



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil

Aparelhos de Apoio em Pontes

Vida Útil e Procedimentos de Substituição

João Gonçalo Paulo Cordeiro
(Licenciado em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
Perfil de Estruturas

Orientador: Doutor, Luciano Alberto do Carmo Jacinto
Prof. Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Coorientador: Mestre, João Miguel Marques Cavaco
Engenheiro Civil – Empresa Freyssinet

Júri:

Presidente:
Mestre Cristina Ferreira Xavier de Brito Machado

Vogais:
Doutor Luciano Alberto do Carmo Jacinto
Mestre João Carlos dos Santos Barata

16 de Dezembro de 2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Eng^o. Luciano Jacinto, que desde logo aceitou ser meu orientador. Toda a sua dedicação, disponibilidade, conselhos e ensinamentos foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, sempre com boa disposição.

À Freyssinet, em especial ao Eng^o. João Cavaco pelo papel fundamental que desempenhou neste trabalho, tanto a nível profissional como pessoal.

Agradeço também a todos os meus amigos que me acompanharam ao longo de todo este percurso, nos bons e nos maus momentos, especialmente ao André Osório, Joel Pereira, Filipe Coimbra e Fábio Alves.

Por fim agradeço a toda a minha família por me ter apoiado durante estes cinco anos de faculdade. Aos meus pais, um especial agradecimento por todo o esforço que realizaram para que conseguisse atingir os meus objetivos. À minha namorada, Alexandra com a qual partilhei todos os desafios que surgiram ao longo desta vida académica.

Aparelhos de Apoio em Pontes

Vida Útil e Procedimentos de Substituição

Resumo

Palavras – Chave: Aparelhos de Apoio / Vida Útil / Pot-Bearings / Aparelhos de Apoio Elastoméricos / Ponte / Substituição / Anomalias / Obra de Arte

O movimento é um elemento inevitável quando se aborda o tema das estruturas, principalmente em pontes. De modo a suportar os movimentos e assegurar a transmissão de cargas foram implementados os Aparelhos de Apoio (AA). Apesar do avanço tecnológico que estes sistemas têm sofrido, a sua vida útil é ainda inferior à vida útil das pontes.

Neste trabalho são apresentados os diferentes tipos de aparelhos de apoio existentes atualmente no mercado e em utilização. Apesar de alguns já se encontrarem em desuso, ainda existem algumas obras mais antigas onde estes sistemas estão em funcionamento.

São também identificadas as anomalias existentes nos Aparelhos de Apoio, onde é realizada uma análise estatística que possibilita uma visualização mais detalhada das anomalias que interferem nos diversos tipos de aparelhos de apoio. Este estudo possibilita, para cada tipo de aparelho de apoio, a identificação da causa mais provável da anomalia de forma mais rápida e eficaz.

Para além desta análise apresenta-se ainda uma estimativa da vida média útil de cada tipo de aparelho de apoio.

São descritos os procedimentos de inspeção, ensaio e substituição de Aparelhos de Apoio, onde são apresentados os principais parâmetros a verificar quando um aparelho de apoio demonstra alguma debilidade.

Os procedimentos de substituição são complementados pela análise de dois casos práticos, através da empresa Freyssinet.

Bridge Bearings

Life Cycle and Replacement Procedure

Abstract

Keywords: Bridge Bearings / Life Cycle / Pot-Bearings / Elastomeric Bearings / Bridge / Replacement / Anomaly / Work of Art

The movement is an inevitable element when discussing the topic of structures, primarily bridges. In order to support the movements and ensure the transmission of loads, bearings have been implemented. Despite the technological advancement that these systems have suffered, their working life is still lower than the working life of the bridge itself.

This paper presents the different types of bearing devices currently available on the market and in use. Although some are already in disrepair, there still are some older in operation.

Anomalies in bearings, are identified and a statistical analysis are performed, which enables a more detailed view of the anomalies that interfere in various types of bearings. This study allows, for each type of bearing, finding the most likely cause of the anomaly more quickly and effectively.

Apart from this analysis, it also gives an estimate of the average working life of each type of bearing.

Procedures concerning inspection, testing and replacement of bearings are presented, which shows the main parameters to be checked when a bearing demonstrates some weakness.

Replacement procedures are complemented by the analysis of two case studies, with the support of the Freyssinet Company.

