nos trabalhos de inspeção dos cabos, o que não acontece nas selas convencionais (ver Figura 11).

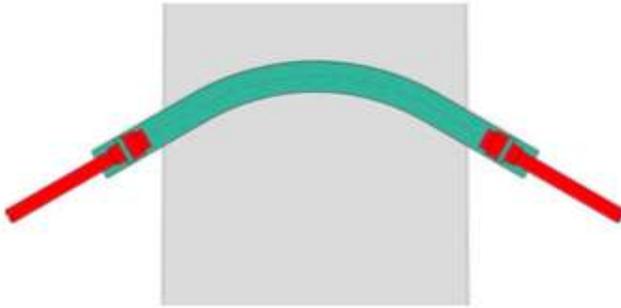


Figura 10 - Sistema de caixa de ancoragem [7].

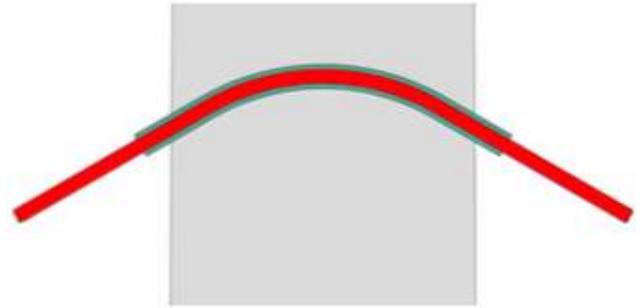


Figura 11 - Solução convencional de sela de desvio [7].

2.3.6 Sistema de amortecimento dos cabos

As vibrações dos cabos são controladas até certo ponto pela proporção de amortecimento interno do sistema de cabos. Essas taxas de amortecimento não são suficientemente controladas, por isso medidas adicionais precisam ser tomadas para controlar essas vibrações. Existem três tipos básicos de soluções para limitar as vibrações:

- **Superfície do cabo** (ver Figura 12): O tubo do cabo ou bainha pode ser fabricado com algumas nervuras geométricas ou método comprovado equivalente em sua superfície externa. Esta solução é eficiente para a vibração induzida pelo vento.



Figura 12 - Tubo de cabo com nervuras helicoidais [12].

- **Amarras cruzadas** (ver Figura 13): As amarras cruzadas são conectadas entre os cabos modificando o período de vibração dos mesmos. Eles são principalmente eficientes no caso de excitação paramétrica. Essa eficácia pode ser reduzida para outros tipos de excitação e, principalmente, no caso de vibrações transversais. As conexões dessas ligações cruzadas com os cabos precisam ser cuidadosamente projectadas. Razões estéticas e dificuldade de acessibilidade para manutenção podem levar a uma preferência por outras soluções.



Figura 13 - Amarras cruzadas [12].

- **Dispositivos de amortecimento** (ver Figura 14): A baixa capacidade de amortecimento interno do cabo pode ser complementada por dispositivos de amortecimento, hidráulicos, viscosos ou por atrito. Por razões de estética e manutenção, esses dispositivos geralmente são instalados junto às ancoragens.

A rigidez do tabuleiro e das conexões dos dispositivos de amortecimento deve ser suficientemente alta, pois um tabuleiro muito flexível reduzirá significativamente a eficiência dos dispositivos.



a) Amortecedor de fricção externo



b) Amortecedor externo viscoso



c) Amortecedor interno viscoso



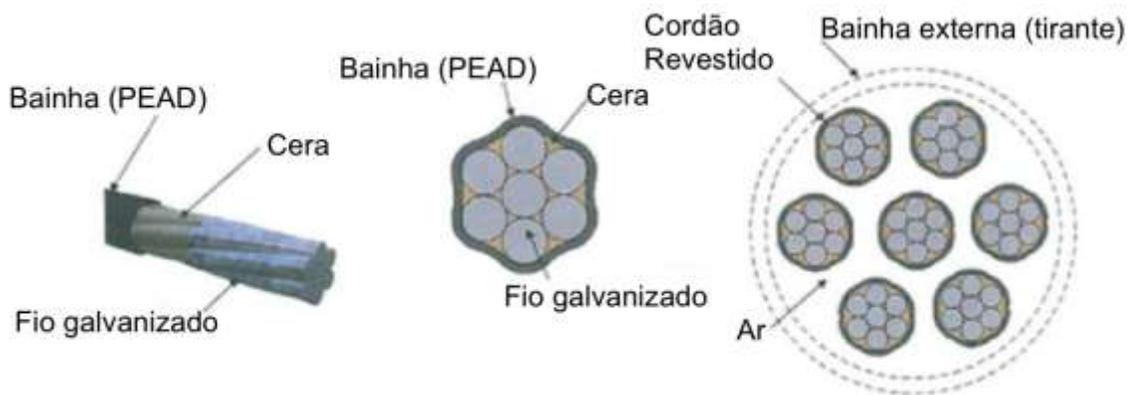
e) Amortecedor interno de borracha

Figura 14 - Diferentes tipos de dispositivos de amortecimento [12].

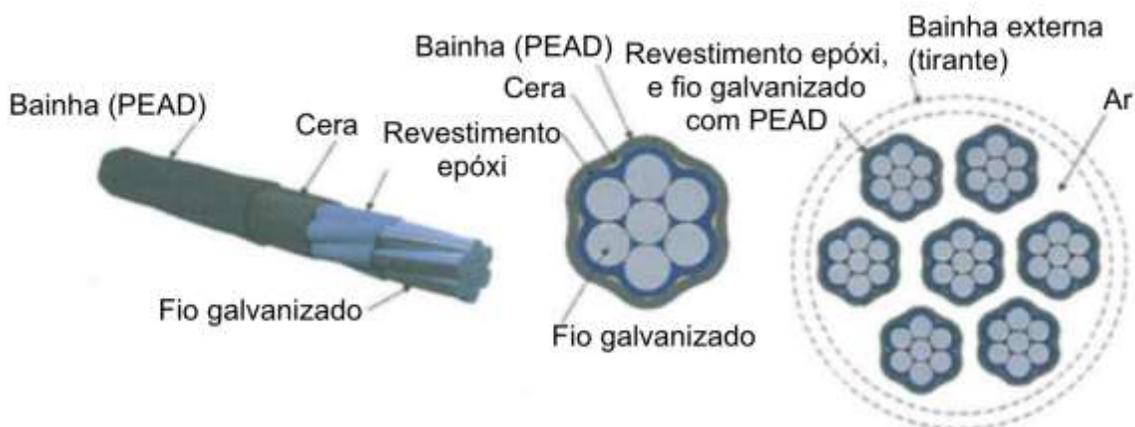
2.3.7 Sistema de protecção do sistema de cabos

O sistema de protecção do sistema de cabos de pontes atirantadas deve englobar a protecção contra corrosão, vandalismo, incêndio dos tirantes, protecção contra corrosão das aconragens, das selas de desvio e dos amortecedores, se existirem. Como se descreve em seguida:

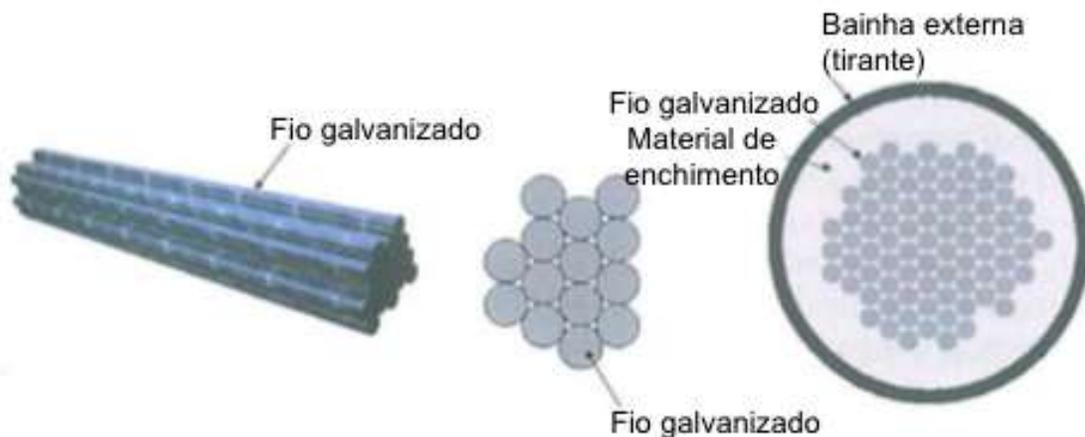
- Protecção contra corrosão dos tirantes:** Se os cordões dos tirantes não estiverem protegidos adequadamente podem sofrer corrosão por pites e estriamento. Note-se que existem dois tipos de protecção dos cordões contra a corrosão. O primeiro consiste no revestimento individual dos cordões galvanizados com cera e bainhas individuais de PEAD (ver Figura 15.a). O segundo consiste no revestimento individual dos cordões com revestimento epóxi, de seguida a aplicação da cera, finalizando-se com bainhas individuais de politieno de alta densidade ou qualidade – PEAD (ver figura 15.b). O terceiro consiste na protecção colectiva dos cordões através do enchimento (com cera ou graxa) da bainha do tirante como é mostrado na figura 15.c).



a) Elementos de tracção protegidos individualmente (Tubo ou bainha do cabo não cheio).



b) Elementos de tracção protegidos individualmente (Bainha – PEAD, Revestimento epóxi (tubo ou bainha do cabo não cheio).



c) Elementos de tracção colectivamente protegidos (preenchimentos de tubos).

Figura 15 - Sistema de protecção contra corrosão dos tirantes [12].

- **Protecção contra corrosão no sistema de ancoragem:** A protecção contra corrosão dos cordões no interior da ancoragem, e dos próprios componentes de ancoragem, deve ser equivalente a aplicada no comprimento livre do cabo, se os cordões estiverem revestidos. Contudo, há casos em que os cordões não são revestidos, nesse caso os cordões no interior da ancoragem devem ser preenchidos ou protegidos com cera ou graxa.
- **Protecção contra corrosão no interior do sistema de desvio:** A protecção anticorrosiva dos cordões deve ser contínua através da sela ou ser fornecida por diferente sistema de protecção equivalente ao previsto no comprimento livre. Como se viu no ponto 2.3.5, no caso de selas com tubos individuais não há necessidade de descascar o revestimento epóxi usado para o revestimento dos cordões. No caso de sela de ancoragem com ranhura e pino, os cordões no interior da sela são protegidos por meio do enchimento com graute. No caso do sistema de caixa de ancoragem não há necessidade de se preocupar com interior da caixa, pois os tirantes são ancorados fora da torre (ver Figura 10).
- **Protecção contra vandalismo:** Outra protecção largamente usada é o tubo anti-vandalismo (ver Figura 16) que consiste em um tubo de aço de elevada resistência aplicado a partir do tabuleiro até uma altura suficiente para que os tirantes não sejam alvo de vandalismo. O comprimento do tubo anti-vandalismo pode ser

ajustado para atender requisitos específicos e alcançar qualquer altura desejada acima do nível do tabuleiro da ponte.



Figura 16 - Protecção Anti - vandalismo [7].

- **Protecção contra incêndio:** Um relâmpago, um acidente de carro e outros incidentes externos podem causar incêndio em uma ponte. Neste caso, as partes principais do sistema de tirantes precisam ser protegidas contra danos.

O sistema de protecção contra incêndio dos tirantes consiste no reforço do revestimento dos cordões com uma manta especial de protecção contra incêndio (lã de rocha) ou aplicação de um invólucro moldado em volta da bainha que também garante a protecção contra incêndio. Note-se que esses reforços no revestimento dos cordões ou envolta da bainha são aplicados em zonas críticas (próximo ao sistema de ancoragem, no comprimento livre do tirante e próximo da sela de desvio). Contudo, nas zonas de transição (junto as ancoragens e junto a sela de desvio) é difícil de usar invólucro pré-fabricado, por isso o material isolante é aplicado manualmente ou pulverizado. A superfície é então suavizada para o acabamento desejado. Nas figuras 17 e 18 são apresentados os dois métodos de protecção contra incêndio mencionados acima.

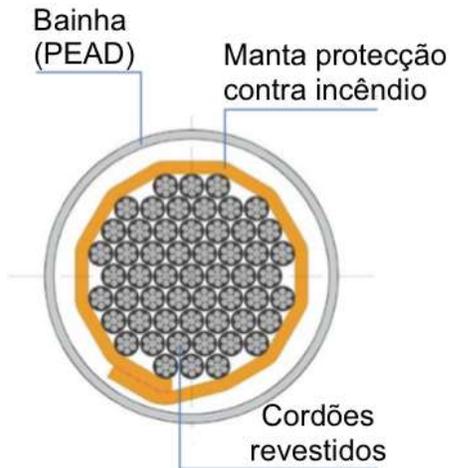


Figura 17 - Sistema de protecção dos tirantes contra incêndio usando manta de protecção contra incêndio (material não inflamável e de baixa condutividade térmica) [7].



Figura 18 - Sistema de protecção dos tirantes contra incêndio usando um invólucro moldado (material não inflamável e de baixa condutividade térmica) [8].

3. PROPRIEDADES, REQUISITOS E TESTES DOS MATERIAIS USADOS NO SISTEMA DE CABOS

3.1 GENERALIDADES

Os materiais usados para fabricação dos elementos que compõem o sistema de cabos devem ser de alta resistência, cujas propriedades são geralmente reguladas por normas Americanas e Europeias incluindo os respectivos procedimentos de teste. Os principais materiais usados no sistema de cabos e sua protecção contra corrosão são:

- Aços de pré-esforço de alta resistência à tracção usados nos elementos principais de tracção.
- Aços estruturais (aços comuns normalmente usados na construção) usados em componentes de ancoragem e selas de desvio;
- Zinco e outros revestimentos anti-corrosivos usados nos cordões, selas de desvio, amortecedores e nos elementos do sistema de ancoragem;
- Tubos de cabo feitos de polietileno de alta densidade (PEAD ou HDPE). Em alguns casos, eles podem ser feitos de aço estrutural ou inoxidável;
- Materiais de enchimento usados na protecção dos cordões e do sistema de ancoragens dos cabos;
- Materiais de borracha usados nos dispositivos de guia, dispositivos de amortecimento e como vedantes.

3.2 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA À TRACÇÃO

3.2.1 Generalidades

Os aços de alta resistência podem ser definidos como aqueles que mantêm as propriedades importantes do aço como a ductilidade, a rigidez, a soldabilidade, a resistência à corrosão e, simultaneamente, conseguem atingir elevadas resistências aos esforços aplicados.

Uma das dificuldades mais comuns neste tipo de aços é a soldabilidade. Normalmente procede-se ao pré-aquecimento para facilitar a operação, no entanto, os aços de alta resistência apresentam frequentemente maiores problemas na soldabilidade que os outros tipos de aço. Mesmo assim, com um controlo preciso de temperatura e de energia utilizada na soldadura, podem-se realizar soldaduras de boa qualidade.

A alta resistência à corrosão é uma outra característica fundamental destes aços, podendo estes ser submetidos a ambientes agressivos apresentando por exemplo maior resistência relativamente ao aço para betão armado.

3.2.2 Revestimento metálico

Os revestimentos metálicos como de zinco ou alumínio podem ser aplicados por imersão a quente no aço para pré-esforço durante o processo de fabricação. Requisitos importantes desses revestimentos metálicos estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos para revestimentos de zinco ou alumínio “Adaptado de [12]”.

Propriedades		Critérios de aceitação	Método de teste
Revestimento de zinco ou alumínio	Continuidade	Sem defeitos	EN 10244-1 e EN 10244-2 ^[N1]
	Peso do revestimento	190 a 350g/m ²	
	Aderência	Sem defeitos, rachaduras	
	Aparência	Suave, sem gotas de zinco	

3.2.3 Revestimento epóxi

A resina epóxi é um tipo de plástico que ao entrar em contacto com um agente catalisador endurece e se torna uma superfície sólida. Esta resina é muito usada como revestimento de cordões de aço para pré-esforço com intuito de reduzir a acção de fricção entre os fios individuais, amortecer os cordões adjacentes em áreas de desvio (no interior das

selas de desvio) e proteger contra corrosão. Os requisitos importantes do revestimento epóxi estão resumidas na tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos para revestimento epóxi “Adaptado de [12]”.

Propriedades	Crítérios de aceitação	Método de teste
Espessura do revestimento	380 a 1140 µm	ASTM A 882/A 882M [N2]
Teste de pulverização de sal	Sem corrosão e outros danos ao revestimento após 3.000 horas de exposição ao spray de sal (neblina)	ASTM B 117 [N3]
Permeabilidade ao cloreto	Sem detecção de penetração de cloreto	FHWA-RD-74-18 [N4]
Resistência química	Fio revestido com epóxi normal e amostra com furo de 1/4 "intencionalmente perfurado no revestimento. Nenhum dano ao revestimento após 45 dias de imersão. A corrosão do aço no furo perfurado não faz com que o revestimento epóxi adjacente amoleça ou perca a ligação com aço adjacente.	ASTM G20 [N5]
Teste de impacto	Sem quebra ou perda de adesão	ASTM G20 [N5]
Teste de abrasão de areia	< 0,25 mm de perda de revestimento	ASTM D 968 [N6]
Teste de flexão	Sem rachaduras ou descolamento ao dobrar o fio em torno do mandril 32 vezes o diâmetro nominal do fio	ASTM A 370 [N7]

Adesão ou revestimento	Nenhuma descolagem de revestimento é encontrada após a quebra no teste de tracção.	ASTM A 882/A 882 M ^[N2]
------------------------	--	---------------------------------------

3.3 AÇO ESTRUTURAL PARA ANCORAGENS, SELAS, DISPOSITIVOS DE GUIA, DESVIOS E TUBOS

Estes são os aços comuns normalmente usados na construção. Eles podem ser especificados de acordo com os regulamentos Europeus como a EN 10025:2005 ^[N8] (“Produtos de aço estrutural laminado a quente e as condições técnicas de entrega para aços estruturais”) ou a EN 10083: 2007 ^[N9] (“aços para têmpera”). Em determinadas aplicações em baixas temperaturas podem exigir requisitos especiais.