Lista de Abreviaturas

AA – Aparelhos de Apoio

OA – Obra de Arte

VU – Vida Útil

PTFE – Politetrafluoretileno

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1 Introdução..... | 1 |
| 1.1 Enquadramento ----- | 1 |
| 1.2 Objetivos do Trabalho ----- | 3 |
| 1.3 Organização da Dissertação ----- | 4 |
| 2 Tipologia | 5 |
| 2.1 Breve Revisão Histórica----- | 6 |
| 2.2 Simbologia----- | 9 |
| 2.3 Tipos de Aparelhos de Apoio ----- | 14 |
| 2.3.1 Articulações de Betão..... | 14 |
| 2.3.2 Aparelhos de Apoio Metálicos | 17 |
| 2.3.3 Aparelhos de Apoio Elastoméricos | 25 |
| 2.3.4 Pot-Bearings (Panela)..... | 28 |
| 2.3.5 Aparelhos de Apoio de Chumbo | 31 |
| 2.3.6 Aparelhos de Apoio de Isolamento Sísmico | 32 |
| 2.3.7 Aparelhos de Apoio de Tração | 33 |
| 2.4 Causas dos movimentos ----- | 34 |
| 2.4.1 Quantificação das Ações..... | 34 |
| 2.4.2 Cargas transmitidas a cada tipo de AA | 36 |
| 3 Vida Útil – Principais Anomalias..... | 39 |
| 3.1 Introdução ----- | 39 |
| 3.2 Fabricação, Transporte, Instalação, Funcionamento e Manutenção ----- | 40 |
| 3.2.1 Fabricação..... | 40 |
| 3.2.2 Transporte..... | 40 |
| 3.2.3 Armazenamento | 40 |
| 3.2.4 Instalação..... | 41 |
| 3.2.5 Funcionamento | 45 |
| 3.2.6 Controlo/Manutenção | 45 |
| 3.3 Anomalias por Tipo de Aparelho de Apoio----- | 47 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.4 | Reparação e Conservação de Aparelhos de Apoio ----- | 52 |
| 3.5 | Definição de Vida Útil ----- | 55 |
| 3.6 | Análise de Dados----- | 58 |
| 3.6.1 | Frequência de anomalias..... | 58 |
| 3.6.2 | Idade Média | 59 |
| 3.6.3 | Relação “Anomalia/Tipo de Aparelho de Apoio” | 60 |
| 3.6.4 | Relação “Anomalia por AA/Número total dessa Anomalia”..... | 67 |
| 3.6.5 | Conclusões..... | 72 |
| 3.6.6 | Pontuação vs. Vida Útil | 75 |
| 4 | Procedimentos de Inspeção, Ensaio e Substituição | 77 |
| 4.1 | Inspeções e Ensaios----- | 77 |
| 4.2 | Procedimento de Substituição.----- | 82 |
| 4.2.1 | Processo de Levantamento do Tabuleiro e Substituição | 82 |
| 4.2.2 | Tipos de Macacos Hidráulicos..... | 85 |
| 4.2.3 | Inconvenientes/obstáculos | 86 |
| 5 | Casos Práticos | 89 |
| 5.1 | Caso de Estudo 1: Reparação de Aparelho de Apoio na PS26 no Sublanço Fogueteiro-Coina na A2 Auto-Estrada do Sul.----- | 89 |
| 5.2 | Caso de Estudo 2: Ponte Sobre o Rio Douro: Intervenção nos Aparelhos de Apoio GL 57500 e GG57500 - Tabuleiro direito - Pilar 5.----- | 95 |
| | Procedimento de levantamento do tabuleiro----- | 98 |
| 6 | Conclusões..... | 101 |
| 6.1 | Conclusões Finais ----- | 101 |
| 6.2 | Desenvolvimentos Futuros ----- | 103 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Exemplo de um sistema de Elevação para a substituição de AA ----- | 2 |
| Figura 2 - Southwark Bridge http://www.southwarkbridge.co.uk/history/old-Southwark-bridge.htm , 009) ----- | 7 |
| Figura 3 – Articulação de Betão Freyssinet (Lee, 1994) ----- | 15 |
| Figura 4 – Articulações de Betão Mesnager (Lee, 1994)----- | 15 |
| Figura 5 – Articulações de Sela (Lee, 1994) ----- | 16 |
| Figura 6 – Articulações Deslizantes (Lee, 1994)----- | 16 |
| Figura 7 - Articulações Triplas (Lee, 1994) ----- | 16 |
| Figura 8 - Exemplos de AA tipo Rolo ou Roletes (Lee, 1994)----- | 17 |
| Figura 9 - AA de Rolos ou Roletes (Lee, 1994)----- | 17 |
| Figura 10 - Relação entre pressão Hertz, dureza e resistência à tração (Lee, 1994) ----- | 18 |
| Figura 11 - AA tipo Pêndulo ou Oscilante complementando os AA de Rolo ----- | 19 |
| Figura 12 – Exemplo de aplicação de AA tipo Articulação Metálica (Bradfield, 1931) ----- | 20 |
| Figura 13 – Exemplo de AA tipo Cavilha “Pin” (Mendes, Puga, & Alves, 2010) ----- | 21 |
| Figura 14 - Exemplo de AA deslizante (Rubber Bearing)----- | 22 |
| Figura 15 - Exemplo de AA Esférico (Mageba)----- | 23 |
| Figura 16 - Exemplo de AA linear (Mageba)----- | 24 |
| Figura 17 - AA elastomérico Oco, Circular e Rectangular (gadabinausaha) ----- | 25 |
| Figura 18 - Curvas Força-Deformação típicas de borracha vulcanizada e não vulcanizada (Guerreiro, 2003) ----- | 25 |
| Figura 19 - Diagramas de Esforços (Compressão, Rotação e Deformação Horizontal) adaptado de (Freyssinet, Elastomeric Bearings, 2006) ----- | 26 |
| Figura 20 - Exemplo de AA de Neoprene Cintado (LR Elastomeric Bearing) --- | 26 |
| Figura 21 - AA simples de Neoprene Cintado (Tipo1) (Freyssinet, Elastomeric Bearings, 2006) ----- | 27 |
| Figura 22 - AA simples de Neoprene Cintado (Tipo2) (Freyssinet, Elastomeric Bearings, 2006) ----- | 27 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 - Tipos de AA de Neoprene Cintado com Superfícies de Deslizamento (Freysinet, Elastomeric Bearings, 2006) ----- | 28 |
| Figura 24 - AA tipo Painela - Fixo (Jacinto, 2004) ----- | 29 |
| Figura 25 - AA tipo Painela - Unidirecional (Jacinto, 2004) ----- | 30 |
| Figura 26 - AA tipo Painela – Multidirecional (Jacinto, 2004)----- | 30 |
| Figura 27 - AA com isolamento sísmico tipo Neoprene Cintado ----- | 32 |
| Figura 28 - Exemplos de AA Sísmicos em Neoprene Cintado ----- | 32 |
| Figura 29 - AA tipo Painela com dispositivo de proteção sísmica (Freysinet, Tetron CD - Mechanical Pot-Bearings, 2010) ----- | 33 |
| Figura 30 - Exemplo de AA de tração----- | 33 |
| Figura 31 - Exemplo de Redução de Atrito (Jacinto, 2004) ----- | 34 |
| Figura 32 - Local de instalação dos AA----- | 41 |
| Figura 33 – Assentamento de AA em superfícies horizontais (Jacinto, 2004) --- | 43 |
| Figura 34 – Inclinação no Plano Horizontal (Caso 1) Inclinação no Plano Inclinado (Caso 2) (Jacinto, 2004) ----- | 43 |
| Figura 35 - Excentricidade Inicial (Jacinto, 2004)----- | 44 |
| Figura 36 – Aparelho de Apoio Neoprene (Bruneau, Anagnostopoulou, & Palermo[3], 2010)----- | 47 |
| Figura 37 – AA tipo Painela (Pot Bearing) (Mageba) ----- | 48 |
| Figura 38 - AA de Roletes ou Rolos (RW Sollinger Hütte) ----- | 49 |
| Figura 39 – AA tipo Pêndulo (Vaidya)----- | 50 |
| Figura 40 – AA linear guiado (industry)----- | 50 |
| Figura 41 – AA Esférico (USA) ----- | 51 |
| Figura 42 – Percentagem de cada tipo de anomalia ----- | 58 |
| Figura 43 – Vida útil média de cada tipo de aparelho de apoio em anos ----- | 59 |
| Figura 44 - Número das anomalias mais frequentes em AA de Neoprene Cintado ----- | 60 |
| Figura 45 - Frequência de anomalias por AA de Neoprene Cintado----- | 60 |
| Figura 46-Número das anomalias mais frequentes em AA de Roletes ----- | 61 |
| Figura 47 - Frequência de anomalias por AA de Roletes----- | 61 |
| Figura 48 - Número das anomalias mais frequentes em AA tipo Painela ----- | 62 |
| Figura 49 - Frequência de anomalias por AA tipo Painela ----- | 62 |
| Figura 50- Número das anomalias mais frequentes em AA tipo Pêndulo ----- | 63 |
| Figura 51 - Frequência de anomalias por AA tipo Pêndulo ----- | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 52 - Número das anomalias mais frequentes em AA Linear ----- | 64 |
| Figura 53 - Frequência de anomalias por AA Linear ----- | 64 |
| Figura 54 - Número das anomalias mais frequentes em AA de Chumbo ----- | 65 |
| Figura 55 - Frequência de anomalias por AA de Chumbo ----- | 65 |
| Figura 56 - Número das anomalias mais frequentes em AA tipo Articulação de Betão ----- | 66 |
| Figura 57 - Frequência de anomalias por AA tipo Articulação de Betão ----- | 66 |
| Figura 58 - Determinação da Rotação ----- | 79 |
| Figura 59 - Deformação da camada de PTFE ----- | 79 |
| Figura 60 - Macacos Hidráulicos de Levantamento do Tabuleiro ----- | 85 |
| Figura 61 - Substituição de AA com e sem plataforma de Acesso ----- | 87 |
| Figura 62 - Localização (Caso Prático 1) ----- | 89 |
| Figura 63 - Inclinação da base de assentamento ----- | 90 |
| Figura 64 - Pilares envolventes ----- | 90 |
| Figura 65 - Medidor de Levantamento ----- | 91 |
| Figura 66 - Manómetro de pressão ----- | 91 |
| Figura 67 - Sistema de decapagem ----- | 92 |
| Figura 68 - Macacos de levantamento ----- | 93 |
| Figura 69 - Anomalias (Caso de Estudo 2) (Freyssinet, Tetron CD - Mechanical Pot-Bearings, 2010) ----- | 95 |
| Figura 70 - Macacos de 500 tf ----- | 99 |
| Figura 71 - Macacos de 1000 tf ----- | 99 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Simbologia geral dos AA, funções e respectivos movimentos (Mendes, Puga, & Alves, 2010) | 9 |
| Tabela 2 – Simbologia dos AA Elastoméricos (Adaptado da norma EN1337) | 10 |
| Tabela 3 – Simbologia dos AA Tipo Painel (Pot – Bearing) (Adaptado da norma EN1337)..... | 11 |
| Tabela 4 – Simbologia dos AA Esféricos (Adaptado da norma EN1337) | 11 |
| Tabela 5 – Simbologia AA Metálicos (Adaptado da norma EN1337) | 12 |
| Tabela 6 – Tipos de AA tipo Pêndulo | 20 |
| Tabela 7 - Tipos de AA de Neoprene Cintado com Placas de Ancoragem adaptado de (Freysinet, Elastomeric Bearings, 2006) | 27 |
| Tabela 8 – Cargas transmitidas a cada tipo de Aparelho de Apoio (<i>EN1337-1</i>) | 36 |
| Tabela 9 – Fontes das cargas aplicadas nos AA | 37 |
| Tabela 10 – Danos vs Métodos de Reparação | 52 |
| Tabela 11 – Classificação de acordo com a Pontuação obtida | 55 |
| Tabela 12 – Avaliação de Anomalias nos AA de Neoprene Cintado..... | 60 |
| Tabela 13 - Avaliação de Anomalias nos AA de Roletes | 61 |
| Tabela 14 - Avaliação de Anomalias nos AA tipo Painel | 62 |
| Tabela 15 - Avaliação de Anomalias nos AA tipo Pêndulo | 63 |
| Tabela 16 - Avaliação de Anomalias nos AA Linear | 64 |
| Tabela 17 - Avaliação de Anomalias nos AA de Chumbo | 65 |
| Tabela 18 - Avaliação de Anomalias nos AA tipo..... | 66 |
| Tabela 19 - Número de Anomalias existentes | 67 |
| Tabela 20 - Percentagem de anomalias nos AA de Neoprene Cintado | 68 |
| Tabela 21 - Percentagem de anomalias nos AA de Roletes | 68 |
| Tabela 22 - Percentagem de anomalias nos AA tipo Painel | 69 |
| Tabela 23 - Percentagem de anomalias nos AA tipo Pêndulo | 69 |
| Tabela 24 - Percentagem de anomalias nos AA Linear | 70 |
| Tabela 25 - Percentagem de anomalias nos AA tipo Articulação de Betão | 71 |
| Tabela 26 - Pontuação atribuída a cada anomalia | 75 |
| Tabela 27 - Número de Anomalias por tipo de AA | 76 |

1

Introdução

1.1 Enquadramento

Pode afirmar-se que os Aparelhos de Apoio (AA) são tão antigos quanto as pontes. Os primeiros construtores de pontes desde logo sentiram a necessidade de os instalar.

Os AA são órgãos destinados a transmitir as cargas do tabuleiro aos pilares e encontros, libertando ao mesmo tempo outras componentes dos esforços/deslocamentos, como por exemplo as rotações.

Os AA, porém, têm um período de vida útil inferior ao da própria ponte, tornando a sua substituição uma inevitabilidade. Por outro lado, recorrendo a campanhas de inspeção e manutenção, é possível prolongar a sua vida útil.

Consequentemente, e de acordo com estudos realizados, é recomendável a realização de manutenções e inspeções periódicas. Estas inspeções são realizadas com um período que depende do tipo de aparelho, da agressividade do ambiente em que está inserido e do nível de carga a que está sujeito, nunca devendo ultrapassar intervalos superiores a 5 anos.

De referir que após cada inspeção deve ser elaborado um relatório onde será registada toda a informação pertinente, assim como indicados os trabalhos de manutenção ou reparação necessários.

Se esta fiscalização não for realizada dentro das datas previstas as estruturas podem atingir um elevado patamar de degradação, para além de não se cumprirem os níveis mínimos aceitáveis de segurança. Esta torna-se uma alternativa desfavorável, uma vez que a reparação não é possível e é necessário recorrer à sua substituição, resultando num elevado aumento do custo.

Quando é necessário proceder à substituição destes aparelhos deve ser elaborado um plano de substituição, plano este que deve ser realizado pelo projetista da obra. Nele

devem estar referidos dados importantes, como por exemplo os locais para a colocação dos equipamentos de elevação, as forças a aplicar, restrições de tráfego e os deslocamentos necessários. No que diz respeito à colocação dos macacos hidráulicos o local de posicionamento é muito importante pois, devido à hiperstaticidade das estruturas, as forças de levantamento são superiores às reações existentes (figura 1).



Figura 1 – Exemplo de um sistema de Elevação para a substituição de AA

Uma evolução extraordinária na área da tecnologia também proporciona um maior detalhe e rigor nesta manutenção, podendo realizar-se a modelação das estruturas e verificar o seu comportamento quando sujeitas a determinados esforços como o caso da temperatura, cargas permanentes, efeitos de retração, fluência, ações sísmicas entre outros fatores.

A análise dos AA em pontes apresenta-se como um tópico muito importante, principalmente no que diz respeito ao seu processo de substituição, o que seguindo todas as indicações pode tornar este processo mais rápido e rentável.

1.2 Objetivos do Trabalho

Com o decorrer dos anos os AA começam a sofrer algumas deformações levando a alterações do seu funcionamento. Estas deformações são principalmente causadas por cargas permanentes a que estão sujeitos, variações da temperatura, fatores climáticos, ocorrência de sismos e fenómenos de fluência e retração.

Quando a sua reparação já não é viável, e com o intuito de evitar problemas de maior gravidade, estes aparelhos têm que ser substituídos.

É no contexto da substituição de AA que se enquadra esta Tese Final de Mestrado.

Pretende-se com este trabalho precisar o conceito de vida útil de um aparelho e, recorrendo a dados existentes em bibliografia, efetuar uma análise estatística da vida útil de aparelhos de apoio. Os resultados desta análise estatística permitirão prever a vida útil de aparelhos de apoio existentes ou de novos que venham a ser instalados e, desta forma, planear mais eficazmente campanhas de manutenção desses aparelhos, incluindo eventualmente a sua substituição.

Pretende-se também analisar todo o processo da sua substituição, evidenciando-se quais as técnicas de substituição a utilizar, as formas de acesso e os sistemas de levantamento da superestrutura.

1.3 Organização da Dissertação

O trabalho está organizado em 6 capítulos, iniciando-se com a presente introdução que constitui o Capítulo 1.

O capítulo 2 trata dos conceitos básicos relativos aos AA, onde é definida a função destes aparelhos, assim como o seu modo de funcionamento e os diferentes tipos de representação gráfica.

O Capítulo 3 analisa as anomalias que mais frequentemente estão presentes nos AA. Esta análise tem como base um conjunto de amostras onde foram identificadas as anomalias presentes em cada tipo de AA.

O capítulo 4 discute os procedimentos de inspeção, ensaio e substituição. Neste capítulo são definidos os principais parâmetros de inspeção realizados para a deteção de anomalias nos AA. São também enumerados os principais pontos do processo de substituição de um AA.

No capítulo 5 são apresentados dois casos práticos da substituição de AA, onde é identificado todo o processo de substituição.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões e os desenvolvimentos futuros.

2

Tipologia

No presente capítulo apresenta-se uma descrição da evolução dos AA ao longo dos anos, quais as principais funções que desempenham, os vários tipos de AA que existem atualmente e quais as ações que provocam os movimentos da estrutura.

A maioria das pontes dispõe de AA, cujo objetivo principal é libertar movimentos a fim de reduzir esforços.

Enumeram-se em seguida algumas das funções dos AA:

- Estabelecer a ligação da superestrutura com a subestrutura, acomodando a transferência das forças dinâmicas e vibrações que podem causar a instabilidade da ponte ou mesmo a sua destruição;
- Permitir movimentos de translação horizontais e de rotação;
- Garantir que as deformações, que ocorrem na superestrutura da ponte, não gerem elevadas forças e movimentos na subestrutura;
- Reduzir o corte entre o tabuleiro e a cabeça dos pilares
- AA mais recentes protegem ainda das ações sísmicas, dissipando a energia;

Os AA podem ser classificados de acordo com os movimentos que possibilitam, como fixos e móveis, sendo os móveis divididos em unidirecionais (movimento apenas numa direção) e multidirecionais (várias direções).