Nessas normas mencionadas acima podem ser vistas as generalidades do aço estrutural, referências normativas, termos e definições, classificação e designação, informações a serem fornecidas pelo fornecedor, processo de produção, requisitos do aço estrutural, inspecções (verificação das propriedades mecânicas e químicas), preparação de amostras, peça de teste e métodos de teste. Os certificados de entrega devem ser fornecidos de acordo com a norma EN 10204 ^[N1] (“Produtos metálicos – tipo de documentos de inspecção”).

3.4 COMPONENTES DE AÇO INOXIDÁVEL NO SISTEMA DE CABOS

Para componentes de aço inoxidável (por exemplo, tubos para proteger cabos contra impacto, vandalismo ou fogo, chapas, parafusos, abraçadeiras e braçadeiras) devem apresentar, pelo menos, os mesmos requisitos mecânicos aplicáveis aos componentes feitos de aço estrutural.

Ao usarem-se os componentes de aço inoxidável, porque ele tem um módulo de Young relativamente baixo (180 Gpa) se comparado com o aço estrutural, é necessário ter cuidados especiais na selecção da classe e métodos de construção, de forma a evitar a corrosão galvânica e ocorrência de fendas induzidas por cloretos. Quanto ao método de construção é preciso ter cuidado com a ocorrência de corrosão em superfícies de contacto entre componentes, especialmente em juntas de contacto e conexões com aço

carbono ou entre materiais de diferentes classes inoxidável. Quanto à classe, é importante destacar que a alta resistência à corrosão do aço inoxidável depende principalmente do teor de liga (cromo, molibidênio, nitrogênio e níquel) e do processamento adequado. A este respeito, cromo (Cr), molibidênio (Mo) e nitrogênio (N) são importantes elementos da liga que fornecem resistência à corrosão por pites induzida por cloretos, enquanto o níquel (Ni) geralmente aumenta a resistência à corrosão do aço inoxidável em meios ácidos. O critério da escolha da classe do aço inoxidável é selecionado com ajuda do “Número equivalente de resistência à corrosão por pite” (PREN) como pode se ver na tabela 4 e pode ser calculado usando a seguinte equação:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3.3\%Mo + 16\%N \quad (\text{Eq.1})$$

De destacar que mediante o cálculo do PREN é possível comparar a resistência do aço inoxidável contra a corrosão por pite. A tabela 4 mostra que quanto maior o número de PREN, melhor a resistência do aço inoxidável.

Tabela 4 - Cinco classes de aço inoxidável recomendadas para componentes de cabos
“Adaptado de [12]”.

Acordo de classe de aço. Para EN 10088	Nome do aço indicado na EN 10088 ^[N8]	PREN
1.4401	X5CrNiMo 17-12-2	23.6
1.4404	X2CrNiMo 17-12-2	23.1-28.5
1.4571	X6CrNiMoTi 17-12-2	23.6 ¹⁾
1.4462	X2CrNiMoN 22-5 5-3	35.1
1.4439	X2CrNiMoN 17-33 -5	36.7

¹⁾ O grau de aço 1.4571 é uma das variações do grau padrão 1.4401 com adição de uma pequena quantidade de titânio para melhorar o desempenho após a soldagem. As propriedades físicas e mecânicas do grau 1.4571 são semelhantes a 1.4401.

3.5 MATERIAIS DE ENCHIMENTO

A protecção contra corrosão pode ser fornecida por meio de um material de enchimento que é introduzido ao longo do comprimento livre do cabo (dentro da bainha) e na zona de ancoragem. O material de enchimento é tipicamente um material macio que pode fornecer protecção activa contra corrosão ou apenas protecção física ou pode ser usado para preencher vazios, a fim de impedir a formação de água por condensação e a migração de água (interface).

O material de preenchimento possui as seguintes funções:

- Impede a circulação de líquidos dentro do revestimento dos cordões, do tubo de cabos e na zona de ancoragem,
- Eles podem fornecer protecção contra corrosão,
- Reduzem o atrito entre os componentes metálicos e evitam a corrosão por atrito,

O material deve garantir alta estabilidade química e física. Os materiais de enchimento podem ser subdivididos nas seguintes categorias principais:

- Cera
- Graxa

Ceras (parafina com baixo teor de óleo) e graxas (sabões metálicos com óleos gordurosos) exibem comportamento diferente. As ceras são mais rígidas que as graxas e precisam ser aplicadas a temperaturas elevadas de cerca de 100° C. As graxas podem ser aplicadas à temperatura ambiente, mas são mais oleosas e tendem a reter água. Os principais requisitos para graxa e cera estão especificados na Tabela 5 e na Tabela 6, respectivamente.

A conformidade dos valores fornecidos na Tabela 5 e na Tabela 6 pode ser verificada durante o controle de produção da fábrica.

Tabela 5 – Requisitos da graxa “Adaptado de [12]”.

Propriedades		Crítérios de aceitação	Método de teste
Penetração do cone, 60 cursos a 25° C (1 / 10mm)		220-300	ISO 2137 ^[N9] ou ASTM D217 ^[N10]
Ponto de gota		≥ 150°C	ISO 2176 ^[N11] ou ASTM D566 ^[N12]
Resistência ao calor, ponto de inflamação		≥ 250°C	ISO 2592 ^[N13]
Deretimento	a 40°C	a 72 horas: ≤ 2.5% a 7 dias: ≤ 4.5%	DIN 51817 ^[N14] NFT 60-191 ^[N15] ou ASTM D942 ^[N16]
	a 100°C	a 50 horas: ≤ 4%	
Estabilidade à oxidação		100 horas a 100°C: ≤ 0.06 Mpa 1000 horas a 100°C: ≤ 0.2 Mpa	DIN 51808 ^[N17] ou ASTM D942 ^[N18]
Teste de corrosão	168 horas a 35°C	Sem corrosão	ISO 9227 ^[N19] (NSS test)
	168 horas a 35° C	Sem corrosão	ISO 6270-2 ^[N20] (teste AHT) ou ISO 9227 ^[N21] (água destilada em vez de NSS)
Prevenção da ferrugem		Grau: 0	ISO 11007 ^[N22] solução de cloreto de sódio
Conteúdo de elementos agressivos	Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ⁻³	≤ 50 ppm (0.005%)	NFM 07-023 ^[N23]
	SO ₄ ²⁻	≤ 100 ppm (0.010%)	NFM 07-023 ^[N23]

Tabela 6 - Requisitos da cera “Adaptado de [12]”.

Propriedades		CrITÉRIOS de aceitação	MÉTODO de teste
Ponto de derretimento		$\geq 65^{\circ}\text{C}$	ISO 2207 ^[N24]
Resistência ao calor, ponto de gota		$\geq 60^{\circ}\text{C}$	ISO 2176 ^[N25]
Resistência ao calor, ponto de inflamação		$\geq 250^{\circ}\text{C}$	ISO 2137 ^[N26]
Penetração (1/10 mm) a 25° C		≤ 125 (em 1/10 mm)	ISO 2137 ^[N26]
Resistência ao frio		Sem fissuras a - 40°C	ISO 2137 ^[N26]
Derretimento aos 40°C		$\leq 1.0\%$	DIN 51 817 ^[N27] NFT 60 -191 ^[N28] ou ASTM D 6184 ^[N29]
Resistência a oxidação 100 horas a 100°C		≤ 0.03 MPa	ASTM D942 ^[N18]
Corrosão em tira de cobre 100 horas a 100°C		Classe 1a	ISO 2160 ^[N30]
Teste de corrosão	168 horas a 35° C	Sem corrosão	ISO 6270-2 ^[N20] (teste AHT) ou ISO 9227 ^[N21] (gua destilada em vez de NSS)
	168 horas a 35° C	Sem corrosão	ISO 11007 ^[N22] , solução de cloreto de sódio
Conteúdo de elementos agressivos	Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ₃ ⁻ :	≤ 50 ppm (0.005%)	NFM 07-023 ^[N23]
	SO ₄ ²⁻ :	≤ 100 ppm (0.010%)	NFM 07-023 ^[N23]

De referir que qualquer que seja o material de enchimento usado, não deve ser agressivo para o aço de pré-esforço e deve garantir a sua protecção.

3.6 TUBOS DE CABOS E OUTROS TUBOS

3.6.1 Generalidades

Os tubos dos cabos para a construção inicial são tipicamente feitos de secção transversal monolítica (ver Figura 19.a). No entanto, para a reparação são usados os tubos de duas meias conchas (ver Figura 19.b), que podem ser instalados sobre os cabos danificados. As meias conchas podem ser conectadas por juntas de trava ou prensa, empurrando ou pressionando as metades individuais uma contra a outra para formar um tubo fechado. As meias conchas também podem ser conectadas por soldagem longitudinal (ver Figura 19.c).



Figura 19 - Tres opções diferentes de tubos de cabos [12].

Os tubos de cabos se não forem usados como barreira contra corrosão podem exercer as seguintes funções:

- Estética pelo uso de tubos coloridos estabelecidos,
- Aumento da resistência ao vento,
- Protecção contra vibrações induzidas pela chuva e pelo vento com corrugações superficiais apropriadas e
- Protecção contra raios ultravioleta.

Se os tubos de cabos servirem como barreira à corrosão, eles deverão atender aos seguintes requisitos adicionais:

- O material do tubo deve ser compatível com o material de enchimento,
- A espessura da parede deve ser verificada quanto à pressão do material de enchimento, se houver algum,
- Os efeitos da expansão térmica devem ser controlados,
- Dependendo do material usado, a estabilidade química deve ser verificada e
- Possibilidade de encapsulamento e protecção contra corrosão dos elementos de tracção.

3.6.2 Tubos termoplásticos

Geralmente, os tubos de cabos termoplásticos são feitos de polietileno de alta densidade (PEAD). Este material possui propriedades mecânicas suficientemente altas e uma alta durabilidade em condições normais. A resistência aos raios UV deve ser verificada por teste (teste de acordo com o método ISO 4892-2 A1).

Os métodos de fabricação permitem a produção do tubo em uma cor ou a coextrusão de uma segunda cor na superfície externa, e o tratamento especial da camada externa para aumentar a resistência aos raios UV e também para fins estéticos. Os tubos podem ser providos de nervuras helicoidais, pequenos furos ou outro tratamento comprovado na superfície para controlar vibrações devido à chuva e vento. Os requisitos do material para o tubo polietileno de alta qualidade ou densidade (PEAD) estão especificados na Tabela 7.

Tabela 7 - Requisitos do tubo de cabo PEAD “Adaptado de [12]”.

Propriedades	Critérios de aceitação	Método de teste
Índice de Fusão	A ser declarado	ISO 1133 ^[N31]
Peso específico, Densidade	$\geq 0.94 \text{ g/cm}^3$	ISO 1183 ^[N32]
Carbono preto	$2.3 \pm 0.3\%$	ISO 6964 ^[N33]

Dispersão do carbono preto	O índice máximo é 3	ISO 18553 ^[N34]
Distribuição do carbono preto	O índice máximo é C 2W	ISO 18553 ^[N34]
Resistência à tracção (50 mm/minute)	≥ 22 Mpa na matéria prima ≥ 18 Mpa no revestimento	ISO 527-2 ^[N35]
Alongamento à ruptura a 23°C 50 mm/minuto (velocidade de teste)	≥ 600% na matéria prima ≥ 350% no revestimento	ISO 527-2 ^[N35] , ISO 6259-3 ^[N36]
Alongamento à ruptura a 20° C 50 mm/minuto (velocidade de teste)	≥ 150% na matéria prima ≥ 100 % no revestimento	ISO 527-2 ^[N35] , ISO 6259-3 ^[N36]
Estabilidade térmica sob O ₂	≥ 30 minutos a 210° C, sem degradação	ISO 11357-6 ^[N37]
Coefficiente térmico de dilatação	Valor a ser declarado pelo fabricante	ISO 11359-2 ^[N38]
Módulo de flexão	≥ 750 Mpa a 23°C na matéria prima ≥ 600 Mpa a 23° C no revestimento	ISO 178 ^[N39]
Resistência a fissuração devido a agressividade ambiental	Teste com mínimo de 600 horas Cond C F20	ISO 22088 ^[N40] ou ASTM D1693 ^[N41]

3.6.3 Tubos de aço

O aço usado nos tubos de aço deve estar de acordo com o decrito no ponto 3.3. Para os tubos de aço inoxidável no ponto 3.4. A espessura mínima da parede do tubo deve ser superior a Ø/50 e a espessura maior ou igual a 3 mm, se a soldagem for prevista.

3.6.4 Outros tubos

Os mesmos requisitos especificados acima se aplicam a outros tubos, como tubos de recesso / guia e tubos de sela de desvio.

3.7 DISPOSITIVOS DE ORIENTAÇÃO E DESVIOS

Os dispositivos de guia e desvios são geralmente feitos de uma combinação de aço e de materiais elastoméricos, como borracha, material sintético (borracha butílica) ou similar. Propriedades importantes desses últimos materiais são: dureza, rigidez e durabilidade. O fornecedor deve especificar e garantir por meio de testes as características relevantes do material, como elasticidade, dureza e durabilidade.

3.8 DISPOSITIVOS DE AMORTECIMENTO

Para dispositivos especiais de amortecimento, as características dos materiais utilizados precisam ser adaptadas aos seguintes parâmetros:

- Faixa de temperatura local,
- Amplitude de deslocamento dos cabos,
- Intervalo de fadiga,
- Frequências e modos de vibrações dos cabos,
- Envelhecimento e outras condições de exposição ambiental.

4. FUNDAMENTOS DAS INSPECÇÕES DE CABOS DE PONTES SUPPORTADAS POR CABOS

4.1 INTRODUÇÃO

Os pontos fundamentais da inspeção do sistema de cabos de pontes suportadas por cabos são alongamento dos cabos e fadiga, o primeiro garantindo que os deslocamentos do tabuleiro sejam anulados de acordo com a carga recebida; e o último, relacionado a um processo progressivo de microfissuração dos materiais, devido à natureza cíclica dos esforços. O sistema de cabos deve ser cuidadosamente observado e regularmente inspeccionado, para que seja garantida a capacidade de carga, segurança e conforto que oferecem aos usuários e identificadas as necessidades de manutenção.

Neste capítulo serão abordados os principais procedimentos a serem adotados nas inspeções, a preparação das inspeções, os equipamentos necessários, as práticas principais de segurança, as qualificações, responsabilidades e deveres do inspetor de cabos de pontes.

4.2 QUALIFICAÇÃO DOS INSPECTORES DO SISTEMA DE CABOS DE PONTES SUPPORTADAS POR CABOS E AUXILIARES TÉCNICOS

4.2.1 Definição de atribuições

As Inspeções Cadastral, Rotineira, Extraordinária e Intermediária do sistema de cabos de pontes suportadas por cabos devem ser feitas por inspetores e, se for o caso, auxiliados por Auxiliares Técnicos.

As Inspeções Extraordinária e Especial devem ser feitas por Inspetores, se for o caso, auxiliados por Engenheiros consultores e Auxiliares Técnicos.

4.2.2 Qualificação dos inspetores

O inspetor será sempre, um Engenheiro Diplomado, registrado na ordem dos engenheiros. Dependendo das responsabilidades que lhe serão atribuídas, deverá ter as seguintes qualificações mínimas:

De uma única ponte de suportada por cabos de comprimento igual ou inferior a duzentos metros e que não inclui nenhuma estrutura não convencional:

- Mínimo de cinco anos de experiência em projectos de pontes.
- Mínimo de cinco anos de experiência em inspecção de pontes.
- Possuir boas condições físicas, podendo eventualmente subir e descer em estruturas altas com meios improvisados, tais como escadas de marinheiro, cordas e outros;
- Demonstrar habilidade para desenhar, à mão livre, esquemas de obras, apoios, com as respectivas dimensões;
- Demonstrar habilidade para ler os desenhos do projecto estrutural, quando disponível, verificando se a obra foi construída conforme os desenhos;
- Demonstrar habilidade para tirar fotografias;
- Demonstrar conhecimento de instrumentos de medidas, tais como réguas, trenas, paquímetros, réguas comparadoras, calibres, termômetros e os equipamentos especiais;
- Possuir motivação para o trabalho, procurando aumentar sua experiência e capacidade de observação de defeitos;
- Perfeito conhecimento dos catálogos dos elementos que compõem o sistema de cabos (os cordões, as bainhas, o sistema de ancoragem, as selas de desvio, dispositivos de guia, e os amortecedores), dos materiais de enchimento (cera e graxa), e da borracha usada para nos dispositivos de guia, nas selas de desvio, nos amortecedores e como vedante.

De uma estrutura especial ou supervisionar a inspecção de um conjunto de pontes suportadas por cabos:

- Mínimo de cinco anos de experiência em projecto, execução e restauração de pontes;
- Mínimo de dez anos de experiência em inspecção de Pontes.
- Possuir boas condições físicas, podendo eventualmente subir e descer em estruturas altas com meios improvisados, tais como escadas de marinheiro, cordas e outros;

- Demonstrar habilidade para desenhar, à mão livre, esquemas de obras, apoios, com as respectivas dimensões;
- Demonstrar habilidade para ler os desenhos do projecto estrutural, quando disponível, verificando se a obra foi construída conforme os desenhos;
- Demonstrar habilidade para tirar fotografias;
- Demonstrar conhecimento de instrumentos de medidas, tais como réguas, trenas, paquímetros, réguas comparadoras, calibres, termômetros e os equipamentos especiais;
- Possuir motivação para o trabalho, procurando aumentar sua experiência e capacidade de observação de defeitos;
- Perfeito conhecimento do catálogo dos elementos que compõem o sistema de cabos (os cordões, as bainhas, o sistema de ancoragem, as selas de desvio, dispositivos de guia, e os amortecedores), dos materiais de enchimento (cera e graxa), e dos materiais de borracha usados nos dispositivos de guia, nas selas de desvio, nos amortecedores e como vedante.