2.1 Breve Revisão Histórica

Inicialmente as pontes eram de tijolo, pedra ou madeira, com baixos carregamentos, vãos reduzidos e a maioria da circulação era pedonal, pelo que os AA não eram um componente essencial.

O avanço ao nível de projeto e da construção, o aparecimento de maiores vãos (maiores obstáculos), maior volume de tráfego e carregamentos mais elevados, levou à utilização de elementos de transição entre o tabuleiro e os pilares e encontros. Nesta fase as pontes deixaram de ser vistas como estruturas imóveis e rígidas tornando-se corpos móveis.

Desde logo estes elementos de transição - AA - são vistos como o elemento estrutural que estabelece a ligação entre o tabuleiro e os pilares e encontros, através dos quais os esforços são transmitidos.

Pelo conceito anterior, pode afirmar-se que os AA em pontes eram utilizados inconscientemente, sendo na maioria das vezes representados por elementos constituídos pelos mesmos materiais das pontes (simples blocos de madeira ou pedra).

A madeira, pela sua elevada flexibilidade e durabilidade era o material mais utilizado para estas funções.

Com o avançar dos anos, dá-se o início das construções metálicas. Este novo material leva ao aparecimento de um dos principais fatores condicionantes dos AA, ou seja, a variação de temperatura.

No caso das pontes de madeira, ao contrário das pontes metálicas, a temperatura não era condicionante, mas sim a humidade, que levava à sua dilatação.

As grandes variações de temperatura nas estruturas metálicas geram então a dilatação linear dos materiais provocando movimentos que colocam em causa a estabilidade das estruturas.

De início as variações de temperatura eram quase desprezadas o que provocou a ocorrência de alguns acidentes. Um grande exemplo foi entre 1813 e 1819 quando John Rennie construiu a Southwark Bridge em ferro fundido com 3 arcos (64m, 73m e 64m) sem ter qualquer precaução em relação às variações de temperatura (figura 2). A tentativa de calçar a estrutura entre os contrafortes para impedir os movimentos levou à destruição do pilar de alvenaria.



Figura 2 - Southwark Bridge (<http://www.southwarkbridge.co.uk/history/old-southwark-bridge.htm>, 2009)

Como solução para este problema, o mesmo autor, sugeriu que a expansão e contração são totalmente independentes de qualquer ação sobre os pilares. Estes apenas suportam o peso perpendicular à superestrutura, pelo que deste modo a liberdade de movimentos dos elementos estruturais deve ser assegurada por “*sectores móveis*” (Rennie, p.227).

Paralelamente a este também Ralph Dodd construiu sobre o Rio *Chelmer* “*a mais bela ponte já erguida neste reino ou em qualquer outro*” (FM 1820, P. 236) onde foram colocadas ranhuras em ambos os encontros que permitiam ao tabuleiro contrair e expandir livremente.

A partir desta época a aplicação de travessas de madeira começou a ser substituída por placas de ferro fundido, que permitiam os movimentos desejados.

Os primeiros AA em pontes metálicas foram designados Rolamentos Planos, caracterizados por uma parte superior e inferior que compartilham uma área planar de contacto direto.

Porém, existiam problemas pois, a área do aparelho de apoio é reduzida e a estrutura é desviada sobre carga alterando assim o sistema estrutural. Estes problemas levaram à utilização de sistemas alternativos. Surgem então os AA móveis constituídos por rolos, que ajudam a diminuir o atrito/fricção.

Posteriormente, este sistema de rolos evoluiu para AA oscilantes e AA de junta. Estes sistemas, ao invés dos rolamentos planos, garantiam todas as exigências para as construções da época, apesar apresentarem uma desvantagem: o aumento das alturas de construção, principalmente quando existiam dois planos de rolos.

Posteriormente surge o betão armado e pré-esforçado. Com estes materiais o conceito de aparelho de apoio atinge outro nível, onde a função, paralelamente à de suportar as cargas verticais é a de permitir movimentos numas direções e restringir noutras,

permitindo movimentos de translação e rotação de uma parte da ponte em relação à outra (tabuleiro e relação aos pilares e encontros).

O aumento do tráfego, assim como a utilização de maiores vãos também condicionaram a funcionalidade dos AA existentes.

Surgem assim os AA em betão ou articulações de betão como solução mais económica em relação às existentes.

Nos últimos anos até aos dias de hoje, devido a intensas investigações, os AA evoluíram em grande escala, existindo atualmente uma enorme diversidade.

Materiais como os plásticos e borrachas foram os principais elementos responsáveis por esta evolução.

Com estes novos sistemas é atualmente possível contornar os problemas relacionados com os movimentos, contudo, a durabilidade destes ainda é um aspeto predominante, visto que os AA têm uma VU inferior ao das pontes.










A VU depende de diversos fatores relacionados com o tipo do próprio aparelho de apoio, as cargas a que vai estar sujeito, o processo de fabricação – instalação, entre outros tópicos que são abordados no decorrer do trabalho.

2.2 Simbologia

Com o objetivo de representar os AA ao nível do projeto foi necessário definir uma simbologia que permitisse a sua fácil identificação.

Em seguida apresentam-se duas das principais formas utilizadas atualmente.

Tabela 1 – Simbologia geral dos AA, funções e respectivos movimentos (Mendes, Puga, & Alves, 2010)

| Número | Símbolo | Função | Tipos de Aparelhos de apoio |
|--------|---|--|--|
| 1 |  | -Fixo para translação em todas as direções; -Permite rotação em todas as direções. | -Tipo point rocker; -Tipo pot; -Elastomérico fixo. |
| 2 |  | -Permite movimento de translação em uma direção; -Permite rotação em todas as direções. | -Tipo point rocker deslizante unidirecional; -Tipo pot deslizante unidirecional; -Esférico deslizante unidirecional. |
| 3 |  | -Permite movimento de translação livre; -Permite rotação em todas as direções. | -Tipo point rocker livre; -Tipo pot com deslizam. livre; -Elastomérico livre; -Esférico com deslizam. livre. |
| 4 |  | -Fixo para transl. em todas as direções; -Permite rotação em um só eixo. | -Tipo linear rocker; -Tipo leaf. |
| 5 |  | -Permite movimento de translação em uma direção; -Permite rotação em um só eixo. | -Tipo rolo; -Tipo link; -Tipo linear rocker de deslizamento unidirecional. |
| 6 |  | -Permite movim. de translação livre; -Permite rotação em um só eixo. | -De rolamento livre; -Tipo link livre. |
| 7 |  | -Fixo para translação horizontal em todas as direções; -Permite rotação em todas as direções. | -Transmitem força horizontal. |
| 8 |  | -Permite movim. horizontal em uma direção; -Permite rotação em todas as direções. | -Guiado. |
| 9 |  | -Permite rotação em todas as direções. | -Elastomérico. |

Apresenta-se em seguida a simbologia tendo como base a norma EN1337-1.

Tabela 2 – Simbologia dos AA Elastoméricos (Adaptado da norma EN1337)

| Símbolos vista planta | Símbolos na direção | | Descrição | Vista 3D |
|-----------------------|---------------------|---|---|----------|
| | x | y | | |
| | | | AA elastomérico | |
| | | | AA elastomérico bloqueado numa direção | |
| | | | AA elastomérico com a parte deslizante móvel unidirecional e bloqueado nos outros eixos | |
| | | | AA elastomérico com parte móvel deslizante multidirecional | |
| | | | AA elastomérico com parte móvel deslizante unidirecional | |
| | | | AA elastomérico com dispositivo de fixação nos dois eixos | |
| | | | AA elastomérico com a parte deslizante móvel unidirecional e bloqueado em dois eixos | |
| | | | AA elastomérico com parte móvel deslizante multidirecional e bloqueado em dois eixos | |

Tabela 3 – Simbologia dos AA Tipo Panela (Pot – Bearing) (Adaptado da norma EN1337)



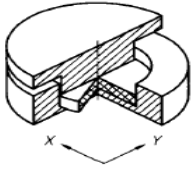

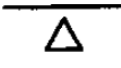
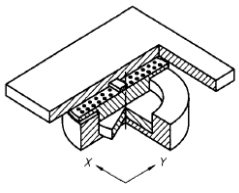



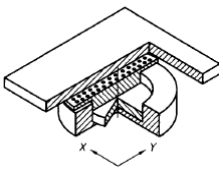
| Símbolos vista planta | Símbolos na direção | | Descrição | Vista 3D |
|---|---|---|---|---|
| | x | y | | |
|  |  | | AA tipo panela “Pot - Bearing” |  |
|  | |  | AA tipo Panela com parte móvel deslizando unidirecional |  |
|  |  |  | AA tipo Panela com parte móvel deslizando multidirecional |  |

Tabela 4 – Simbologia dos AA Esféricos (Adaptado da norma EN1337)


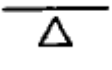
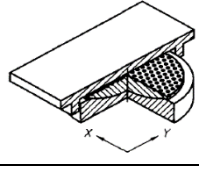
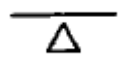
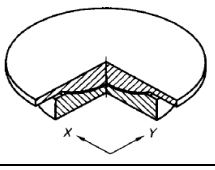

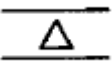
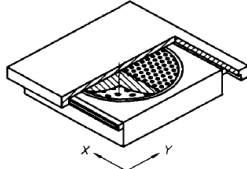
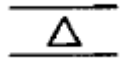
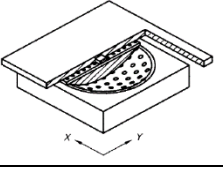


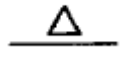
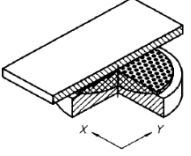


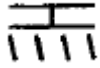
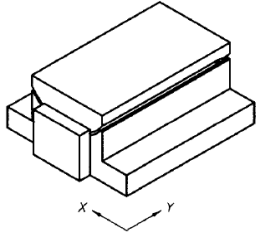


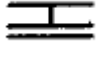
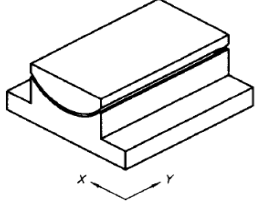


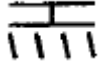
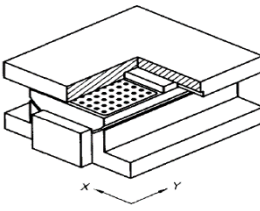


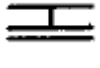
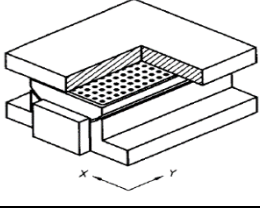



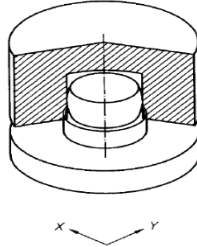



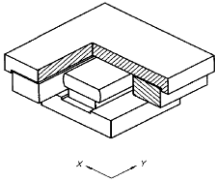
| Símbolos vista planta | Símbolos na direção | | Descrição | Vista 3D |
|---|---|---|--|---|
| | x | y | | |
|  |  | | AA Esférico tipo 1 |  |
| | |  | AA esférico tipo 2 |  |
|  |  | | AA esférico com parte móvel deslizando unidirecional (Orientação Exterior) |  |
| | |  | AA esférico com parte móvel deslizando unidirecional (Orientação Interior) |  |
|  |  |  | AA esféricos com parte móvel deslizando multidirecional |  |

Tabela 5 – Simbologia AA Metálicos (Adaptado da norma EN1337)

| Símbolos vista planta | Símbolos na direção | | Descrição | Vista 3D |
|-----------------------|---------------------|---|---|----------|
| | x | y | | |
| | | | AA tipo Pêndulo ou oscilante pontual | |
| | | | AA oscilante pontual com parte móvel deslizante unidirecional | |
| | | | AA oscilante pontual com parte móvel deslizante multidirecional | |
| | | | AA tipo Pêndulo ou oscilante linear | |
| | | | AA oscilante linear com parte móvel deslizante unidirecional | |
| | | | AA oscilante linear com parte móvel deslizante multidirecional | |
| | | | AA de Roletes ou Rolos únicos | |
| | | | AA de Roletes únicos com parte deslizante na outra direção | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  | <p>AA cilíndrico</p> |  |
|  |  |  | <p>AA cilíndrico guiado móvel na direção y</p> |  |
|  |  |  | <p>AA cilíndrico guiado móvel na direção x</p> |  |
|  |  |  | <p>AA cilíndrico livre móvel em x e y</p> |  |
|  |  |  | <p>AA guiado com restrições em dois eixos</p> |  |
|  |  |  | <p>AA guiado com restrições em um dos eixos</p> |  |

2.3 Tipos de Aparelhos de Apoio

Dada a vasta diversidade de AA existentes no mercado atualmente, houve a necessidade de os agrupar de acordo com as suas propriedades. É assim possível organizar os AA tendo como base o tipo de material constituinte ou em função dos movimentos permitidos por cada um. Desde que surgiram até aos dias de hoje, alguns dos tipos de AA caíram em desuso, pois outros mais recentes desempenham as mesmas funções com mais qualidade e segurança.

2.3.1 Articulações de Betão

Articulações de Betão são AA cujo material é o mesmo da própria ponte, não existindo uma separação completa da estrutura contudo, proporcionam uma descontinuidade entre a superestrutura e a infraestrutura que permite a distribuição das cargas e libertação de movimentos.

São vários os tipos de articulações de betão existentes contudo, atualmente este tipo de aparelho de apoio caiu em desuso, pois a sua substituição não era possível e apresentavam uma baixa capacidade resistência.

- Articulações Freyssinet

Articulações fixas de betão com uma redução de secção da peça a articular, tem geralmente 2cm de altura e deve trabalhar com tensões elevadas, atingindo a plasticidade.

Esta redução de secção é flexível e permite realizar rotações de um membro, gerando pequenos momentos que são transmitidos à estrutura. Apesar do reduzido tamanho da secção esta suporta elevadas cargas axiais e forças de cisalhamento, devido à influência restritiva biaxial ou triaxial do betão envolvente.

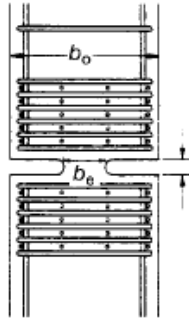


Figura 3 – Articulação de Betão Freyssinet (Lee, 1994)

- Articulações Mesnager

Estas articulações são o antecessor das articulações Freyssinet. São articulações fixas que transmitem esforços por aderência através de barras cruzadas ancoradas nos blocos a articular. A função destas barras é transmitir a força normal e resistir à força de corte que se manifesta nos dois blocos.