4.2.3 Qualificação dos auxiliares técnicos

Os Auxiliares Técnicos devem atender aos seguintes requisitos:

- Possuir boas condições físicas, podendo eventualmente subir e descer em estruturas altas com meios improvisados, tais como escadas de marinheiro, cordas e outros;
- Demonstrar habilidade para desenhar, à mão livre, esquemas de obras, apoios, com as respectivas dimensões;
- Demonstrar habilidade para ler os desenhos do projecto estrutural, quando disponível, verificando se a obra foi construída conforme os desenhos;
- Demonstrar habilidade para tirar fotografias;
- Demonstrar conhecimento de instrumentos de medidas, tais como réguas, trenas, paquímetros, réguas comparadoras, calibres, termômetros e os equipamentos especiais ;
- Possuir motivação para o trabalho, procurando aumentar sua experiência e capacidade de observação de defeitos;

- Perfeito conhecimento do catálogo dos elementos que compõem o sistema de cabos (os cordões, as bainhas, o sistema de ancoragem, as selas de desvio, dispositivos de guia, e os amortecedores), dos materiais de enchimento (cera e graxa), e de materiais de borracha usados nos dispositivos de guia, nas selas de desvios, nos amortecedores e como vedante).

4.3 RESPONSABILIDADES E DEVERES DO INSPECTOR

Perreira et al 2004 propõe que as responsabilidades do inspetor devem ser as seguintes:

- Registrar minuciosamente, e com fidelidade, os itens que necessitam de reparação ou serviços de manutenção.
- Zelar pelo patrimônio público.
- Contribuir para a garantia de segurança e funcionalidade das obras e confiança do usuário.

Perreira et al 2004 a, também propõe os seguintes deveres do inspetor de pontes:

- Planejar as inspecções.
- Realizar as Inspeções.
- Preparar os Relatórios.
- Identificar os itens que necessitam de reparação e quantificar seus custos.

Por outro lado, Ryan et al 2006 atribui algumas responsabilidades aos inspetores, como:

- Identificar os itens que necessitam de reparação e quantificar seus custos.
- Elaborar relatórios que documentem os defeitos e alerte os supervisores e engenheiros de quaisquer conclusões que podem afectar a segurança do usuário da estrada ou a integridade da estrutura.
- Estar continuamente atento para pequenos defeitos que podem se agravar e necessitar de reparos caros.

- Reconhecer os componentes da estrutura que necessitam de reparo, a fim de manter a segurança da ponte.
- Recomendar o fechamento de uma ponte, se necessário.

4.4 PLANEAMENTO DA INSPECÇÃO

O sucesso da inspecção dos sistemas de cabos é grandemente dependente dos esforços despendidos no seu planeamento. É necessária a realização de uma visita prévia à obra para subsidiar o planeamento da inspecção.

As principais actividades de planeamento são:

- a) Colecta e exame de todos os dados disponíveis, tais como: desenhos “as – built”, informes construtivos, relatórios de inspecções anteriores, registos de reparos e de manutenção e outros porventura existentes.
- b) Dimensionamento da equipe de inspecção e selecção das ferramentas de auxílio aos trabalhos de campo;
- c) Estimativa do tempo necessário para a inspecção do sistema de cabos;
- d) Comunicação prévia com órgãos, polícia e departamentos de trânsito, para a eventual necessidade de interdição parcial da ponte durante a inspecção, isolamento de áreas ou faixas de rolamento e sinalização;
- e) Identificar a necessidade de realização de ensaios não – destrutivos;
- f) Determinação das áreas críticas (do sistema de cabos) do ponto de vista da segurança estrutural que requeiram especial atenção e cuidado de inspecção;
- g) Identificação dos componentes e dos elementos do sistema de cabos.

4.5 EQUIPAMENTOS DA INSPECÇÃO

Para que a inspecção seja completa e confiável há necessidade de serem utilizados equipamentos auxiliares que, basicamente, se alinham em dois grupos:

4.5.1 Equipamentos Comuns

- Equipamentos de Limpeza
Escovas, vassouras, palhas - de - aço.

- Equipamentos de inspecção
Canivete, martelo, chave de fenda, cinto suporte ferramentas.
- Equipamentos de Melhoria de Visão
Binóculo, luneta, lente com iluminação, espelho de inspecção, lanterna.
- Equipamentos de Medição
Trena, paquímetro, fissurômetro, fio de prumo, termômetro, extensometro.
- Equipamentos de Documentação
Prancheta, fichas cadastrais, lápis, borracha, esquadros, giz, câmera fotográfica.
- Equipamentos Complementares
Estojo de primeiros socorros, repelentes e material de higiene pessoal.

4.5.2 Equipamentos Especiais

- Acelerômetro tridimensional para medição da vibração dos cabos (ver Figura 38).
- Vibrômetro laser doopler para medições de força e vibração do cabo (ver Figura 39).
- Equipamento para detenção de falhas nos fios por ultrassom (ver Figura 41).
- Equipamento para inspecção electromagnética (ver Figura 43)
- Boroscópio.

4.6 MÉTODOS DE ACESSO

4.6.1 Generalidades

A finalidade dos métodos de acesso é garantir que o inspector possa alcançar com segurança uma área a ser inspeccionada e com uma proximidade tal que permita que esta área possa ser tocada com as mãos.

O principal meio de alcançar cabos de difícil acesso de pontes suportada por cabos é através dos equipamentos ou veículos de acesso.

4.6.2 Equipamentos de Acesso

Equipamentos comuns de acesso incluem escadas, andaimes ou plataformas apoiadas nas torres, arnês de segurança fixado nos cabos de acesso (ver Figura 20), transportador de inspeção (ver Figura 21).



Figura 20 - Uso de arnês de segurança para inspeção do cabo principal de uma Ponte Suspensa [15].



Figura 21 - Transportador para inspeção ou manutenção de cabos principais para pontes suspensas [14].

4.6.3 Veículos de Acesso

Os veículos especiais de acesso proporcionam um rápido e seguro acesso a todas as áreas de difícil alcance, mas dependem de sua própria disponibilidade e da real necessidade de sua utilização, visto que seu aluguer é de alto custo; são praticamente indispensáveis na inspecção visual de todo comprimento livre do cabo e convenientes quando um grande número de cabos deve ser directamente inspecionado pelo inspector. De entre os veículos especiais de acesso, podem ser citados os veículos transportadores fixados no cabo principal ou nos tirantes (ver Figura 21), os camiões tipo Munck (ver Figura 22) que dispõem de braços articulados e cestas, e os “snoopers”, veículos com braços multiarticulados e cestas, estes camiões são estacionados no tabuleiro da ponte, de seguida são manipulados os braços para permitir acesso directo aos cabos e às zonas de ancoragem (ver Figuras 24 e 25).



Figura 22 – Camião tipo Munck com braços articulados [15].



Figura 23 - Acesso directo ao comprimento livre dos cabos usando o camião tipo Munck [8].



Figura 24 - Acesso à zona de ancoragem na parte inferior do tabuleiro através do camião tipo Munck [13].



Figura 25 - Acesso à zona de ancoragem dos cabos (mastros) através do camião tipo Munck [8].

4.7 PRÁTICAS DE SEGURANÇA

4.7.1 Fundamentos de segurança

As inspecções só poderão ter riscos minimizados se houver uma conscientização da equipe (Inspector e Auxiliares) da necessidade de ser criado um ambiente seguro e sadio de trabalho. Para isto é necessário, no mínimo:

- Manter a equipe descansada, alerta e interessada;
- Verificar se os membros da equipe gozam de boa saúde e estão em boa forma física;
- Utilizar equipamentos e ferramentas adequadas;
- Manter as áreas de trabalho limpas e desobstruídas;
- Estabelecer procedimentos sistemáticos e atribuir tarefas bem definidas;
- Observar as recomendações básicas de segurança de trabalho;
- Evitar excessos na alimentação e abolir uso de bebidas ou drogas;
- Não estacionar o veículo na ponte ou entrada da ponte e sim na saída;
- Verificar a presença de colmeias de abelhas e ninhos de passâros.

4.7.2 Protecção pessoal

I. Vestimenta adequada

O Inspector e Auxiliares devem vestir-se adequadamente para as inspecções: botas de couro com sola antiderrapante, calças resistentes que permitam livre movimentação, cinto especial para acomodar as pequenas ferramentas, bloco de notas, camisas com bolsos resistentes e de mangas compridas.

II. Acessórios de segurança

- Obrigatórios

Capacete, luvas, arnês de segurança, colecte reflexivo.

- Eventuais

Colecte salva-vidas, máscaras e paraquedas.

4.7.3 Causas de Acidentes

I. Causa Gerais

As duas maiores causas de acidentes são o erro humano e a falha de equipamento. O erro humano pode ser reduzido, reconhecendo-se que todos são susceptíveis de incorrer nele e melhorando o planeamento e os procedimentos para minimizar seus efeitos. A falha de equipamento pode ser reduzida por meio de inspecção dos equipamentos antes de serem usados.

II. Causas específicas

Algumas das causas específicas de acidentes estão listadas a seguir:

a) Causa Humanas

- Atitude imprópria: distração, descuido, preocupação com problemas pessoais;
- Limitações pessoais: falta de conhecimento, despreparo físico;
- Tédio e/ou Aborrecimento: execução de tarefas repetitivas e de rotina;
- Queima de Etapas: finalidade de reduzir tempo necessário para execução do serviço;
- Vestimenta imprópria.

b) Falhas de Equipamento:

- Equipamento Defeituoso: degraus de escadas, cordas e cabos desgastados.

5 .INSPECÇÃO DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS

5.1 GENERALIDADES

A inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos refere-se a inspecção do sistema de cabos de pontes suspensas e atirantadas. A inspecção dos cabos desse tipo de pontes resume-se à inspecção dos cabos, do sistema de ancoragem e do sistema de desvio. Neste capítulo são mencionados os tipos de inspecção recomendados para inspecção de cada elemento do sistema de cabos e os respectivos procedimentos de inspecção.

5.2 TIPOS DE INSPECÇÃO E PERIODICIDADE

Na inspecção dos cabos de pontes suportadas por cabos são geralmente adoptados quatro tipos de inspecção, nomeadamente:

- **Inspecção cadastral ou inicial:** é a primeira inspecção que se realiza no sistema de cabos, no final da construção e no início de serviço da ponte, com intuito de verificar o pleno funcionamento do sistema. A mesma é de carácter documental e visa a reunir todas informações relacionadas com o sistema de cabos nomeadamente, informes construtivos, relatórios de fiscalização ou supervisão, catálogos com propriedades, requisitos e testes dos materiais usados no sistema de cabos, desenhos detalhados de todos elementos do sistema de cabos, memórias descritivas e de cálculo, planos de execução, contratos e outros. Devem ser reunidos também, desenhos do projecto do sistema de cabos aprovado, com eventuais alterações ocorridas na fase construtiva. Se na inspecção inicial ou cadastral observarem - se defeitos no sistema de cabos que possam afectar o desempenho da ponte, deve - se solicitar uma inspecção especial.
- **Inspecção de rotina:** a inspecção de rotina é realizada com o objectivo de verificar novas anomalias e a condição ou evolução de antigos reparos ou defeitos

observados em inspecções anteriores no sistemas de cabos. Esta inspecção é realizada visualmente e tida também como ponto de partida para a verificação da necessidade de inspecções especiais. No entanto, modificações significativas do projecto do sistema de cabos determinam uma nova inspecção inicial ou cadastral.

- **Inspecção extraordinária ou detalhada:** é uma inspecção não programada, solicitada para avaliar danos estruturais, resultado de ocorrências de sinistros como abalos sísmicos, ventos muito fortes, acidentes de viação, vandalizações e incêndios. Dessa inspecção deve – se concluir a necessidade ou não de uma inspecção especial.
- **Inspecção especial ou excepcional:** é uma inspecção que pode ser consequente de inspecções iniciais ou cadastrais, de rotina e extraordinárias, nas quais podem detectadas anomalias críticas no sistema de cabos que requeiram uma investigação mais cautelosa e aprofundada. Em ocasiões especiais, como antes e durante a passagem de cargas excepcionais também pode haver necessidade de inspecções especiais.

5.3 INSPECÇÃO DO SISTEMA DE CABOS DE PONTES SUSPENSAS

5.3.1 Inspecção da sela de desvio

Para inspecção da sela de desvio é recomendada a inspecção de rotina. Essas inspecções devem identificar qualquer acumulação de detritos na sela de desvio e entre as nervuras do reforço, o que pode levar à retenção de humidade e corrosão dos parafusos da estrutura de suporte. O estado de pintura ou revestimento de protecção da sela também deve ser documentado.

5.3.2 Inspecção dos cabos principais e dos pendurais

Na inspecção dos cabos principais e dos pendurais também é recomendada a inspecção de rotina, uma inspecção visual do cabo principal é realizada caminhando sobre o cabo principal e procurando por sinais de deterioração, como ferrugem na pintura ou revestimento, perfuração do revestimento devido a infiltração de água no interior do cabo

principal. Os tirantes e os soquetes também são inspecionados quanto a quaisquer sinais visuais de deterioração e desgaste da pintura ou revestimento. Em suma, recomenda-se dois tipos de inspeção não destrutivas para os cabos principais, nomeadamente:

- **Inspecções visuais de rotina:** estas inspecções focalizam-se no controle de mudanças na aparência dos cabos (cabos principais e tirantes) como danos na pintura ou no revestimento (ver Figura 27), perfuração do cabo principal (ver Figura 26), produtos de corrosão escorrendo ao longo do cabo principal (ver Figura 28), desgaste do sistema de pintura, surgimento de escamas no revestimento. Recomenda-se que essas inspecções sejam realizadas no final dos meses de inverno e verão.
- **Inspecções práticas de rotina:** para os cabos em vãos de suspensão, deve-se relatar e avaliar a condição de pintura, calafetagem das ligações entre os pendurais e o cabo principal e a condição da ligação entre o tabuleiro e os pendurais. Para os cordões do cabo principal dentro do bloco de ancoragem, deve-se relatar e classificar a corrosão ou ruptura de cordões, inchaço nas barras de ancoragem, entrada de água nas paredes do bloco de ancoragem e tecto, condensação no interior do bloco de ancoragem e corrosão na ligação entre os cordões do cabo principal e as barras de ancoragens, corrosão das barras de ancoragem na interface entre o betão e as barras de ancoragem.



Figure 26 - Perfuração do revestimento do cabo principal face a Infiltração de água para o interior do cabo principal [4].



Figure 27 - Degradação do revestimento do cabo principal [4].

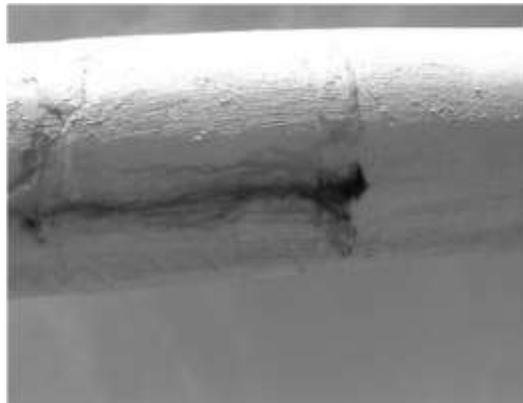


Figura 28 - Sinais de produtos de corrosão escorrendo ao longo do cabo principal [4].

5.3.3 Inspeção dos pendurais/soquetes

Existem dois níveis recomendados de inspeção dos pendurais, nomeadamente:

- **Inspeções visuais de rotina:** os pendurais são inspeccionados visualmente, incluindo a verificação de sinais de rotura de cordões (ver Figura 31) e corrosão nos pontos de ligação entre pendural – cabo principal e tabuleiro – pendural (ver Figura 30). O desgaste da pintura ou revestimento deve ser avaliada (ver Figura 29), deve-se controlar a existência de ruptura de fios ao longo do comprimento de cada pendural (ver Figura 32), no pendural enrolado no cabo principal (ligação entre o pendural e o cabo principal por meio de um anel de fixação), assim como

na interface do soquete (ligação entre o pendural e o cabo principal por meio do sistema de soquete aberto).

- **Inspecção ou teste não destrutivo dos pendurais:** este tipo de inspecção utiliza uma tecnologia baseada nos princípios da magnetostrição que é usada para identificar a redução da área de transversal do pendural devido à corrosão. Contudo este método não se aplica sobre o pendural enrolado no cabo principal, nem nas pontas dos soquetes. Dependendo da idade ou condição dos pendurais, é recomendável realizar este teste em todos os pendurais da ponte pelo menos uma vez em cada cinco anos (método electromagnético).



Figura 29 - Exemplo de desgaste da pintura/revestimento ao longo do comprimento do pendural [4].

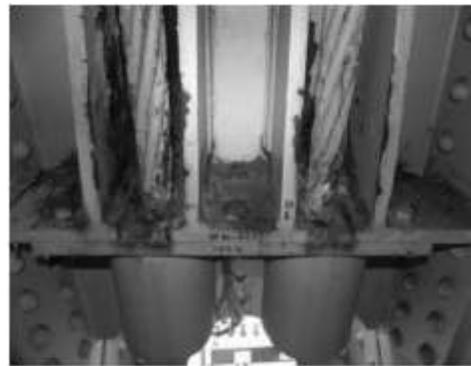


Figura 30-Exemplo típico de corrosão na ligação pendural – tabuleiro [4].



Figura 31 - Exemplo típico de sinais de ruptura de fios na ligação pendural – tabuleiro [4].



Figura 32 - Exemplo típico de ruptura de fios e desgaste do revestimento ao longo do comprimento do pendural [4].