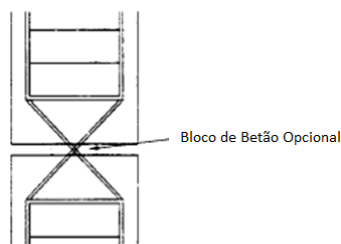


Figura 4 – Articulações de Betão Mesnager (Lee, 1994)

- Articulações de Contacto de Superfície Cilíndrica

São articulações de betão armado em que as superfícies cilíndricas permitem acomodar movimentos de rotação. Por serem dimensionadas com elevadas tensões de compressão o betão deve ser de alta qualidade.

Podem ser divididas em dois tipos:

- *Articulações de Sela*

São utilizadas quando se pretende acomodar elevadas rotações, esforço transversal e conjunto com forças axiais baixas. Apresentam a mesma resistência que as articulações Freyssinet contudo apresentam algumas roturas pelo que devem ser reforçadas com aço.

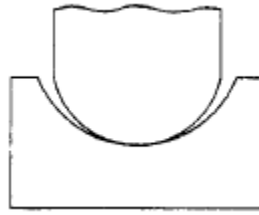


Figura 5 – Articulações de Sela (Lee, 1994)

○ *Articulações Deslizantes*

São semelhantes às articulações de Sela. São mais fáceis de executar contudo, apresentam momentos significativos. Sendo o coeficiente de atrito entre as faces de deslizamento μ e o raio é de r , então o momento transmitido pelas articulações é dado por $M = Rr\mu$ (onde R é a força resultante que atua sobre a articulação).

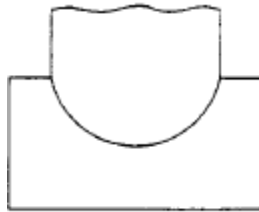


Figura 6 – Articulações Deslizantes (Lee, 1994)

• Articulações Triplas

São um tipo de aplicação das articulações Freyssinet. Apresentam um melhor desempenho pela carga multidirecional que lhe é imposta.

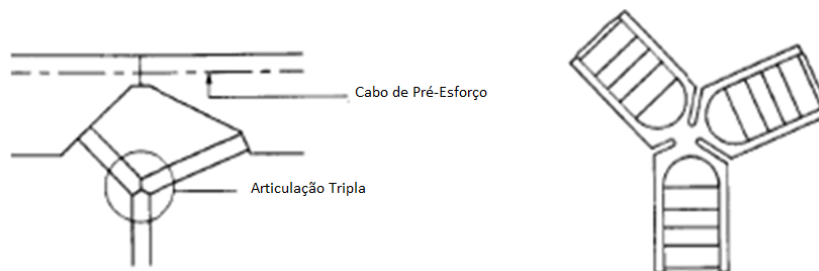


Figura 7 - Articulações Triplas (Lee, 1994)

2.3.2 Aparelhos de Apoio Metálicos

- Rolo ou Roletes

Introdução

São AA que consistem essencialmente em um ou mais roletes, entre placas de aço superior e inferior paralelas.

Apresentam uma superfície plana superior e inferior.

Neste tipo de AA, os movimentos relativos admitidos são apenas os movimentos de translação, considerando-se que as rotações existentes são diminutas.

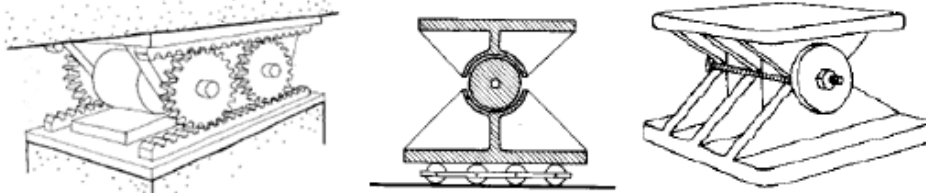


Figura 8 - Exemplos de AA tipo Rolo ou Roletes (Lee, 1994)

Funcionamento

Existem engrenagens ou outra forma de guia para garantir que o eixo do rolo é mantido na orientação desejada durante a vida dos AA.

No caso dos AA de rolos com um único cilindro permitem a rotação em torno de um eixo horizontal e paralela translação de um eixo perpendicular. Alguns destes AA necessitam de um outro elemento adicional para permitir rotação, como por exemplo, um AA tipo cavilha. Existe também a possibilidade de existirem cilindros entre pares de placas que permitem suportar maiores cargas.

Dois níveis de rolos consistem num conjunto de cilindros entre três placas paralelas e podem ser projetados para permitir movimentos horizontais direcionais múltiplos.

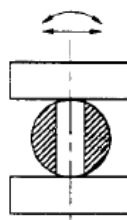


Figura 9 - AA de Rolos ou Roletes (Lee, 1994)

A capacidade de superfícies curvas e planas para suportar a deformação sob carga depende da dureza do material de que são formadas (Lee, 1994). Apresenta-se na figura seguinte a relação entre a pressão Hertz, a dureza e a resistência à tração do aço para os diferentes tipos de AA.

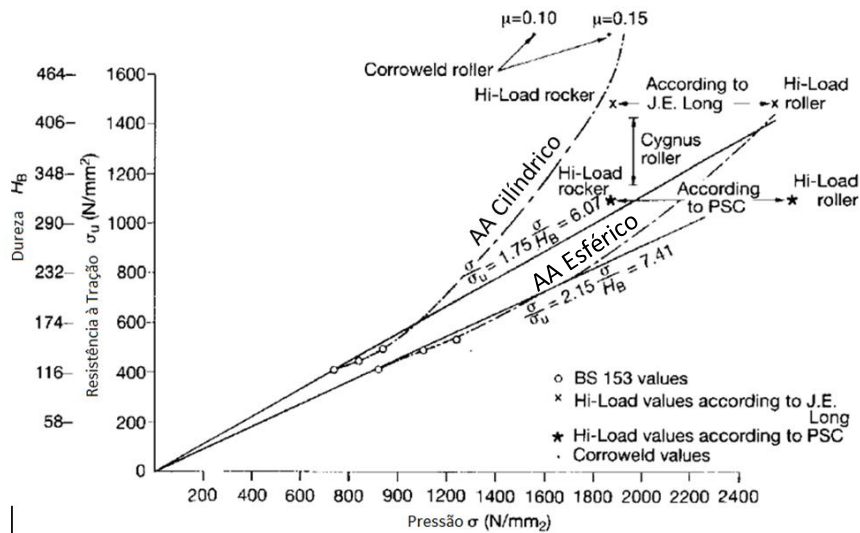


Figura 10 - Relação entre pressão Hertz, dureza e resistência à tração (Lee, 1994)

Deve notar-se que não há uma relação constante entre a dureza e o limite de elasticidade, mas existe entre a dureza e resistência à tração.

De acordo com a teoria de Hertz para um rolo cilíndrico de raio R1 com uma superfície côncava de raio R2, a tensão máxima de contacto é dada por:

$$\sigma = 0.418 \left[PE \left(\frac{R_2 - R_1}{R_2 R_1} \right) \right]^{1/2}$$

Sendo:

P - carga por unidade de comprimento do rolo;

E – módulo de elasticidade

Para limitar a deformação do rolo e da chapa a um nível aceitável, o esforço de contacto é limitado a 1,75 vezes a força de tração, obtendo-se:

$$P = \frac{18R}{F} \sigma_u^2$$

Com σ_u - tensão última de rotura

- Pêndulo ou Oscilantes

Introdução

AA oscilantes consistem essencialmente numa superfície curva em contacto com uma superfície plana ou curva e têm como função evitar movimentos horizontais. A superfície curva pode ser cilíndrica ou esférica para permitir a rotação em torno de um ou mais eixos. AA oscilantes por si só não permitem a translação e são normalmente utilizados para complementar os AA de rolos (figura 11).