5.3.4 Inspeção das conexões entre os pendurais e o cabo principal

Como já se referiu no capítulo 2.2.4, as bandas do cabo principal são duas metades de um cilindro aparafusados envolta do cabo principal, normalmente com espaçamento uniforme ditado pelo espaçamento dos pendurais. Essas bandas fornecem um assento para os tirantes, transferindo as cargas dos tirantes para o cabo principal. As forças de fricção entre a banda e os tirantes impedem que a faixa dos tirantes deslize pelo cabo principal sob essas forças. Os parafusos das bandas do cabo principal têm uma tendência a se afrouxar com o tempo e precisam de ser inspecionados regularmente para garantir que a tensão adequada seja mantida nos parafusos. Recomenda-se que uma parte dos parafusos das bandas sejam testados quanto ao torque toda vez que uma inspeção do cabo for realizada (ver Figura 33).

Deve-se observar que, embora o torque possa dar uma boa indicação da tensão do parafuso, ele pode variar com nível de corrosão das roscas. Condições altamente variáveis de corrosão podem ser confirmadas com um extensômetro, medindo o comprimento do parafuso antes e depois de tensionamento (ver Figura 34).

Note-se que, na inspeção das conexões entre os pendurais e o cabo principal adopta-se a inspeção de rotina.



Figura 33 - Chave de torque hidráulica para inspeção dos parafusos quanto ao torque [4].



Figura 34 - Extensómetro usado para medir o comprimento do parafuso com um grau de precisão de 0,002 polegadas [4].

5.3.5 Inspeção no interior dos blocos de ancoragem

Para os blocos de ancoragem recomenda-se a inspeção de rotina. Os cordões do cabo principal, as barras de ancoragem, e os soquetes são considerados elementos críticos, por isso devem receber especial atenção durante os trabalhos de inspeção. Deve - se ter atenção a interface entre a barra de ancoragem e o betão, e o ponto de ligação entre a barra de ancoragem e os cordões do cabo principal.

Ao contrário dos cordões do cabo principal fora da ancoragem, os cordões dentro do bloco de ancoragem não são revestidos; no entanto, em alguns casos, os fios são pintados. O principal problema com os cordões dentro do bloco de ancoragem é a corrosão causada pelo ambiente interno húmido. Dependendo da ponte, a corrosão e rotura dos cordões junto aos soquetes da barra de ancoragem é um problema sério, pois pode levar a necessidade substituição dos cordões corroídos.

5.3.5.1 Inspeção dos cordões (interior do bloco de ancoragem)

Como já foi referido no capítulo 2, não é recomendado pintar os cordões no interior do bloco de ancoragem. A lubrificação dos cordões é recomendada como meio eficaz para prevenir a corrosão dos cordões assim como, a desumidificação na interface entre o betão e as barras de ancoragem e na ligação entre soquete e os cordões. Durante a inspeção de rotina, os fios devem ser avaliados para determinar se o óleo esta protegendo os cordões.

5.3.5.2 Inspeção dos soquetes e barras de ancoragem (interior do bloco de ancoragem)

Os soquetes são elementos onde os cordões do cabo principal são fixados ou envolvidos. Os soquetes são fixados as barras de ancoragem por meio de uma conexão de porca e parafuso, e as barras de ancoragem são embutidas no betão armado, resistindo às forças de tracção transmitas pelo cabo principal.

Os problemas típicos experimentados pelos soquetes e barras de ancoragem é a corrosão na interface entre as barras de ancoragem e o betão, resultando na redução significativa da secção transversal da barra de ancoragem (ver Figura 35) e a corrosão da placa de amarração entre os soquetes e as barras de ancoragem e os parafusos que permitem a ligação entre os cordões e os soquetes. A corrosão é sempre devido ao ambiente humido dentro do bloco de ancoragem ou infiltração da água da chuva para dentro do bloco de ancoragem.

Existem dois tipos de inspeções recomendadas para as barras de ancoragem e os soquetes:

- **Inspeção de rotina:** consiste no controle da existência de corrosão nas barras de ancoragem e os soquetes, desaperto, queda e rotura de parafusos.
- **Inspeção especial:** consiste na limpeza completa e inspeção da interface entre as barras de ancoragem e o betão. Geralmente essa interface é protegida com uma camada de graxa, essa graxa precisa ser completamente removida e assim verificar-se possível existência de perda de secção na interface entre a barra de ancoragem e o betão. Recomenda-se que as barras de ancoragem sejam inspeccionadas uma vez a cada cinco anos. Caso o sistema de desumidificação esteja em pleno funcionamento e não houver sinais visuais de corrosão, a inspeção da interface entre a barra de ancoragem e o betão deve ser realizada uma vez a cada 10 anos.



Figure 35 – Exemplo de redução da secção da barra de ancoragem na interface entre a barra de ancoragem e o betão devido a corrosão [4].

5.3.5.3 Infiltração ou Drenagem de Água (interior do bloco de ancoragem)

A infiltração da água no interior do bloco de ancoragem (ver Figura 36) e nas câmaras de desumidificação é um problema comum, especialmente nas ancoragens antigas. Além disso, o entupimento ou mau funcionamento do sistema de drenagem é um problema comum. Ambos problemas, especialmente a falta de drenagem adequada,

podem causar humidade excessiva, acúmulo de água e corrosão activa dos elementos críticos (barras de ancoragem, cordões dentro do bloco de ancoragem, soquetes e o próprio betão ou bloco de ancoragem).

Existem dois tipos de inspecção recomendados para os sistemas de drenagem no bloco de ancoragem, nomeadamente:

- Inspeções mensais realizadas no interior do bloco de ancoragem com vista a garantir que qualquer água que entrar no interior do bloco de ancoragem seja drenada imediatamente. Essa inspecção deve ser realizada em simultâneo com a inspecção do sistema de desumidificação.
- Inspeção de rotina realizada no interior do bloco de ancoragem com o intuito de descobrir algum tipo de problema no sistema de drenagem, o que pode resultar em infiltração de água e humidade no interior do bloco de ancoragem.



Figura 36 - Vista típica de infiltração de água para o interior do bloco de ancoragem [4].

5.4 INSPECÇÃO DE CABOS DE PONTES ATIRANTADAS

5.4.1 Generalidades

Actualmente a inspecção de cabos de pontes atirantadas é realizada por meio de técnicas visuais e magnéticas, ultrassônicas, laser, acústica e técnicas baseadas em

vibração e contacto. A seguir são descritas as particulares de cada técnica de inspecção já mencionada.

5.4.2 Inspeções visuais

As inspeções visuais são a abordagem mais comum usada na inspecção do sistema de cabos deste tipo de pontes. As inspeções visuais dos cabos de pontes atirantas normalmente envolvem o seguinte:

- Identificação de fissuras longitudinais ou transversais excessivas no revestimento, bem como danos nas ligações aos amortecedores ou cabos transversais, se houver.
- Inspeção de irregularidades no alinhamento do cabo, incluindo ondulação ou curvatura excessiva. A curvatura pode ser estimada (medida) usando dispositivos ópticos ou por processamento de imagem de vídeo ou foto. O ângulo do cabo pode ser medido com um inclinómetro em pontos específicos.
- Identificação de mudanças nas elevações do tabuleiro da ponte atirantada.
- Exame de danos na fita protectora dos tirantes como rasgos e fissuras.
- Exame de danos no revestimento dos tirantes.
- Identificação de danos nas conexões entre a ancoragem e o tirante.
- Inspeção de danos, falta de estanquidade, deterioração de bainhas e afrouxamento de abraçadeiras que ligam os tirantes aos amortecedores.
- Inspeção quanto a danos ou deslocamentos de anéis de vedação e das abraçadeiras.
- Inspeção de lacunas entre o anel de vedação e o revestimento.
- Exame da superfície do revestimento dentro do tubo-guia através de um boroscópio, procurando por danos ou deformação no revestimento próximo a ancoragem.
- Avaliação de danos ou rachadura nos tubos – guia ou evidência de impacto nos componentes dos tubos – guia.
- Exame das condições da superfície dos componentes de ancoragem visíveis, incluindo porcas, tampas e placas de apoio.

- Exame das partes visíveis das selas de devio quanto a danos, corrosão e rachaduras, se aplicável.
- Revisão das evidências de humidade ou líquidos (como a graxa derretida) saindo dos elementos de ancoragem. Se houver uma porta de acesso ou tampa na extremidade da ancoragem (de preferência no ponto mais baixo), ela pode ser aberta e examinada quanto a humidade ou graxa contaminada.
- Remoção, em alguns casos, das tampas nas extremidades das ancoragens para permitir a inspeção visual da placa de ancoragem e dos dispositivos de ancoragem com vista a verificar se existem sinais de humidade ou corrosão no seu interior.
- Inspeção das amarras cruzadas (ver Figura 13) com o objectivo de verificar se existe perda de tensão e se realizar o retensionamento.
- Exame minucioso dos amortecedores, com vista a verificar a presença de detritos, rachaduras e falta de lubrificação, o que impede o pleno funcionamento do mesmo.

5.4.3 Inspeção da força dos cabos com base em vibrações

A teoria de acorde vibratório apresenta uma relação simples entre a tensão em numa corda (T) com sua massa por unidade de comprimento (m), seu comprimento (L) e sua frequência natural (f) como segue:

$$T = 4L^2f^2m \quad (\text{Eq.2})$$

Em sua forma mais simples, o comportamento de um tirante também pode ser aproximado ao de uma corda vibrante. Se sua frequência natural pode ser determinada, conhecendo todos os outros parâmetros (tensão da corda, massa e comprimento), a força pode ser determinada. Vários pesquisadores usaram acelerômetros instalados nos tirantes (Ver figura 37) para se medir a frequência natural do cabo e estimar a força do cabo. No entanto, em alguns casos, a medição da frequência dos tirantes pode ser demorada devido a grande número de tirantes, se houver. Além disso, os cabos têm rigidez à flexão enquanto que a equação assume zero. Os cabos cedem sob seu próprio peso morto e têm

factores complicadores, como anéis de neoprene, amortecedores e rigidez variável ao longo do seu comprimento, que complica ainda mais a relação analítica. “Com vista à não desprezar todos os factores mencionados acima a FHWA (Administração Rodoviária Federal dos Estados unidos da América) financiou um projecto de pesquisa em meados da década de 1990 para desenvolver um método sem contacto baseado em laser para medições de vibração dos tirantes em campo. Assim foi desenvolvido o vibrômetro Doppler a laser (ver Figura 38) que permite a medição das vibrações dos cabos até várias centenas de pés.

Note-se que, se a abordagem baseada no vibrômetro Doppler a laser for seleccionada, é importante enfatizar que não se pode necessariamente concluir que não houve perda de secção do tirante porque as forças no cabo não mudaram.



Figura 37 - Acelerômetro tridimensional [7].

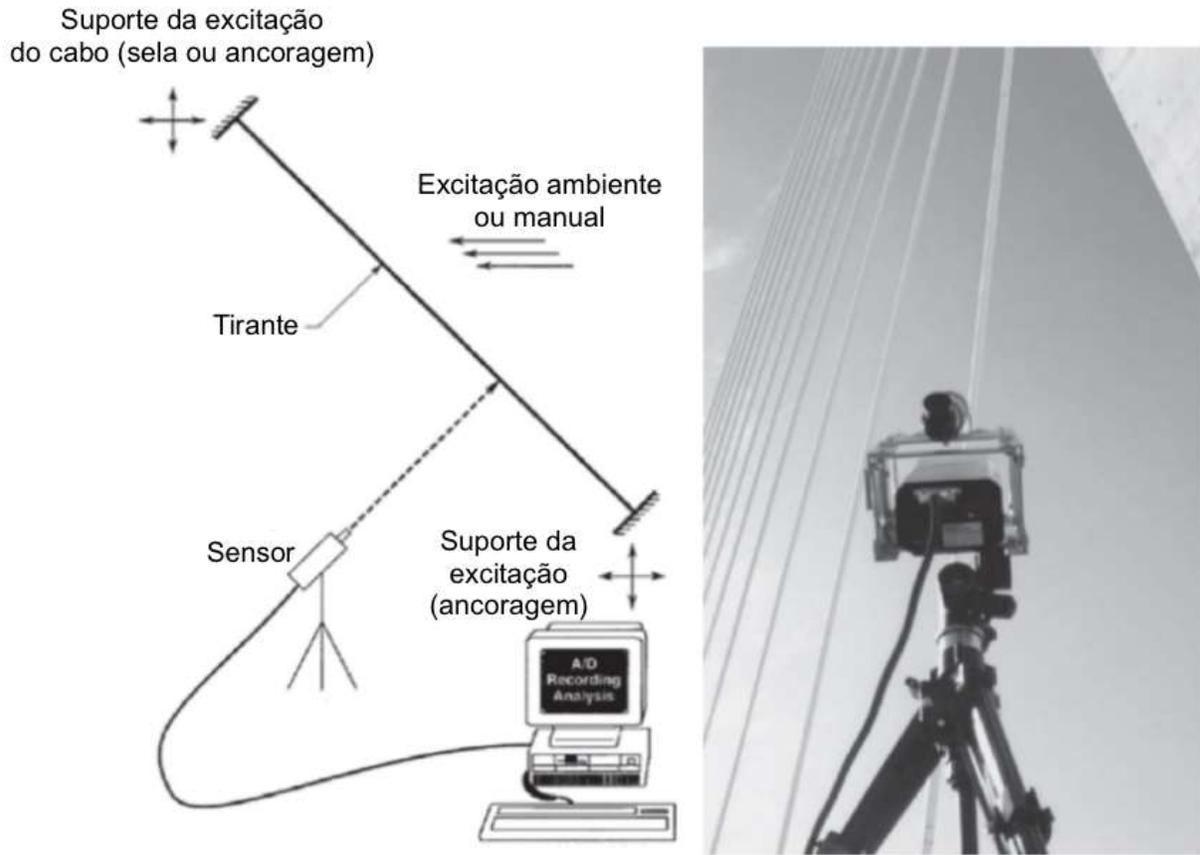


Figura 38 - Vibrômetro laser doopler para medição de força com base na vibração do cabo [14].

Outra opção para medição da força dos tirantes em novos cabos seria instalar células de carga junto as ancoragens. Esta poderia ser uma opção eficaz, embora relativamente cara. Outro método usado é o chamado "método de decolagem". Nesta abordagem, um grande macaco hidráulico é usado para levantar a placa de ancoragem, portanto a força necessária para a decolagem da placa é a força do cabo. Este método é complicado e caro, especialmente para fins de inspeção.

5.4.4 Inspeção dos tirantes com base em técnicas ultrassônicas (Verificação de existência de rotura de fios)

As técnicas ultrassônicas são técnicas de avaliação da força nos tirantes com base na propagação de ondas de pulso ao longo do tirante. Neste método, um transdutor ultrassônico é acoplado à extremidade do tirante (ver Figura 40 e 41) e uma onda de alta

frequência é enviada para cada cordão, a seguir se obtém o gráfico que relaciona a amplitude e o comprimento dos cordões, com base no gráfico emitido pelo transdutor ultrassônico pode-se detectar a existência ou não de ruptura de algum cordão. A figura 39 mostra o resultado de um teste ultrassônico realizado numa das ancoragens da ponte Cochrane no Abalama (Estados Unidos da America), no qual se detectou ruptura na superfície de um dos cordões.

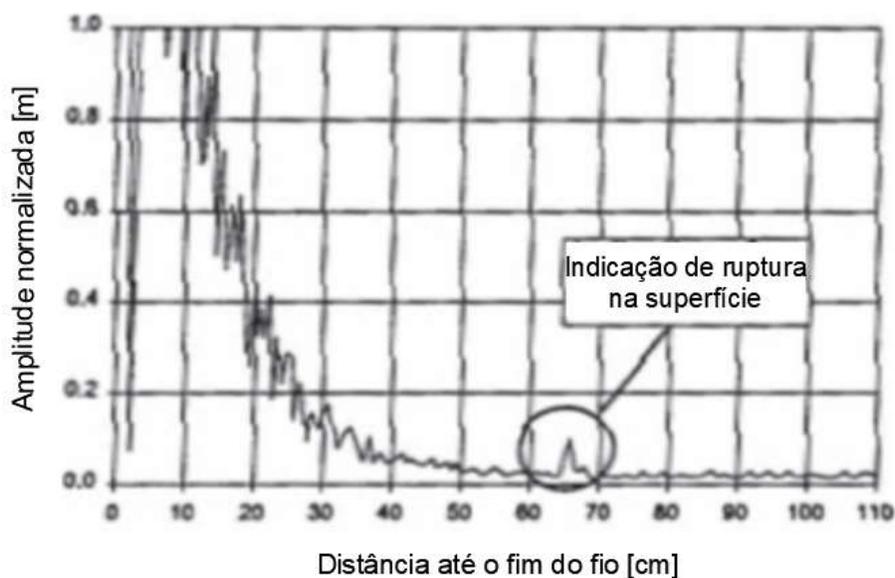


Figura 39 - Resultado do teste ultrassônico realizado num tirante da Ponte Cochrane no Alabama - Estados Unidos da América [14].

É de destacar que existem complicações adicionais com a transmissão de ondas através de um cordão de sete fios. Transdutores ultrasônicos típicos devem ser acoplados adequadamente às extremidades dos cordões. Como os sete fios envolvem o fio central e estão em contacto uns com os outros, a transmissão de ondas é mais complicada do que em fios simples e rectos.



Figura 40 – Equipamento para o teste ultrassônico [7].

5.4.5 Inspeção dos tirantes com base no método electromagnético

A inspeção electromagnética em tirantes de pontes atirantadas consiste na passagem do cabo através do aparelho com ímãs permanentes capaz de magnetizá-lo com um campo forte o suficiente para saturação do cabo (ver Figura 42). As descontinuidades no cabo são percebidas pelos sensores hall através das distorções hall nas linhas de fluxo magnético. Essas variações nas linhas de fluxo magnético determinam os defeitos localizados (LF- Localized fault) como fios rompidos e corrosão externa. A detecção da perda de secção metálica (LMA- Loss of metallic cross sectional area) se dá pela indução de um fluxo magnético longitudinal a secção do tirante. Os sensores “Hall” captam e armazenam as variações de sinal digitalmente que são descarregados em processadores de dados e traduzidos na forma de gráfico. A figura 41 apresenta um exemplo do resultado gráfico obtido na inspeção electromagnética.



Figura 41 - Instrumento para inspeção electromagnética dos tirantes [9].

A inspeção de cabos de pontes atirantadas pelo método electromagnético é em geral mais trabalhosa que dos demais cabos de aço de aplicações de elevação de carga, primeiramente pelo diâmetro dos cabos que normalmente são maiores de 70 mm e depois devido à localização. Nas laterais das pontes é normal haver pouco espaço livre e como os equipamentos são grandes, por causa do diâmetro dos cabos, as acções demandam um bom planejamento para que o tráfego não seja muito perturbado.

6. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA INSPECÇÃO DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS

6.1 INTRODUÇÃO

A proposta de metodologia para inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos que é o principal objectivo deste trabalho, é apresentada por meio de Guião de inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos e propostas de fichas de inspecção nomeadamente, fichas de inspecção inicial e de rotina, específicas para inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos.

6.2 GUIÃO PARA INSPECÇÃO DE SISTEMAS DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS

O Guião para inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos é apresentado no Anexo 1. O guião tem como objectivo de auxiliar Engenheiros e Auxiliares Técnicos durante os trabalhos de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos. O mesmo está dividido em duas partes nomeadamente, actividades de escritório e actividades de campo.

6.3 FICHAS DE INSPECÇÃO

6.3.1 Fichas de Inspeção inicial ou cadastral

A ficha de inspecção inicial ou cadastral é essencial para a avaliação inicial do sistema de cabos logo após a construção, no início de serviço da ponte e em casos de eventuais modificações no sistema de cabos. Neste trabalho desenvolveu-se um proposta de ficha de inspecção cadastral especifica para inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos apresentada no Anexo 3. Na mesma podem ser preenchidos os dados básicos e características funcionais da ponte, características do sistema de cabos, esquemas ou fotografias dos componentes do sistema de cabos que por meio de edição gráfica pode ser feita a legenda dos elementos.

6.3.2 Fichas de Inspeção rotineira

A ficha de inspeção de rotina que é o ponto de partida para a identificação da necessidade de uma inspeção especial é apresentada no Anexo 4. A mesma é constituída no quadro inicial pelos comentários gerais, onde são analisadas as condições de estabilidade, nível de vibração dos cabos, inspeção especializada anteriormente realizada e atribuição da nota técnica. No segundo quadro constam as principais anomalias encontradas nos cabos principais nomeadamente, a degradação do revestimento do cabo principal, sinais de produtos de corrosão escorrendo pelo cabo principal, perfuração do revestimento do cabo principal face a infiltração, surgimento de escamas no revestimento, deficiência ou inoperância dos sistema de controlo de humidade, calafetagem nas ligações entre pendurais e o cabo principal, perda de tensão dos parafusos que ligam anéis de fixação ou soquetes, queda de parafusos dos anéis de fixação ou nos soquetes. No terceiro quadro existema os problemas comuns nos penadurais nomeadamenete, calafetagem nas ligações entre o tabuleiro e os pendurais, queda de parafusos nas ligações entre o tabuleiro e os penduarais, desgate da pintura ou revestimento do pendural, ruptura de fiód ao longo do pendural, ruptura de fios do pendural envolta do cabo principal, ruptura de fios na interface do soquete, sinais de corrosão na inteface do soquete, sinais de corrosão ao longo do pendural, sinais de corrosão do pendural envolta do cabo principal e redução da secção transversal do pendural devido a corrosão. No terceiro quadro, podem ser vistos os principais problemas nas selas de desvio nomeadamente, a acumulação de detritos, retenção de humidade, corrosão e queda de parafusos da estrutura de suporte e a degradação do revestimento. No quarto quadro encontram-se os principais problemas nos blocos de ancoragem nomeadamente, sinais de corrosão ao longo dos cordões, ruptura de cordões, corrosão dos cordões junto aos soquetes, ruptura de fios dos cordões de soquetes, corrosão da placa de amaração entre os soquetes e as barras de ancoragem, corosão dos parafudos nas ligações soquetes – barras de ancoragem, redução da seccção transversal da barra de ancoragem devido a corrosão, lubrificação dos cordões e infiltração de água e humidade no interior do bloco de ancoragem. No quinto quadro esquemas, fotos com localização dos danos encontrados em qualquer dos elementos.

A segunda ficha de rotina é referente ao sistema de cabos de pontes atirantadas, no primeiro quadro podem ser vistos comentários gerais nomeadamente, condições de estabilidade, nível de vibração dos cabos, inspecção especializada realizada anteriormente e um espaço para observações adicionais. No segundo quadro, aborda-se sobre os problemas frequentes nos tirantes nomeadamente, identificação de fissuras longitudinais ou transversais excessivas no revestimento, bem como danos nas ligações aos amortecedores ou cabos transversais, se houver, irregularidades no alinhamento do cabo, mundaças nas elevações do tabuleiro, danos na fita protectora dos tirantes como fissuras e rasgos, danos no revestimento ou bainha dos tirantes, danos nas conexões entre a ancoragem e o tirante, estanquidade das bainhas ou revestimento, deterioração das bainhas ou revestimento, afrouxamento das abraçadeiras, danos ou deslocamentos dos anéis de vedação, lacunas entre o anel de vedação e o revestimento, verificação de problemas no interior do revestimento do tubo – guia, rachaduras ou danos nos tubos-guia, rotura de cordões através do teste ultrassónico ou método electromagnético, medição da força nos cabos.

7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1 CONCLUSÕES

O trabalho propôs uma contribuição para a metodologia de inspecção de cabos de pontes suportadas por cabos, desenvolvida com o intuito de responder a dificuldade de identificar previamente anomalias no sistema de cabos de pontes suportadas por cabos, que podem afectar o funcionamento e segurança da ponte.

Essa metodologia consistiu na elaboração de um guião de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos e Fichas de Inspeção cadastral e rotineira resultado da compilação da revisão bibliográfica, suscinta, a respeito de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos apresentada ao longo do trabalho. Este guião tem como objectivo de auxiliar qualquer engenheiro civil e profissional de nível médio na inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos. A proposta de metodologia apresentada no guião é dividida em duas actividades, nomeadamente as actividades de escritório e as actividades de campo. As actividades de escritório tem o seu início após uma visita prévia na ponte a ser inspecionada e inclui a elaboração de fichas de inspecção, o dimensionamento da equipe de inspecção, selecção dos dispositivos de acesso e de segurança, equipamentos e ferramentas de inspecção, procedimentos para controlo do tráfego durante os trabalhos de inspecção e a reunião com a equipe de inspecção. As actividades de campo resumem-se na inspecção dos cabos, do sistema de desvio dos cabos, do sistema de ancoragem e do sistema de amortecimento dos cabos.

É importante ressaltar que o desenvolvimento deste trabalho partiu de duas hipóteses, a primeira que existe um procedimento padrão de inspecção, a segunda que o início das actividades de inspecção dependem da localização da anomalia. Verificou-se durante o desenvolvimento do guião que ambas hipóteses são verdadeiras pois, os procedimentos de inspecção muitas vezes dependem realmente da localização das anomalias, as quais são detectadas previamente mediante uma visita ao local da obra

antes de se iniciarem as actividades de escritório, na qual serão realizadas anotações, croquis simplificados e fotos que descrevam o estado de todos elementos do sistema de cabos, nomeadamente, os elementos de tensionamento, os sistemas de conexão, o sistema de ancoragem, os sistemas de desvio e de amortecimento, só depois da análise desses dados é que podem ser desenvolvidos os procedimentos padrão de inspecção a serem seguido por toda equipe de inspecção durante os trabalhos de campo.

O trabalho de licenciatura aqui desenvolvido teve como produto vários trabalhos académicos, visualização de documentários sobre inspecção de pontes suportadas por cabos, contudo, não houve oportunidade de participação em trabalhos práticos de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos, o que poderia melhorar ainda mais o trabalho.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As inspecções em sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos é uma área ainda em desenvolvimento e de maior importância, sobretudo em Moçambique face a existência de pontes suportadas por cabos com especial destaque a recém construída ponte Maputo – Katembe. A concluir o presente documento enunciam-se algumas considerações que permitem evidenciar estudos que ainda podem ser desenvolvidos relacionando com o contexto deste trabalho de licenciatura.

Podemos apontar para desenvolvimentos futuros:

- Desenvolvimento e aperfeiçoamento das fichas de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos aqui propostas;
- Aperfeiçoamento da proposta de guião de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos, mediante participação em vários trabalhos práticos de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos;
- Formulação de recomendações de projecto e execução para novas pontes suportadas por cabos, com base na observação de problemas nos sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos, com vista a reduzir a incidência de processos precoces de deterioração e aumentar a vida útil deste tipo de pontes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E NORMAS CONSULTADAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Alampalli, Sreenivas, Moreau, William J. 2016 - Inspection, Evaluation and Maintenance of Suspension Bridges, Taylor & Francis Group, Londres.
- [2]. Bloomstine, Matthew; Sørensen, Ove. 2011 - Prevention of main cable corrosion by dehumidification, Dinamarca.
- [3]. Botelho, D.R.B. 2008 - Utilização de Cabos em Pontes: Estudos Paramétricos.
- [4]. Brandon, W.C.; Brian, J.L. 2012 - Primer for the Inspection and Strength Evaluation of Suspension Bridge Cables, Publicação nº FHWA-IF-11-045, Washington.
- [5]. Chirime, E.D.2017- Análise do Comportamento Estrutural da Ponte Maputo - Katembe durante a Construção.
- [6]. Da Silva, F.M. 2016 - Inspeção de Rotina de Obras de Arte Especiais: Pontes e Viadutos, Porto.
- [7]. DSI. 2017 - Sistemas de Estais DYWIDAG.
- [8]. Freyssinet. 2014 - Maintenance of cable – stayed structures, França.
- [9]. IntronBRASIL – Inspeção Electromagnética nos cabos de aço de Pontes Estaidas, Brasil.
- [10]. Lencioni, J.W. 2005 - Proposta de Manual para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado: Discussão sobre a Influência dos Factores Ambientais na Degradação de Obras de Arte Especiais, São Paulo.
- [11]. Mahumoud, Khaled M. 2011 - Modern Techniques in Bridge Engineering, Taylor & Francis Group, Londres.
- [12]. Mutsuyohi, H.; Caballeo, A.; Brand, W.; Annan, R.; Almeida, P.A.O; Chadoga, M.; Ciccone, T.; Georgakis, C.; Goodyear, D.; Hosoi, K.; Kasuga, A.; Kuikboer, C.; Mellier, E.; Piekarski, J.; Theyo, T.; Weiher, H.; Winkler, J; Bastien, J.; Curran, P.; Fischer, G.; Glaester, C.; Gutsch, A.; Ikehata, S.; Kido, T.T.; Meiss, K.; Neff, T.L; Soule, B.; Santos, A.T; Wild, M; Zivanovic, I. 2018 - Acceptance of cable systems using prestressing steels - Bulletin 89 - fib, Melbourne.

- [13]. Diego, M.M. 2011 - Histórico das Pontes Estaiadas e sua aplicação no Brazil, São Paulo.
- [14]. NCHRP.2005 - Inspection and Maintenance of Bridge Stay Cable Systems, Washington.
- [15]. Perreira, J.L.M; Trinta, Z.A.; Fainstein, A.; Stucket, G.L; Martins, J.C.; Nigri, E.S.2004 - Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2ª edição, Rio de Janeiro.
- [16]. Rafael, E.D.2018 - Sistema de Protecção Contra a Corrosão por Desumidificação em Elementos Estruturais Metálicas de Pontes Suspensas.
- [17]. Rincón, E.R & Consócio ACCENTURE. 2016 – Manual de Manutenção de Obras de Artes Especiais, 1ª edição
- [18]. Ryan, T.W.; Hartle, R. A.; Mann, E.; Danovich, L. J. 2006 - Bridge Inspector's Reference Manual, Publicação nº FHWA NHI 03 – 001, Washington.
- [19]. Serafim, J.P.M. 2014 - Métodos Simplificados para o pré – dimensionamento de Pontes Suspensas, 1ª edição, FCT/UNL, Portugal.
- [20]. Vitório, J. A. P. 2015 - Curso de Especialização em Inspeção, Manutenção e Recuperação de Estruturas, Recife.

NORMAS CONSULTADAS

- [N1]. EN 10244-1 e 2: “Metalic products – type of inspection documents”
- [N2]. ASTM A 882/A882 M “Standard Specification for Filled Epoxy – Coated Seven – Wire Prestressing steel Strand”
- [N3]. ASTM B 117 -16 “Standard practice for operating salt (fog) apparatus”
- [N4]. FHWA - RD - 74-18 “Materials and Methods of Corrosion Control of Reinforced and Prestressed Concrete”
- [N5]. ASTM G20 -10 “Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipeline Coatings”
- [N6]. ASTM D 968 -16 “Standard Test Methods for Abrasion Resistance of Organi Coatings”
- [N7]. ASTM A 370-17 “Standard Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products”
- [N8]. EN 10088: 2012 “Stainless steels”

- [N9]. ISO 2137: 2007 “Petroleum products and lubricants – Determination of cone penetration of lubricating and petrolatum”
- [N10]. ASTM D 217 – 16 “Standard Test Methods for Cone Penetration of Lubricating Grease”
- [N11]. ISO 2176: 1995 “Petroleum products – lubricating grease – Determination of dropping point”
- [N12]. ASTM D566 – 16 “Standard Test Method for Dropping Point of Lubricating Grease”
- [N13]. ISO 2592: 2000 “Determination of flash and fire points – Cleveland open cup method”
- [N14]. DIN 51817: 2014 “Determination of oil separation from lubricating grease under static conditions”
- [N15]. NFT 60-191 “Petroleum Products and Lubricating Greases – Oil Separation on Storage of Lubricating Grease – Method Under Pressure – Static Conditions”
- [N16]. ASTM D 942 – 15 “Standard Test Method for Oxidation Stability of Lubricating Greases by Oxygen Pressure Vessel Method”
- [N17]. DIN 51808: 2015 “Testing of lubricants; determination of oxidation stability of greases: oxygen method”
- [N18]. ASTM D942 – 15 “Standard Test Method for Oxidation Stability of Lubricating Greases by Oxygen Pressure Vessel Method”
- [N19]. ISO 9227: 2017 “Corrosion tests in artificial atmospheres – Slat spray test”
- [N20]. ISO 6270-2: 2005 “Paints and varnishes – Determination of resistance to humidity – Part 2: Procedure for exposing test specimens in condensation – water atmospheres”
- [N21]. ISO 9227: 2017 “Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray test”
- [N22]. ISO 11007: 1997 “Petroleum products and lubricants – Determination of rust prevention characteristics of lubricating greases”
- [N23]. NFM 07 – 023: 1969 “Liquid fuels – Determination of chlorides in crude petroleum and petroleum products”
- [N24]. ISO 2207: 1980 “Petroleum waxes – Determination of congealing point”
- [N25]. ISO 2176: 1995 “Petroleum products – Lubricating grease – Determination of dropping point”

- [N26]. ISO 2137: 2007 “Petroleum products and lubricants – Determination of cone penetration of lubricating grease and petrolatum”
- [N27]. DIN 51817: 2014 “Determination of oil separation from lubricating grease under static conditions”
- [N28]. NFT 60 – 191: 2011 “Petroleum Products and Lubricating Greases – Oil Separation on Storage of Lubricating Grease – Method Under Pressure – Static Conditions”
- [N29]. ASTM D 6184 – 16 “Standard Test Method for Oil Separation from Lubricating Grease (Conical Sieve Method)”
- [N30]. ISO 2160: 1998 “Petroleum products – corrosiveness to copper strip test”
- [N31]. ISO 1133: 2011 “Plastics – Determination of the melt flow rate (MFR) and the melt volume rate (MVR) of thermoplastics”
- [N32]. ISO 1183: 2012 “Plastics – Methods of determining the density of non – cellular plastics”
- [N33]. ISO 6964: 2006 “Polyolefin pipes and fittings – Determination of carbon black content by calcinations and pyrolysis – Test method and basic specification”
- [N34]. ISO 18553: 2002 “Method for the assessment of the degree of pigment or carbon black dispersion in polyolefin pipes, fittings and compounds”
- [N35]. ISO 527 -2: 2012 “Plastics – Determination of tensile properties”
- [N36]. ISO 6259-3: 2015 “Thermoplastics pipes – Determination of tensile properties – Parte 3: Polyolefin pipes”
- [N37]. ISO 11357 - 6: 2008 “Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 6: Determination of oxidation induction time (isothermal OIT) and oxidation induction temperature (dynamic OIT)”
- [N38]. ISO 11359-2: 1999 “Plastics – Thermomechanical analysis (TMA) – Part 2: Determination of coefficient of linear thermal expansion and glass transition temperature”, 1999
- [N39]. ISO 178: 2012 “Plastics, Determination of bending modulus”
- [N40]. ISO 22088: 2006 “Plastics – Determination of resistance to environmental stress cracking (ESC)”

[N41]. D1693 “Standard test method for environmental stress – cracking of ethylene plastics”

[N42]. EN 1991-2: 2003 “Traffic loads on Bridges”

ANEXO 1 – Proposta de Guião para inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos

ANEXO 2 – Fluxograma da proposta de guião de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos

ANEXO 3 – Proposta de ficha de inspecção cadastral

ANEXO 4 – Proposta de ficha de inspecção rotineira

ANEXO 5 – Instruções para o preenchimento das fichas de inspecção

ANEXO 6 – Instruções para a atribuição da nota técnica

ANEXO 1 – Proposta de Guião para inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos

PROPOSTA DE GUIÃO PARA INSPECÇÃO DE SISTEMAS DE CABOS DE PONTES SUPORTADAS POR CABOS

1. INTRODUÇÃO

Esta proposta de guião foi elaborado com intuito de auxiliar qualquer engenheiro civil e profissional de nível médio sobre aspectos essenciais a ter em conta em todo processo de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportados por cabos. O guião aqui proposto está dividido em duas partes nomeadamente, actividades de escritório e actividades de campo. As actividades de escritório só podem ter início após uma visita prévia ao local da obra, e inclui a elaboração de fichas de inspecção, dimensionamento da equipe de inspecção, selecção dos dispositivos de acesso, dos equipamentos e ferramentas, procedimentos para controlo do tráfego durante os trabalhos de inspecção e a reunião com a equipe de inspecção. As actividades de campo só deverão ter o seu início depois de terminadas todas as actividades de escritório. Todos os procedimentos a seguir desde a visita prévia à obra até o fim das actividades pode ser vista no fluxograma da metodologia proposta presente no anexo 2.