Figura 11 - AA tipo Pêndulo ou Oscilante complementando os AA de Rolo

Funcionamento

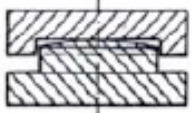
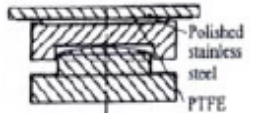
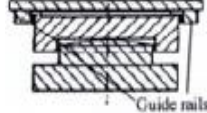
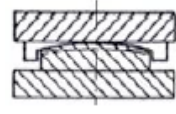
AA oscilantes suportam altas cargas e podem ser usados onde os AA tipo panela, esféricos e outros de alta capacidade não podem ser utilizados devido ao espaço limitado.

Existem diversos tipos, destacando-se:

- AA oscilantes com contacto pontual;
- AA oscilantes com contacto linear.

AA oscilantes são aplicáveis para as condições em que apenas é permitido o movimento longitudinal e onde o movimento transversal deve ser prevenido.

Tabela 6 – Tipos de AA tipo Pêndulo

| Tipo | Pontual | Pontual Livre | Pontual Guiado |
|------------------|--|--|---|
| Contacto Pontual |  |  |  |
| Contacto Linear | Linear | | |
| |  | | |

- AA tipo Articulações Metálicas

Introdução

As articulações metálicas permitem o movimento de rotação, enquanto ao mesmo tempo impedem o movimento longitudinal. O movimento de rotação ocorre por meio de um pino de aço circular, ligado às superfícies circulares embutidas, estas superfícies são equipadas com tampas que resistem às ações que favorecem o deslizar da cavilha para fora dos assentos.



Figura 12 – Exemplo de aplicação de AA tipo Articulação Metálica (Bradfield, 1931)

Funcionamento

A função da cavilha/pino é a transferência das forças por meio de rotação da placa de base superior que está ligada à superestrutura, para a placa de base inferior que está ligado à subestrutura. As placas são geralmente ancoradas por meio de parafusos ou de soldadura.

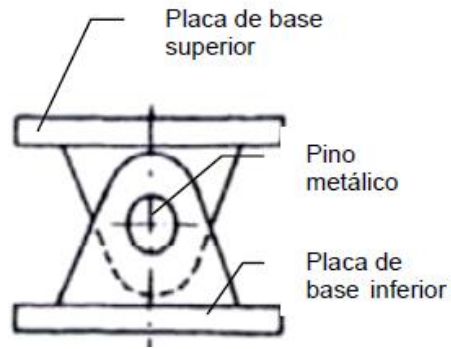


Figura 13 – Exemplo de AA tipo Cavilha “Pin” (Mendes, Puga, & Alves, 2010)

- AA Deslizantes

Introdução

AA deslizantes são a forma mais simples de AA. Permitem movimentos transversais, longitudinais e rotação. São constituídos por duas placas que deslizam entre si por meio de uma superfície que permite eliminar a resistência ao atrito. Normalmente esta superfície é constituída por materiais diferentes do das próprias placas para facilitar o deslizamento. A composição do material da superfície de deslizamento determina o tipo de placa de deslizamento do AA, podendo ser de aço (preferivelmente aço inoxidável), bronze, chumbo, fibra de vidro, grafite, PTFE (politetrafluoretileno), entre outros.

Funcionamento

As superfícies destes AA podem ser planas ou curvas. As superfícies planas permitem a translação enquanto as superfícies curvas podem ser cilíndricas ou esféricas para rotações uniaxial ou multiaxiais, respetivamente, e fornecem contenção contra translações.

As forças de atrito desenvolvidas na superfície de deslizamento sobre a superestrutura, subestrutura e o próprio AA são o produto do coeficiente de atrito e da força normal que atua sobre a superfície de deslizamento. Um alto coeficiente de atrito causado por má lubrificação e superfície de deslizamento rugosa resultará no aumento da força de atrito.

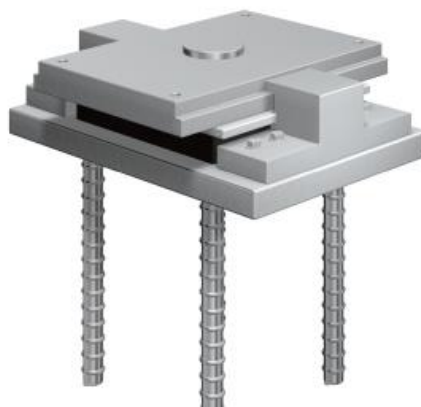


Figura 14 - Exemplo de AA deslizante (Rubber Bearing)

- AA Esféricos ou Cilíndricos

Introdução

AA esféricos permitem movimentos tridimensionais. São projetados para cargas verticais, horizontais e laterais muito altas, assim como para grandes deslocamentos de rotação. Como os AA tipo “pote”, eles podem ser fixos, livres ou guiados.

Este tipo de AA surgiu para os seguintes fins:

- a) Na construção da ponte pelo sistema de lançamento;
- b) Para medir e monitorar as forças que atuam sobre a estrutura eletronicamente;
- c) Para acomodar cargas elevadas que surgem durante a construção ou vida de uma estrutura.

Funcionamento

AA esféricos são constituídos por uma chapa côncava e uma chapa convexa, e são instalados sobre superfícies de deslizamento planas. A placa convexa é composta por alumínio, latão ou cromo e a placa côncava é feito de aço com acabamento homogêneo forrado com PTFE lubrificado.

Este sistema de funcionamento permite o deslizamento da superfície convexa sobre a superfície côncava. O sistema envolve o atrito desprezável nas superfícies de deslizamento e esféricas, que permite a rotação em qualquer sentido em torno do eixo horizontal e vertical. Além disso, as superfícies de apoio esféricas permitem grandes ângulos de inclinação com pouca resistência e menos momentos de viragem.



Figura 15 - Exemplo de AA Esférico (Mageba)

- Lineares

Introdução

Os AA lineares são AA metálicos que podem ser fixos, unidirecionais ou multidirecionais.

Podem ser subdivididos em dois tipos:

- AA Guiados: Só permitem deslocamentos numa direção, direção da guia, restringido o movimento perpendicular a esta. Quando equipados com os devidos elementos podem também permitir pequenas rotações.
- AA Bloqueados: Estes AA restringem todos os movimentos horizontais mas permitem rotações nesse plano. No entanto estão limitados para elevados valores de cargas verticais.

Funcionamento

São constituídos por superfícies planas, onde sobre a superfície inferior existe uma placa de PTFE que permite o deslizamento da placa superior, assegurando assim movimentos de translação. Estes AA de modo a restringir algum movimento, são completados por batentes.



Figura 16 - Exemplo de AA linear (Mageba)

2.3.3 Aparelhos de Apoio Elastoméricos

São considerados os AA mais simples. Consistem num bloco elastomérico que pode apresentar diversas formas, circular vazado (oco), circular e retangular.



Figura 17 - AA elastomérico Oco, Circular e Rectangular (gadabinausaha)

O elastómero está associado a materiais constituídos à base de borracha. Como os fatores a que vão estar sujeitos são muito adversos estes materiais tem que apresentar elevada durabilidade, pelo que devem ser borrachas sintéticas (Neoprene) ou naturais.

Nestes dois casos as borrachas são vulcanizadas, ou seja, são submetidas a operação através da qual são criadas ligações entre as macromoléculas de um elastómero. Desta forma o elastómero, que à partida se apresenta como uma massa fraca, muito plástica e sem propriedades mecânicas, é transformado num produto forte, resistente e com boas características elásticas. Apresenta-se em seguida um gráfico onde é indicada a diferença entre uma borracha vulcanizada e uma não vulcanizada.