2. VISITA PRÉVIA AO LOCAL DA OBRA

Antes de iniciar qualquer actividade de escritório, o gestor do sistema de inspecção deve incumbir o engenheiro responsável pelas actividades de campo para que realize uma visita prévia ao local da obra e com auxílio dos auxiliares técnicos realize anotações, croquis simplificados e fotos que descrevam todos os elementos do sistema de cabos nomeadamente, os elementos de tensionamento, os sistemas de conexão, o sistema de ancoragem, os sistemas de desvio, os sistemas de amortecimento e os sistemas de protecção dos cabos.

3. ACTIVIDADES DE ESCRITÓRIO

Após a visita prévia à obra e com dados do sistema de cabos compilados, iniciam-se com as actividades de escritório. As actividades de escritório resumem - se à elaboração de fichas de inspecção, dimensionamento da equipe

de inspecção, selecção dos dispositivos de acesso, dos equipamentos e dispositivos de inspecção, desenvolvimento dos procedimentos de controlo de tráfego durante as actividades de inspecção e por fim a reunião com a equipe de inspecção. Abaixo estão descritos todos aspectos a considerar em todas actividades de escritório.

3.1 Elaboração de fichas de inspecção

3.1.1 Ficha de inspecção cadastral

Após a visita prévia ao sistema de cabos e colecta de informações essenciais, inicia-se o desenvolvimento das fichas de inspecção. A primeira é a ficha cadastral ou de caracterização, na qual podem constar dados básicos da ponte (identificação, administração, informações sobre o projecto, construção, comprimento e largura da ponte), dados sobre as características funcionais (características plani-altimétricas, características da pista e tráfego), características do sistema de cabos, esquemas dos componentes do sistema de cabos. É apresentada no Anexo 3, uma proposta de ficha de inspecção cadastral.

3.1.2 Ficha de inspecção rotineira

A ficha de inspecção rotineira é desenvolvida após o preenchimento da ficha cadastral, esta ficha serve de base para a padronização na abordagem da inspecção durante os trabalhos de campo (local da obra), o que tem grande impacto na qualidade e produtividade da inspecção. Nesta ficha constam verificações a serem realizadas em cada elemento do sistema de cabos, identificação específica do local da anomalia, atribuição da nota técnica e por fim um espaço para fotos ou esquemas de localização das respectivas anomalias nos elementos do sistema de cabos. É apresentado no anexo 4, uma proposta de ficha de inspecção rotineira específica para a inspecção rotineira de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos.

2.1.3 Instruções para preenchimento da ficha de inspecção

As instruções para o preenchimento das fichas de inspecção propostas podem ser lidas no anexo 5 deste trabalho. Neste anexo existe uma explicação exaustiva para o preenchimento de cada item que ali consta.

2.1.4 Atribuição da nota técnica

A atribuição da nota técnica está directamente relacionada com a maior ou menor gravidade da anomalia no elemento do sistema de cabos em análise. Por forma simplificar esta análise é apresenta no anexo 6, uma tabela que correlaciona a nota técnica com a categoria dos problemas detectados em cada elemento do sistema de cabos, essa nota varia de 1 a 5 e reflecte a maior ou menor gravidade do problema ou anomalia. De referir que a nota final do sistema de cabos em análise corresponde à menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural.

2.1.5 Dimensionamento da equipe de inspecção

A inspecção de sistema de cabos de pontes suportadas por cabos é muito complexa, por isso, é importante ter uma equipe experiente e bem organizada. O manual da AASHTO 2007 propõe que a equipe de inspecção de obras de arte especiais sejam formadas por, no mínimo, um gestor do sistema de inspecção, um engenheiro responsável pelos serviços de campo e/ou escritório e auxiliares técnicos. O ideal é que o gestor do sistema de inspecção seja um engenheiro sênior com pelo menos dez anos de experiência em inspecção e manutenção de pontes, caso contrário, o gestor do sistema inspecção deve ter um engenheiro sênior como consultor para auxiliar em todas actividades de inspecção. O Engenheiro responsável pelos serviços de campo, deve ser um engenheiro civil, com alguma experiência em trabalhos de inspecção de pontes. Os auxiliares técnicos são trabalhadores com no mínimo o nível de decima segunda classe ou equivalente completo, além disso devem apresentar conhecimentos e experiência suficiente para interpretar desenhos de projecto, catálogos dos elementos do sistema de cabos e capacidade de desenhar esquemas.

2.1.6 Selecção dos dispositivos de acesso e dos equipamentos e ferramentas de inspecção

Os dispositivos de acesso e equipamentos e ferramentas de inspecção são seleccionados após avaliação da dimensão dos trabalhos. Para melhor esclarecimento estão abaixo os recursos acessórios para realizar a inspecção de sistema de cabos de pontes suportadas por cabos tais como:

- **Dispositivo de acesso:** camião tipo Munck (usado por exemplo para inspecção de cabos e ancoragens de pontes atirantadas).
- **Equipamentos e Ferramentas:** equipamentos de documentação (como fichas de inspecção, lápis, borracha, câmara fotográfica), equipamentos de melhoria de visão (como binóculo, luneta, lente de iluminação, lanterna), equipamentos de medição (como o fissurómetro, extensómetro), equipamentos de limpeza (como escovas, vassouras, palhas - de - aço), cinto de suporte ferramentas, chave de torque hidráulica (equipamento usado na verificação da tensão dos parafusos nas conexões entre os pendurais e o cabo principal), sinalização da pista (cones e luminosos) e da equipe (colectes flectores), vibrómetro laser doppler (equipamento usado para medição da força, vibração e ondulação dos tirantes), equipamento para inspecção eletromagnética (equipamento usado para verificação da corrosão e rotura de fios dos tirantes de pontes atirantadas), boroscópio (equipamento usado na verificação de anomalias no interior das ancoragens do sistema de cabos de pontes atirantadas), equipamentos complementares (como estojo de primeiros socorros, repelentes e material de higiene pessoal).
- **Equipamentos de Segurança:** Arnês de segurança, capacete, colecte reflexivo, botas de couro com sola antiderrapante.

2.1.7 Controlo do tráfego durante a inspecção

Antes do início de actividades o gestor do sistema de inspecção ou seu representante, deve contactar as autoridades competentes para informar sobre os trabalhos a serem realizados no local da obra. O artigo 6 do código de estrada (decreto – lei nº 1/2011), refere que a suspensão completa ou parcial do trânsito

para realização de trabalhos de inspecção ou manutenção, nas pontes implantadas nas estradas nacionais deve ser solicitada à ANE e, nas pontes implantadas nas estradas locais, aos conselhos municipais. A entidade que ordena a suspensão deve anunciá-la ao público com a antecedência mínima de três dias.

2.1.8 Reunião com a equipe de inspecção

As primeiras reuniões a serem realizadas após o fim das actividades de escritório acima descritas são entre o gestor do sistema de inspecção e o engenheiro responsável pelos serviços de campo. O pontos de agenda dessas reuniões resumem-se à coordenação e planeamentos das actividades de campo, definição do cronograma de trabalho, orçamento da obra, equipamentos e ferramentas de inspecção e os prazos de para finalização dos trabalhos. Terminadas as reuniões entre o gestor do sistema de inspecção e o engenheiro responsável pelos serviços de campo, o engenheiro responsável pelos serviços de campo deve realizar reuniões com os auxiliares técnicos. Essa reunião tem como objectivo de coordenar todas actividades de campo nomeadamente, apresentação do cronograma de actividades e fichas de inspecção, transporte de equipamentos até o local da obra, calibração de equipamentos de teste, medidas de segurança durante os trabalhos de inspecção. É importante ressaltar que antes da realização das actividades de campo também devem ser realizadas reuniões de recapitulação e em casos de necessidade de alteração ou melhoramento do cronograma de actividades.

3. ACTIVIDADES NO LOCAL DA OBRA

3.1 Planeamento de actividades

Abaixo vem descrito todos aspectos a serem considerados durante os trabalhos de inspecção. Na alínea a) estão descritas as actividades para a inspecção de sistemas de cabos de pontes suspensas e na alínea b) estão descritas todas actividades para inspecção de sistemas de cabos de pontes atirantadas.

a) Sistema de cabos de pontes suspensas

- **Actividade 1 - Inspeção dos cabos principais:** a inspeção dos cabos principais é realizada caminhando sobre o cabo principal, com intuito de identificar quaisquer sinais de degradação do revestimento, produtos de corrosão escorrendo ao longo do cabo principal, perfuração do revestimento do cabo principal face a infiltração, surgimento de escamas no revestimento, deficiência do sistema de controlo de humidade, calafetagem nas ligações entre os pendurais e o cabo principal, perda de tensão dos parafusos que ligam os anéis de fixação ou soquetes queda de parafusos dos anéis de fixação.

- **Actividade 2 - Inspeção dos pendurais:** os pendurais devem ser inspeccionados quanto a quaisquer sinais de calafetagem nas ligações entre o tabuleiro e os pendurais, queda de parafusos nas ligações entre o tabuleiro e os pendurais, desgaste da pintura ou revestimento, ruptura de fios ao longo do pendural, ruptura de fios do pendural envolta do cabo principal, ruptura de fios na interface do soquete, sinais de corrosão na interface do soquete, sinais de corrosão ao longo do pendural, sinais de corrosão do pendural envolta do cabo principal, redução da secção transversal do pendural devido a corrosão.

- **Actividade 3 - Inspeção das selas de desvio:** a inspeção da sela de desvio muitas vezes consiste em identificar qualquer acumulação de detritos na sela de desvio e entre as nervuras de reforço, retenção de humidade, corrosão e queda parafusos na estrutura de suporte e degradação do revestimento.

- **Actividade 4 - Inspeção dos blocos de ancoragem (sistema de ancoragem):** Os blocos de ancoragens são caracterizados por servirem de ancoragem dos cabos principais, por isso merecem especial atenção quanto à verificação de sinais de corrosão e rotura de fios ao longo dos cordões, ruptura de fios ou cordões junto aos soquetes, corrosão da placa de amarração entre os soquetes e a barra de ancoragem, corrosão dos parafusos nas ligações entre os soquetes e as barras de ancoragem, inspeção da secção transversal da barra de ancoragem, lubrificação dos

cordões, infiltração de água e humidade no interior do bloco de ancoragem.

b) Sistema de cabos de pontes atirantadas

- **Actividade 1- Inspeção dos tirantes:** identificar fissuras longitudinais ou transversais excessivas no revestimento, bem como danos nas ligações aos amortecedores ou cabos transversais, se houver, irregularidades no alinhamento dos cabos (ondulação ou curvatura excessiva), mudanças nas elevações do tabuleiro, danos na fita protectora dos tirantes como fissuras e rasgos, danos no revestimento dos tirantes, danos nas conexões entre ancoragem e o tirante, estanqueidade das bainhas, deterioração das bainhas, afrouxamento das abraçadeiras, danos ou deslocamentos dos anéis de vedação, verificação de lacunas entre o anel de vedação e o revestimento, verificação de problemas no interior do revestimento do tubo - guia, verificação de rachaduras ou danos nos tubos – guia ou evidência de impactos nos componentes dos tubos guias, verificação de rotura de cordões e medição das forças nos cabos.

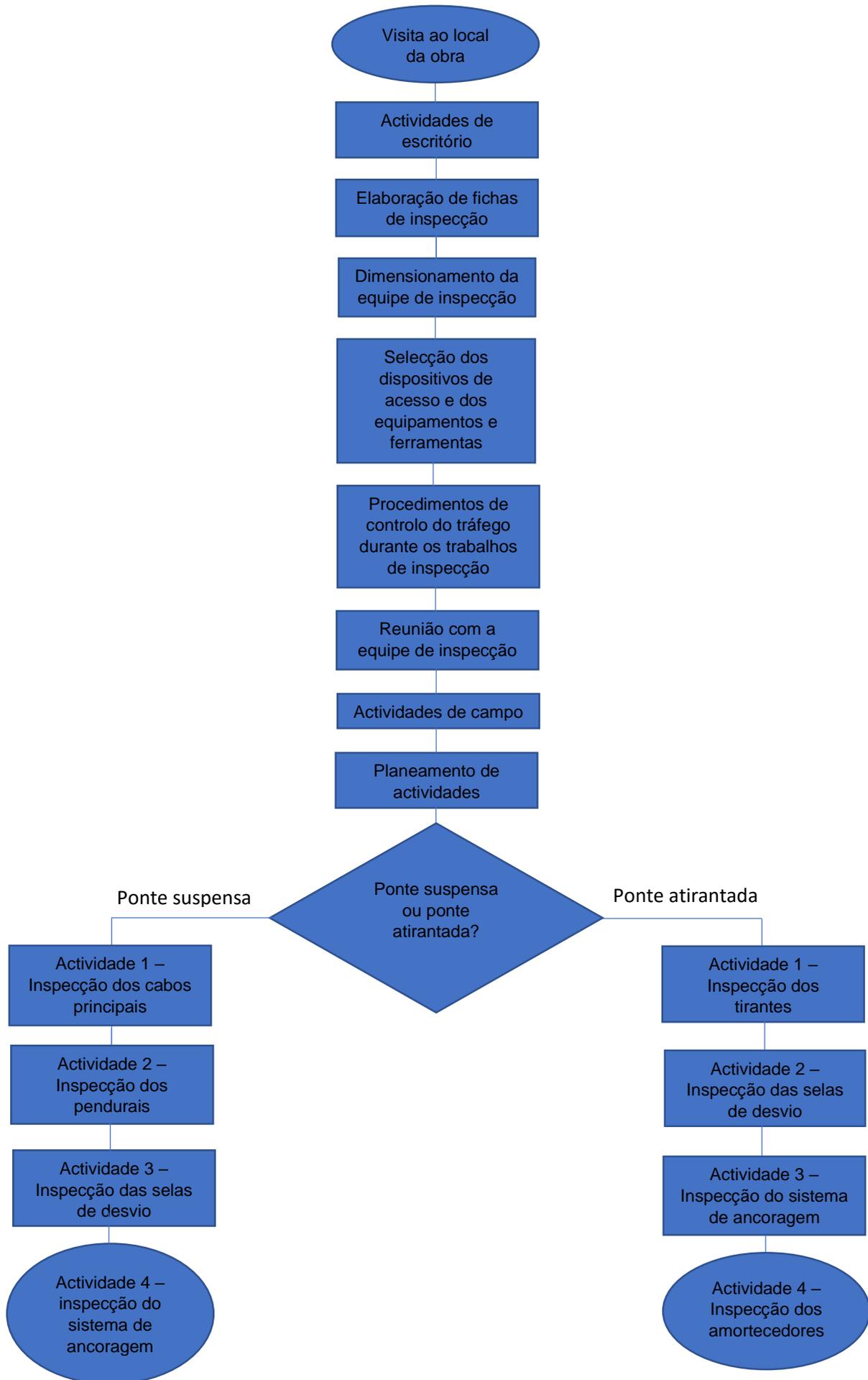
- **Actividade 2 - Inspeção das selas de desvio:** verificar acumulação de detritos, retenção de humidade, danos ou rachaduras e sinais de corrosão.

- **Actividade 3 - Inspeção do sistema de ancoragem:** verificar evidências de humidade ou líquidos saindo dos elementos de ancoragem, sinais de corrosão ou humidade dos dispositivos de ancoragem, sinais de corrosão na superfície dos componentes de ancoragem visíveis, incluindo porcas, tampas e placas de apoio.

- **Actividade 4 – Inspeção dos amortecedores:** verificar a presença de detritos, sinais de rachaduras nos amortecedores, lubrificação dos amortecedores e perda de tensão nas amarras cruzadas, se existirem.