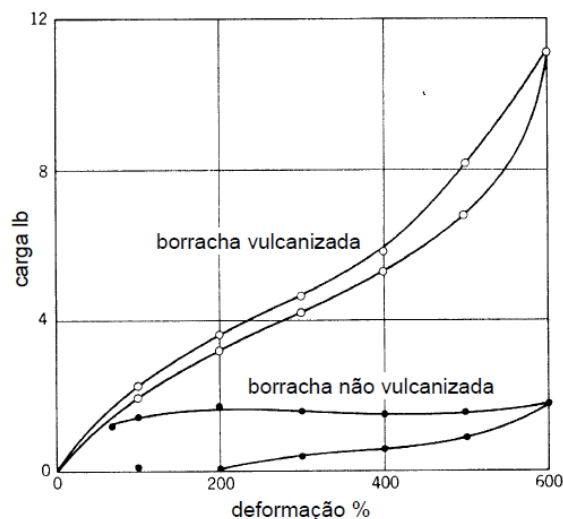


Figura 18 - Curvas Força-Deformação típicas de borracha vulcanizada e não vulcanizada (Guerreiro, 2003)

Este tipo de AA devido à sua componente elástica permite movimentos e rotações em todas as direções.

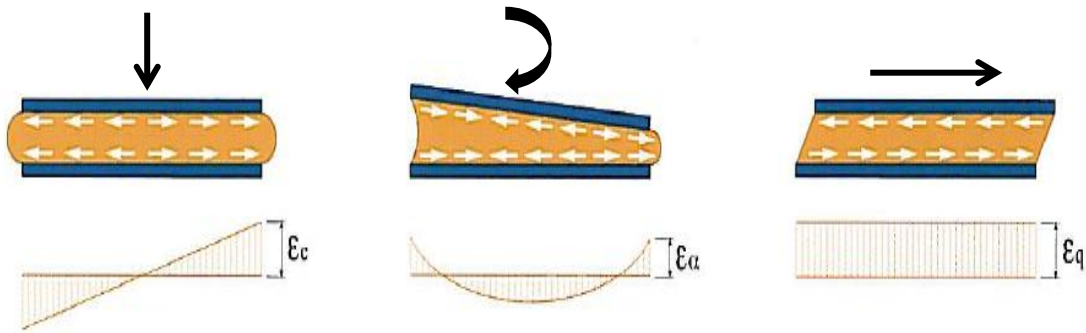


Figura 19 - Diagramas de Esforços (Compressão, Rotação e Deformação Horizontal) adaptado de (Freysinet, Elastomeric Bearings, 2006)

As suas características permitem que recupere a sua forma e dimensão inicial contudo, cargas que excedem o seu limite de elasticidade podem provocar vários danos. De forma a garantir o seu correto funcionamento devem ser reforçados por placas de aço horizontais. Estas chapas de aço impedem a deformação excessiva que iria provocar o seu “abaulamento”. A espessura e número de chapas dependem das cargas a que o AA vai estar sujeito. Estas chapas são ligadas a borracha também pelo processo de vulcanização. Estes AA são chamados de AA de Neoprene Cintado.

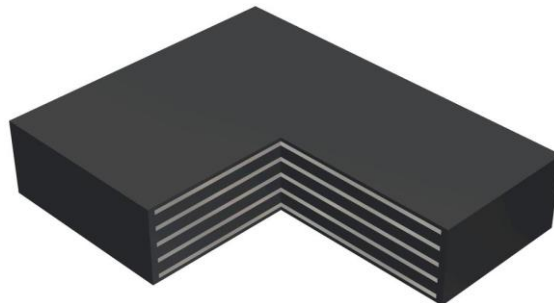


Figura 20 - Exemplo de AA de Neoprene Cintado (LR Elastomeric Bearing)

Os AA elastoméricos apresentam três diferentes tipos:

- AA Simples de Neoprene Cintado

Estes AA são moldados individualmente e as placas de reforço são completamente envolvidas no elastómero, com pelo menos quatro milímetros da superfície lateral e geralmente apresentam 2,5 milímetros de espessura (figura 20).

Existe também a possibilidade das camadas externas (juntas à superfície do elastómero) apresentarem maior espessura (figura 21).



Figura 21 - AA simples de Neoprene Cintado (Tipo1) (Freysinet, Elastomeric Bearings, 2006)



Figura 22 - AA simples de Neoprene Cintado (Tipo2) (Freysinet, Elastomeric Bearings, 2006)


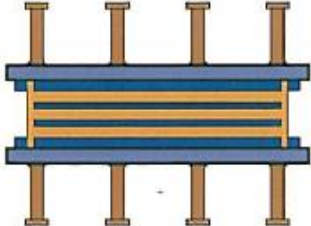
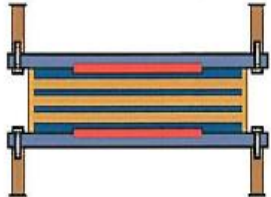
Para além das diversas formas que podem apresentar, podem também ter furos para a colocação de materiais específicos (barra transversal de ancoragem), para a montagem de material de amortecimento ou para reduzir a rigidez vertical.

- AA de Neoprene Cintado com placas de ancoragem

São várias soluções existentes neste tipo de AA. A solução é selecionada tendo em conta os seguintes fatores: método de construção de estruturas e as tensões transmitidas por AA.

Apresentam-se em seguida as três soluções geralmente utilizadas.

Tabela 7 - Tipos de AA de Neoprene Cintado com Placas de Ancoragem adaptado de (Freysinet, Elastomeric Bearings, 2006)

| AA com placas externas de cartão ondulado para garantir boa conexão | AA equipados com placas externas, placas de ancoragem e dispositivos de conexão | AA equipado com placas externas, placas de ancoragens e disco de resistência ao corte |
|---|---|---|
|  |  |  |

- AA de Neoprene Cintado com superfícies de Deslizamento

Estes AA são utilizados quando se pretende o deslocamento apenas numa das direções, longitudinal ou transversal. Geralmente são utilizadas folhas de PTFE coladas no interior do neoprene que possibilitam deslocamentos consideráveis e superfícies metálicas inferiores e superiores. Estas superfícies metálicas podem possuir guiamento, permitindo deslocamentos apenas numa das direções horizontais (unidirecionais), ou pode não existir sistema de guiamento, permitindo os movimentos em ambas as direções (multidirecionais).



Figura 23 - Tipos de AA de Neoprene Cintado com Superfícies de Deslizamento (Freyssinet, Elastomeric Bearings, 2006)

2.3.4 *Pot-Bearings (Panela)*

Grandes cargas verticais combinadas com um elevado grau de rotação não permitem a utilização de AA elastoméricos, pois são necessárias grandes superfícies de apoio para manter todos os lados do AA à compressão e isto resultaria numa distribuição de pressão desigual sobre o betão. Anteriormente este problema foi superado usando AA oscilantes.

Atualmente são utilizados os AA Pot-Bearings. Estes consistem numa almofada circular de Neoprene não reforçado, de secção relativamente fina, totalmente fechado num recipiente de aço. Quando aplicada a carga o elastómero por meio de um êmbolo fixa-se à placa de apoio superior. É colocado um vedante para prevenir a extrusão do neoprene entre o pistão e o pote. O elastómero funciona de modo semelhante a um fluido sob alta pressão, possibilitando ao AA a capacidade de absorver rotações em torno dos eixos horizontais e garantindo uma deformabilidade axial aproximadamente nula.

Estes aparelhos poderão ser fixos ou móveis e, sendo móveis, poderão sê-lo numa ou em ambas as direções. Pode-se, assim, subdividir os “Pot-Bearings” em três categorias:

- AA Fixos

Este tipo consiste num simples pote ou panela onde é colocado um disco de elastómero, um pistão e a chapa superior que representa a “tampa” do recetáculo.

Os apoios fixos permitem apenas movimentos rotacionais, restringindo todos os movimentos de translação. As rotações são efetuadas através da distorção da almofada de Neoprene.

A sua completa constituição é demonstrada na figura seguinte.