ANEXO 2 – Fluxograma da proposta do guião de inspecção de sistemas de cabos de pontes suportadas por cabos

PROPOSTA DO FLUXOGRAMA DO GUIÃO DE INSPECÇÃO



ANEXO 3 – Proposta de ficha de inspecção cadastral

PROPOSTA DE FICHA DE INSPECÇÃO CADASTRAL

1. DADOS BÁSICOS

IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO/JURISDIÇÃO	Data: ___ / ___ / ___	Hora: _____
OAE: _____ Tipo de Estrutura: _____		
Tempo: _____ Equipe: _____		
Rodovia: _____ Trecho: _____ Localização (km): _____ Cidade Próxima: _____		
ADMINISTRAÇÃO		
<input type="checkbox"/> ANE <input type="checkbox"/> AUTARQUIA <input type="checkbox"/> CONCESSÃO <input type="checkbox"/> OUTROS		
Nome: _____ (Para o caso de concessão/outros)		
PROJECTO/CONSTRUÇÃO		
Projectista: _____ ; Ano de construção: _____		
Empreiteiro: _____ ; Arquivo: _____ ; Classe: _____		
COMPRIMENTO/LARGURA		
Comprimento: _____ m; Largura: _____ m;		

2. DADOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS

CARACTERÍSTICAS PLANI-ALTIMÉTRICAS				
Região:	<input type="checkbox"/> PLANA	<input type="checkbox"/> ONDULADA	<input type="checkbox"/> MONTANHOSA	Greide: Rampa Máxima(%): _____
Traçado:	<input type="checkbox"/> TANGENTE	<input type="checkbox"/> CURVO	Raio: _____ m	Travessia: <input type="checkbox"/> ORTOGONAL <input type="checkbox"/>
CARACTERÍSTICAS DA PISTA				
Larg. Total da pista: _____ m	Pavimento:	<input type="checkbox"/> Asfalto	<input type="checkbox"/> Concreto	Drenos: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Nº de Faixas: _____	Acostamento:	<input type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	Passeio: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Largura do Acostamento: _____ m				Pingadeiras: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
TRÁFEGO				
VMD: _____ veículos/dia				
Frequência de Carga Móvel ≥ 36 tf: <input type="checkbox"/> Alta <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Baixa				
Passagem de cargas excepcionais: <input type="checkbox"/> Frequente <input type="checkbox"/> Esporádica				

3. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE CABOS

TIPO DE PONTE/COMPONENTES DO SISTEMA DE CABOS				
<input type="checkbox"/> Ponte Suspensa	Cabos Principais	<input type="checkbox"/> Ponte Atirantada	Tirantes	
	Pendurais		Sistema de desvio	
	Sela de desvio		Sistema de ancoragem	
	Blocos de ancoragem		Sistema de amortecimento	
CABOS PRINCIPAIS/PENDURAIS				
Elementos de tensionamento:	<input type="checkbox"/> Cordão de fios paralelos	<input type="checkbox"/> Cordão de fios	<input type="checkbox"/> Cabos fechados com núcleos helicoidais anti-torção	<input type="checkbox"/> Cabos fechados com fios zeta
Protecção do cabo principal:	<input type="checkbox"/> Revestimento Elastómerico	<input type="checkbox"/> Método de galvanização	<input type="checkbox"/> Método de desumificação	
Protecção dos pendurais:	<input type="checkbox"/> Revestimento Elastómerico	<input type="checkbox"/> Método de galvanização		
Conexão cabo principal-pendular:	<input type="checkbox"/> Sistema de anel de fixação	<input type="checkbox"/> Sistema de soquete aberto		
SELA DE DESVIO				
Protecção dos cordões do cabo principal:	<input type="checkbox"/> Sela de desvio	<input type="checkbox"/> Método de desumificação		
BLOCOS DE ANCORAGEM				
Protecção dos cordões do cabo principal:	<input type="checkbox"/> Pintura	<input type="checkbox"/> Lubrificação com cera	<input type="checkbox"/> Desumificação ordinária	
Protecção das barras de ancoragem:	<input type="checkbox"/> Pintura	<input type="checkbox"/> Selante epóxi e Massa epóxi	<input type="checkbox"/> Massa de graxa	<input type="checkbox"/> Desumificação ordinária
Protecção dos soquetes:	<input type="checkbox"/> Pintura	<input type="checkbox"/> Massa de graxa	<input type="checkbox"/> Selante epóxi e Massa epóxi	

FICHA DE INSPECÇÃO CADASTRAL

CABOS /TIRANTES

Elementos de tensionamento:	<input type="checkbox"/> Cordão de fios paralelos	<input type="checkbox"/> Cordão de fios	<input type="checkbox"/> Cabos fechados com núcleos helicoidais anti-torção	<input type="checkbox"/> Cabos fechados com fios zeta
Protecção dos Cordões:	<input type="checkbox"/> Protecção individual dos cordões (bainha, cera, fio galvanizado)	<input type="checkbox"/> Protecção individual dos cordões (bainha, cera, revestimento epóxi, fio galvanizado)	<input type="checkbox"/> Protecção colectiva dos cordões (fio galvanizado, material de enchimento)	
Protecção dos Tirantes:	<input type="checkbox"/> Tubo de anti-vandalismo	<input type="checkbox"/> Protecção contra incêndio		

SISTEMA DE DESVIO

Elemento de transição:	<input type="checkbox"/> Sela com tubos individuais	<input type="checkbox"/> Sela de Ancoragem com ranhura e pino de ancoragem	<input type="checkbox"/> Caixa de Ancoragem
Protecção dos cordões:	<input type="checkbox"/> Revestimento epóxi	<input type="checkbox"/> Enchimento com graute	

SISTEMA DE ANCORAGEM

Localização da ancoragem:	<input type="checkbox"/> Em cima do tabuleiro	<input type="checkbox"/> Em baixo do tabuleiro	<input type="checkbox"/> Dentro do tabuleiro
Protecção dos Cordões:	<input type="checkbox"/> Protecção individual dos cordões (bainha, cera, fio galvanizado)	<input type="checkbox"/> Protecção individual dos cordões (bainha, cera, revestimento epóxi, fio galvanizado)	<input type="checkbox"/> Protecção colectiva dos cordões (fio galvanizado, Material de enchimento)

SISTEMA DE AMORTECIMENTO

Sistema de amortecimento:	<input type="checkbox"/> Superfície do cabo	<input type="checkbox"/> Amarras cruzadas	<input type="checkbox"/> Dispositivos de amortecimnto
---------------------------	---	---	---

4. COMPONENTES DO SISTEMA DE CABOS/ESQUEMAS

CABOS PRINCIPAIS/PENDURAIIS/TIRANTES

SISTEMA DE DESVIO

FICHA DE INSPECÇÃO CADASTRAL

SISTEMA DE ANCORAGEM/BLOCO DE ANCORAGEM

SISTEMA DE AMORTECIMENTO

DETALHES ADICIONAIS

ANEXO 4 – Proposta de ficha de inspeção rotineira

OAE: _____ Nome: _____ Localização (km): _____ Cidade Próxima: _____
 Data: _____ Inspeção: ANE: _____ Outra Entidade: _____

SISTEMA DE CABOS DE PONTES ATIRANTADAS

COMENTÁRIOS GERAIS

- a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Mau
- b) Nível de Vibração dos Cabos: Normal Intenso Exagerado
- c) Inspeção Especializada (Realizada por um Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
- Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO

NOTA TÉCNICA

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS: _____

PROPOSTA DE FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA

1. TIRANTES	Nota Técnica: <input type="checkbox"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Identificação de fissuras longitudinais ou transversais excessivas no revestimento, bem como danos nas ligações aos amortecedores ou cabos transversais, se houver	<input type="checkbox"/> Algumas <input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Irregularidades no alinhamento do cabo (ondulação ou curvatura excessiva)	<input type="checkbox"/> Exagerada	_____	_____
Mudanças nas elevações do tabuleiro da ponte atirantada	<input type="checkbox"/> Exagerada	_____	_____
Danos na fita protectora dos tirantes como fissuras e rasgos	<input type="checkbox"/> Alguns <input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Danos no revestimento/bainha dos tirantes	<input type="checkbox"/> Alguns <input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Danos nas conexões entre a ancoragem e o tirante	<input type="checkbox"/> Há <input type="checkbox"/> É iminente	_____	_____
Estanquidade das bainhas/revestimento	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	_____	_____
Deterioração das bainhas/revestimento	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco <input type="checkbox"/> Muito intensa	_____	_____
Afrouxamento das abraçadeiras	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Danos ou deslocamentos dos anéis de vedação	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Lacunas entre o anel de vedação e o revestimento	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Verificação de problemas no interior do revestimento do tubo-guia através de um boroscópio	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Rachaduras ou danos nos tubos - guia ou evidência de impactos nos componentes dos tubos guias	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Verificação de rotura de cordões através do teste ultrassônico ou do método electromagnético	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Medição da força nos cabos através do vibrômetro laser doppler ou célula de carga		_____	_____

3. SELA DE DESVIO	Nota Técnica: <input type="text"/>		Local	Quantidade (Opcional)
Acumulação de detritos na sela de desvio	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Retenção de humidade	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Corrosão dos parafusos da estrutura de suporte	<input type="checkbox"/> Existe	<input type="checkbox"/> É iminente	_____	_____
Queda de parafusos da estrutura de suporte	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Degradação do revestimento da sela de desvio	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____

4. BLOCO DE ANCORAGEM	Nota Técnica: <input type="text"/>		Local	Quantidade (Opcional)
Sinais de corrosão ao longo dos cordões	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Ruptura de cordões	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Corrosão de cordões junto aos soquetes	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Ruptura de cordões junto aos soquetes	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Corrosão da placa de amarração entre os soquetes e a barra ancoragem	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Corrosão dos parafusos nas ligações soquetes - barras de ancoragem	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Redução da secção transversal da barra de ancoragem devido a corrosão	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Lubrificação dos cordões	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco		_____	_____
Infiltração de água e humidade no interior do bloco de ancoragem	<input type="checkbox"/> Existe	<input type="checkbox"/> É iminente	_____	_____

ESQUEMAS/FOTOS COM LOCALIZAÇÃO DO(S) DANO(S)

OAE: _____ Nome: _____ Localização (km): _____ Cidade Próxima: _____
 Data: _____ Inspeção: ANE: _____ Outra Entidade: _____

SISTEMA DE CABOS DE PONTES ATIRANTADAS

COMENTÁRIOS GERAIS

- a) Condições de Estabilidade: Boa Sofrível Precária Condições de Conservação: Boa Regular Sofrível Mau
- b) Nível de Vibração dos Cabos: Normal Intenso Exagerado
- c) Inspeção Especializada (Realizada por um Engenheiro de Estruturas). Necessária? SIM NÃO Urgente? SIM NÃO
- Já houve alguma anteriormente? SIM NÃO

NOTA TÉCNICA

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS: _____

PROPOSTA DE FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA

1. TIRANTES	Nota Técnica: <input type="checkbox"/>	Local	Quantidade (Opcional)
Identificação de fissuras longitudinais ou transversais excessivas no revestimento, bem como danos nas ligações aos amortecedores ou cabos transversais, se houver	<input type="checkbox"/> Algumas <input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Irregularidades no alinhamento do cabo (ondulação ou curvatura excessiva)	<input type="checkbox"/> Exagerada	_____	_____
Mudanças nas elevações do tabuleiro da ponte atirantada	<input type="checkbox"/> Exagerada	_____	_____
Danos na fita protectora dos tirantes como fissuras e rasgos	<input type="checkbox"/> Alguns <input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Danos no revestimento/bainha dos tirantes	<input type="checkbox"/> Alguns <input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Danos nas conexões entre a ancoragem e o tirante	<input type="checkbox"/> Há <input type="checkbox"/> É iminente	_____	_____
Estanquidade das bainhas/revestimento	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	_____	_____
Deterioração das bainhas/revestimento	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco <input type="checkbox"/> Muito intensa	_____	_____
Afrouxamento das abraçadeiras	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Danos ou deslocamentos dos anéis de vedação	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Lacunas entre o anel de vedação e o revestimento	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Verificação de problemas no interior do revestimento do tubo-guia através de um boroscópio	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Rachaduras ou danos nos tubos - guia ou evidência de impactos nos componentes dos tubos guias	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Verificação de rotura de cordões através do teste ultrassônico ou do método electromagnético	<input type="checkbox"/> Há	_____	_____
Medição da força nos cabos através do vibrômetro laser doppler ou célula de carga		_____	_____

2. SELA DE DESVIO		Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Acumulação de detritos	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Retenção de humidade	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Danos ou Rachaduras	<input type="checkbox"/> Existe	<input type="checkbox"/> É iminente	_____	_____
Sinais de corrosão	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____

3. SISTEMA DE ANCORAGEM		Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Evidências de humidade ou líquidos (como a graxa derretida) saindo dos elementos de ancoragem	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Sinais de corrosão ou humidade nos dispositivos de ancoragem	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Sinais de corrosão na superfície dos componentes de ancoragem visíveis, incluindo porcas, tampas e placas de apoio	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____

4. AMORTECEDORES		Nota Técnica:	Local	Quantidade (Opcional)
Presença de detritos	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco	<input type="checkbox"/> Grande incidência	_____	_____
Sinais de rachaduras nos amortecedores	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____
Lubrificação dos amortecedores	<input type="checkbox"/> Ausente/Pouco		_____	_____
Perda de tensão nas amarras cruzadas, se existirem	<input type="checkbox"/> Há		_____	_____

ESQUEMAS/FOTOS COM LOCALIZAÇÃO DO(S) DANO(S)

ANEXO 5 – Instruções para o preenchimento das fichas de inspecção

INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO DAS FICHAS DE INSPECÇÃO

1. FICHA DE INSPECÇÃO CADASTRAL

1.1 Dados básicos

Data: indicar a data de realização da inspecção.

Hora: indicar a hora em que foi realizada a inspecção.

a) Identificação/Localização/Jurisdição

- **OAE:** registrar um nome que caracterize a Obra de Arte Especial a ser inspecionada.
- **Tipo de Estrutura:** indicar o tipo de ponte suportada por cabos, nomeadamente, ponte suspensa ou atirantada.
- **Tempo:** indicar as condições do tempo no momento da inspecção, nomeadamente ensolarado, nublado ou chuvoso. As condições do tempo podem influenciar na precisão das observações feitas durante a inspecção, podendo o inspector se enganar em alguns casos. É aconselhável que as inspecções visuais não sejam feitas em dias chuvosos, de forma que não se tenha impedimentos no acesso à estrutura e na observação correcta e adequada de suas condições.
- **Equipe:** relacionar os nomes dos membros de equipe de inspecção.
- **Rodovia:** indicar o nome da rodovia em que a ponte esta inserida.
- **Trecho:** indicar o trecho da ponte a ser inspecionada.
- **Localização:** no caso de rodovia, indicar o quilometro de localização da ponte.
- **Cidade Próxima:** indicar o nome da cidade mais próxima onde a ponte encontra-se localizada.

b) Administração

- **Administração:** indicar a entidade ou instituição responsável pela manutenção da ponte. ANE, se a ponte estiver inserida numa estrada

nacional. Autarquia, se a ponte estiver inserida numa estrada sob tutela autárquica. Concessão, caso a ponte esteja sobre responsabilidade de uma empresa privada nacional ou estrangeira. Outros, para outros casos diferentes dos já mencionados.

- **Nome:** indicar o nome da empresa responsável pela ponte, para casos de concessão ou outros casos.

c) Projecto/Construção

- **Projectista:** Indicar o nome do projectista ou da empresa responsável pelo projecto.
- **Ano de construção:** indicar o ano de construção da ponte.
- **Empreiteiro:** indicar o nome da empresa responsável pela construção da ponte.
- **Arquivo:** caso exista, deve-se indicar a localização e o arquivo do projecto.
- **Classe:** indicar a classe da ponte.

d) Comprimento/largura

- **Comprimento:** indicar o comprimento total da ponte.
- **Largura:** indicar a largura total da ponte.

1.2 Dados sobre Características funcionais

- **Região:** indicar a característica da região (plana, ondulada ou montanhosa).
- **Greide:** indicar a rampa máxima (%).
- **Traçado:** indicar o traçado da pista (tangente ou curvo).
- **Raio:** indicar o raio da pista, se houver.
- **Travessia:** indicar o tipo de travessia (ortogonal ou esconsa).

b) Características da via

- **Larg. Total da pista:** indicar a largura total da pista ou via de circulação.
- **Nº de faixas:** Indicar o número de faixas da pista.

- **Acostamento:** assinalar SIM, caso existam acostamentos, NÃO, caso não existam.
- **Largura do Acostamento:** indicar a largura do acostamento, caso exista.
- **Pavimento:** indicar o tipo de pavimento utilizado na ponte.
- **Drenos:** assinalar SIM, caso existam, NÃO, caso não existam drenos na ponte.
- **Passeio:** assinalar SIM, caso exista, NÃO, caso não exista passeio na ponte.
- **Pingadeiras:** assinalar SIM, caso existam, NÃO, caso não existam pingadeiras na ponte.

c) Tráfego

- **VMD:** indicar o volume médio diário de veículos que atravessam pela ponte diariamente.
- **Frequência de tráfego de classe I** (tráfego maioritariamente constituído por veículos pesados ou de carácter industrial): Indicar a frequência de veículos pesados ou de carácter industrial.
- **Passagem de carga excepcionais:** indicar se a passagem de veículos excepcionais pela ponte é frequente ou exagerada.

1.3 Características do sistema de cabos

- **Tipo de ponte:** indicar o tipo de ponte a ser inspeccionada (Ponte suspensa ou atirantada).

1.3.1 Ponte suspensa

a) Cabos principais/ pendurais

- **Elementos de tensionamento:** indicar o tipo de cabo aplicado no cabo principal e pendurais da ponte a ser inspeccionada.
- **Protecção do cabo principal:** indicar o(s) método(s) de protecção aplicado(s) para proteger os cordões do cabo principal.
- **Protecção dos pendurais:** indicar o(s) método(s) de protecção usado(s) para proteger os fios ou cordões dos pendurais.

- **Conexão cabo principal - pendural:** indicar o modo de conexão entre o cabo principal e os pendurais.

b) Sela de desvio

- **Protecção dos cordões do cabo principal:** indicar o método de protecção usado para proteger os cordões do cabo principal na zona de desvio.

c) Blocos de Ancoragem (sistema de ancoragem)

- **Protecção dos cordões do cabo principal:** indicar o tipo protecção dos cordões do cabo principal no interior do bloco ancoragem.
- **Protecção das barras de ancoragem:** indicar o tipo protecção usado para proteger a barra de ancoragem.
- **Protecção dos soquetes:** indicar o método de protecção usado para proteger os soquetes no interior do bloco ancoragem.

1.3.2 Pontes Atirantadas

a) Cabos/Tirantes

- **Elementos de tensionamento:** indicar o tipo de cabo usado nos tirantes.
- **Protecção dos cordões:** indicar o tipo de protecção aplicado para proteger os cordões dos tirantes.
- **Protecção dos tirantes:** indicar se existe algum tipo de protecção dos tirantes contra vandalismo ou incêndio.

b) Sistema de desvio

- **Elementos de transição:** indicar o método usado para transmissão dos esforços do tabuleiro para torre (sela com tubos individuais, sela de ancoragem com ranhura ou o sistema de caixa de ancoragem)
- **Protecção dos cordões:** indicar o método usado para protecção dos cordões na zona de desvio (cordões revestidos de epóxi, cordões preenchidos com graute).

c) Sistema de ancoragem

- **Localização da ancoragem:** indicar a localização da ancoragem no tabuleiro (em cima, em baixo ou dentro do tabuleiro).
- **Protecção dos cordões:** indicar o método de protecção dos cordões no interior do sistema de ancoragem (protecção individual ou colectiva dos cordões).

d) Sistema de amortecimento

- **Sistema de amortecimento:** indicar o método de protecção dos cabos contra vibrações causadas pelo vento (nervuras helicoidais na superfície dos cabos, amarras cruzadas ou dispositivos de amortecimento).

1.4 Componentes do sistema de cabos/esquemas

- **Cabos principais/ Pendurais/ Tirantes:** tirar foto(s) ou apresentar um esquema do cabo principal e dos pendurais.
- **Sistema de desvio:** tirar foto(s) ou apresentar um esquema do sistema de desvio.
- **Sistema de ancoragem/ Bloco de ancoragem:** tirar foto(s) ou apresentar um esquema do sistema de ancoragem.
- **Sistema de amortecimento:** tirar fotos ou apresentar um esquema do sistema de amortecimento dos cabos.
- **Detalhes adicionais:** tirar fotos ou apresentar os esquemas adicionais pertinentes para inspecção do sistema de cabos.

Nota: Os esquemas podem ser substituídos por fotos representativas que ilustrem as características do elemento em análise. Por meio de edição gráfica das fotos, os elementos pertinentes podem ser indicados.

2. FICHA DE INSPECÇÃO ROTINEIRA

2.1 Sistema de Cabos de Pontes Suspensas

a) Comentários Gerais

- **Condições de Estabilidade:** indicar as condições de estabilidade do sistema de cabos.
- **Condições de Conservação:** indicar as condições de conservação do sistema de cabos.
- **Nível de Vibração dos Cabos:** com ajuda de um vibrômetro laser doppler, indicar o nível de vibração dos cabos.
- **Inspeção Especializada:** indicar se é necessária, urgente e se o sistema de cabos já foi inspecionado por um especialista de estruturas anteriormente.
- **Observações adicionais:** indicar detalhes adicionais observados no sistema de cabos, que pode ajudar na inspeção do sistema de pontes suspensas.
- **Nota técnica:** Depois de preenchidas todas as alíneas, recorre-se a tabela indicada do Anexo 6 e atribui-se a nota técnica.

b) Cabos principais

- **Local:** indicar o local ou locais de incidência da anomalia.
- **Quantidade:** indicar a quantidade de pontos com incidência da anomalia em análise.
- **Degradação do revestimento do cabo principal:** verificar sinais de degradação no revestimento do cabo principal. Caso exista, deve - se indicar e quantificar as zonas identificadas.
- **Sinais de produtos de corrosão escorrendo ao longo do cabo principal:** verificar a incidência de produtos de corrosão ao longo do cabo principal. Caso existam, indicar e quantificar as zonas de origem.
- **Perfuração do revestimento do cabo principal face a infiltração:** verificar a existência ou iminência de perfuração no cabo principal. Caso existam, indicar e quantificar as zonas perfuradas.

- **Surgimento de escamas no revestimento:** verificar a incidência de escamas no revestimento. Caso existam, indicar e quantificar as zonas com incidência de escamas.
- **Sistema de controlo de humidade:** verificar a condição do sistema de controlo de humidade. Caso esteja deficiente, indicar e quantificar as zonas danificadas.
- **Calafetagem nas ligações entre os pendurais e o cabo principal:** Verificar se a ligação entre os pendurais e o cabo principal esta devidamente protegida ou calafetada. Caso haja falta de calafetagem, deve-se indicar e quantificar as zonas danificadas.
- **Perda de tensão dos parafusos que ligam os anéis de fixação ou soquetes:** verificar a perda tensão dos parafusos por meio de uma chave de torque hidráulica e um extensómetro. Caso se verifique a perda de tensão, os parafusos tem de ser indicados e quantificados.
- **Queda de parafusos dos anéis de fixação (Bandas de cabo principal) ou soquete aberto:** verificar se existem perdas de parafusos nos anéis de fixação ou soquete aberto. Caso existam, deve-se indicar e quantificar o número de parafusos perdidos em cada anel de fixação identificado.
- **Nota técnica:** Depois de preenchidas todas as alíneas, recorre-se a tabela indicada do Anexo 6 e atribui-se a nota técnica.

c) Pendurais

- **Calafetagem nas ligações entre o tabuleiro e os pendurais:** Verificar se as ligações entre os pendurais e o tabuleiro estão devidamente protegidas ou calafetadas. Caso haja falta de calafetagem numas das ligações, deve-se indicar e quantificar os pendurais não calafetados.
- **Queda de parafusos nas ligações entre o tabuleiro e os pendurais:** Verificar se existem quedas de parafusos nas ligações entre os pendurais e o tabuleiro. Caso haja, deve-se indicar e quantificar as ligações com falta de parafusos.
- **Desgaste da pintura ou revestimento do pendural:** Verificar se há desgaste do revestimento ao longo do pendural (desde o tabuleiro até ao

cabo principal), caso se verifique, deve-se indicar e quantificar os pontos desgastados.

- **Ruptura de fios ao longo do pendural:** verificar se existe ruptura de fios ao longo pendural (desde o tabuleiro até ao cabo principal), caso haja, deve-se indicar e quantificar os fios rompidos.
- **Ruptura de fios do pendural envolta do cabo principal:** verificar a existência de ruptura de fios do pendural envolta do cabo principal. Caso exista, deve indicar e quantificar os pendurais com fios rompidos.
- **Ruptura de fios na interface do soquete:** verificar se existem rupturas de fios na interface do soquete, caso haja, deve-se indicar e quantificar os pendurais com fios rompidos.
- **Sinais de corrosão na interface do soquete:** verificar a incidência de corrosão na interface do soquete, caso haja, deve-se indicar e quantificar os pendurais com interface de soquetes corroídos.
- **Sinais de corrosão ao longo do pendural:** verificar a incidência de corrosão ao longo do pendural, caso haja, deve-se indicar e quantificar os pontos identificados.
- **Sinais de corrosão do pendural envolta do cabo principal:** verificar a incidência de corrosão do pendural envolta do cabo principal. Caso exista, deve-se indicar e quantificar os pendurais identificados.
- **Redução da secção transversal do pendural devido a corrosão:** Por meio do método de magnetostrição, verificar a existência ou não da redução da área transversal do pendural devido a corrosão. Caso haja, deve-se indicar e quantificar os pendurais identificados.
- **Nota técnica:** já esta indicado acima.

d) Sela de desvio

- **Acumulação de detritos na sela de desvio:** verificar acumulação de detritos na sela de desvio e entre as nervuras de reforço.
- **Retenção de humidade:** verificar a retenção de humidade na sela de desvio.
- **Corrosão dos parafusos da estrutura de suporte:** verificar a incidência de corrosão de parafusos. Caso exista, deve-se indicar e quantificar.

- **Queda de parafusos da estrutura de suporte:** verificar a queda de parafusos na estrutura de suporte. Caso exista, deve-se indicar e quantificar.
- **Degradação da sela de desvio:** verificar sinais de fissuras e corrosão na sela de desvio. Caso existam fissuras, devem ser medidas através de um fissurômetro e quantifica-las. Os sinais de corrosão também devem ser devidamente indicados e quantificados.
- **Nota técnica:** já está indicado acima.

e) Bloco de ancoragem (Sistema de ancoragem)

- **Sinais de corrosão ao longo dos cordões:** verificar sinais de corrosão dos cordões no interior do bloco de ancoragem. Caso exista, deve-se indicar e quantificar o número de cordões identificados.
- **Ruptura de cordões:** verificar a existência de cordões rompidos no cabo principal no interior do bloco de ancoragem. Caso exista, deve-se indicar e quantificar o número de fios ou cordões rompidos.
- **Corrosão de cordões junto aos soquetes:** verificar sinais de corrosão de cordões junto aos soquetes. Caso haja, deve-se indicar e quantificar os cordões identificados.
- **Ruptura de cordões junto aos soquetes:** verificar a existência ou não de ruptura de cordões junto aos soquetes. Caso haja, deve-se indicar e quantificar os cordões identificados.
- **Corrosão da placa de amarração entre os soquetes e a barra de ancoragem:** verificar sinais de corrosão na placa de amarração entre os soquetes e a barra de ancoragem. Caso exista, deve-se indicar as zonas identificadas.
- **Corrosão dos parafusos nas ligações soquetes – barras de ancoragem:** verificar sinais de corrosão de parafusos nas ligações entre os soquetes e as barras de ancoragem. Caso haja, deve-se indicar e quantificar os parafusos corroídos.
- **Redução da secção transversal da barra de ancoragem devido a corrosão:** verificar a redução da secção transversal das barras de ancoragem. Para facilitar a análise pode-se recorrer a instrumentos de

limpeza como escovas e palhas - de - aço, assim como instrumentos para melhoria da visão como binóculo, luneta, lente com iluminação, espelho de inspecção e lanterna.

- **Lubrificação dos cordões:** verificar a lubrificação dos cordões. Caso não haja, deve-se indicar as zonas não lubrificadas.
 - **Infiltração da água e humidade no interior do bloco de ancoragem:** verificar sinais de infiltração e humidade nas paredes internas do bloco de ancoragem. Caso exista deve indicar a zona com infiltração.
 - **Nota técnica:** já esta indicado acima.
- f) **Esquemas / Fotos com localização do(s) dano(s):** Tirar fotos de todas anomalias observadas durante a inspecção e através da digitalização indicar todos detalhes considerados pertinentes. Não há um número mínimo de fotos a serem registradas, mas aconselha-se que seja um número suficiente e significativo que permita o devido acompanhamento e conhecimento do desenvolvimento do estado de conservação do elemento em causa, principalmente no caso desse acompanhamento ser realizado por diferentes profissionais ao longo do tempo.

Note que diferente do que acontece em pontes atirantadas, na inspecção dos pontos altos do sistema de cabos (cabos principais, zonas de conexão entre o pendurais e o cabo principal, sela de desvio) são realizados caminhando por cima do principal.

2.2 Sistema de Cabos de Pontes Atirantadas

a) Comentários Gerais

- **Condições de Estabilidade:** já esta indicado acima.
- **Condições de Conservação:** já esta indicado acima.
- **Nível de Vibração dos Cabos:** já esta indicado acima.
- **Inspecção Especializada:** já esta indicado acima.
- **Observações adicionais:** já esta indicado acima.
- **Nota Técnica:** já esta indicado acima.

b) Tirantes

- **Identificação de fissuras longitudinais ou excessivas no revestimento, bem como danos nas ligações aos amortecedores ou cabos transversais, se houver:** Deve -se realizar uma inspeção visual com vista verificar a incidência de fissuras no revestimento dos tirantes longitudinais ou transversais. Caso existam, deve-se indicar o local e a quantidade de fissuras identificadas.
- **Irregularidades no alinhamento do cabo (ondulação ou curvatura excessiva):** com ajuda de um vibrômetro laser deve-se verificar irregularidades no alinhamento do cabo ou curvatura excessiva dos tirantes. Caso se verifique, deve-se indicar o tirante defeituoso.
- **Mudanças nas elevações do tabuleiro:** verificar a existência de elevações ao longo do tabuleiro. Caso exista, deve-se indicar trecho do tabuleiro defeituoso.
- **Danos na fita protectora dos tirantes como fissuras e rasgos:** verificar a existência de fissuras e rasgos na fita protectora, caso exista. Caso existam danos, deve-se indicar e quantificar as zonas danificadas.
- **Danos no revestimento/bainha dos tirantes:** verificar a existência de fissuras e rasgos no revestimento. Caso existam danos, deve-se indicar e quantificar.
- **Danos nas conexões entre a ancoragem e o tirante:** verificar a existência de danos na interface entre a ancoragem e o tirante. Caso exista, deve-se indicar e quantificar.
- **Estanquidade das bainhas/revestimento:** verificar sinais de infiltração de água para interior da bainha. Caso exista, deve-se indicar e quantificar todos pontos de infiltração.
- **Deterioração das bainhas/revestimento:** verificar sinais de deterioração das bainhas, como perfurações, ferrugem e outros líquidos escorrendo pela bainha. Caso existam, deve-se indicar e quantificar todos pontos de infiltração.
- **Afrouxamento das abraçadeiras:** através de uma chave de torque, deve -se verificar a perda tensão dos parafusos das abraçadeiras das amarras

cruzadas ou dos amortecedores, caso existam. Todos parafusos com perda de tensão devem ser devidamente identificados e quantificados.

- **Danos ou deslocamentos dos anéis de vedação:** verificar a existência de danos ou deslocamentos nos anéis de vedação das bainhas e ancoragens. Caso existam, os anéis das bainhas e ancoragens devem ser indicados e quantificados.
- **Verificação de problemas no interior do tubo guia:** verificar a existência de danos no interior do tubo guia. Esta verificação pode ser realizada recorrendo-se um boroscópio. Caso se observe alguma anomalia, o tubo guia deve ser devidamente identificado.
- **Rachaduras ou danos nos tubos - guia ou evidência de impactos nos componentes dos tubos guias:** na parte exterior do tubo guia, deve-se verificar sinais de rachaduras, impactos e corrosão. Caso exista, o(s) tubo(s) guia em causa, deve(m) ser devidamente identificado(s).
- **Verificação da rotura de cordões:** os cordões no interior das bainhas devem ser devidamente inspecionados através do equipamento do teste ultrassónico ou do equipamento de teste electromagnético. Caso existam roturas, deve-se indicar e quantificar os cordões ou fios rompidos.
- **Medição da força nos cabos:** verificar a força nos cabos através do vibrômetro laser doopler ou células de carga, se existirem.
- **Nota Técnica:** já esta indicado acima.

c) Sela de desvio

- **Acumulação de detritos:** verificar acumulação de detritos na sela de desvio. Pode-se usar instrumentos como binóculo e luneta, para facilitar a identificação.
- **Retenção de humidade:** verificar a retenção de humidade na sela de desvio. Pode usar instrumentos como escova, palha de aço para facilitar na identificação.
- **Danos ou fissuras:** verificar a existência de danos ou rachaduras na sela de desvio. Assim que identificadas as fissuras, devem ser indicas e quantificadas. Para melhor a visão pode recorrer a um binóculo e luneta.

Pode - se recorrer também a um fissurômetro para medição da largura da fissura.

- **Sinais de corrosão:** verificar sinais de corrosão na sela de desvio. Caso existam, devem - se indicar as zonas identificadas. Para facilitar a identificação pode-se recorrer a instrumentos como escova e palhas - de - aço.
- **Nota Técnica:** já esta indicado acima.

d) Sistemas de ancoragem

- **Evidência de humidade ou líquidos (como graxa derretida) saindo dos elementos de ancoragem:** verificar sinais de humidade ou líquidos saindo pelas ancoragens. Caso existam, os pontos de origem devem ser devidamente indicados e quantificados.
- **Sinais de corrosão ou humidade nos dispositivos de ancoragem:** verificar em cada ancoragem sinais de corrosão ou humidade nos dispositivos de ancoragem. Caso existam, a ancoragem e os dispositivos devem ser indicados e quantificados.
- **Sinais de corrosão na superfície dos componentes de ancoragem visíveis incluindo porcas, tampas e placa de apoio:** verificar sinais de corrosão na superfície dos componentes de ancoragem. Caso existam, as ancoragens e os seus componentes devem ser devidamente indicados e quantificados.
- **Nota Técnica:** já esta indicado acima.

e) Amortecedores

- **Presença de detritos:** verificar a presença de detritos nos amortecedores. Caso existam, os amortecedores identificados, devem ser indicados e quantificados.
- **Sinais de fissuras nos amortecedores:** verificar a existência de fissuras nos amortecedores. Caso existam, devem ser indicados e quantificados
- **Lubrificação dos amortecedores:** verificar o estado de lubrificação dos amortecedores. Caso sejam identificados amortecedores mal lubrificados, devem-se ser indicados e quantificados.

- **Perda de tensão nas amarras cruzadas, se existirem:** verificar sinais de perda de tensão nas amarras cruzadas.
- **Esquema ou fotos com localização dos danos:** Tirar fotos de todas anomalias observadas durante a inspeção e através da digitalização indicar todos detalhes considerados pertinentes. Não há um número mínimo de fotos a serem registradas, mas aconselha-se que seja um número suficiente e significativo que permita o devido acompanhamento e conhecimento do desenvolvimento do estado de conservação do elemento em causa, principalmente no caso de esse acompanhamento ser realizado por diferentes profissionais ao longo do tempo.

Note que nos pontos mais altos de ou difícil acesso (sistema de ancoragem abaixo do tabuleiro, sistema de desvio, zonas dos tirantes onde não é possível ter acesso através do tabuleiro) geralmente são usados os camiões tipo Munck para continuar com os trabalhos de inspeção.

- **Nota Técnica:** já esta indicado acima.

f) Esquemas / Fotos com localização do(s) dano(s): já esta indicado acima.

ANEXO 6 – Instruções para atribuição da nota técnica

INSTRUÇÕES PARA ATRIBUIÇÃO DA NOTA TÉCNICA

NOTA	DANOS NO ELEMENTO/ INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	ACÇÃO CORRECTIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE
5	Não há danos nem insuficiência estrutural.	Nada a fazer.	Boa	Elemento sem problemas
4	Há danos no elemento, mas não há sinais que estejam gerando insuficiência estrutural.	Nada a fazer apenas serviços de manutenção.	Boa	Elemento sem problemas importantes
3	Há danos gerando insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade do ponte.	A recuperação do elemento pode ser postergada, devendo-se porém neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática.	Boa aparentemente	Elemento potencialmente problemático Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras, para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural.
2	Há danos no elemento gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação do elemento deve ser feita curto prazo.	Sofrível	Elemento problemático Postergar demais a recuperação do elemento pode levá-lo a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da ponte. Inspeções intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos no elemento gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação ou em alguns casos, substituição do elemento deve ser feita sem tardar.	Precária	Elemento crítico Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação do elemento ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações.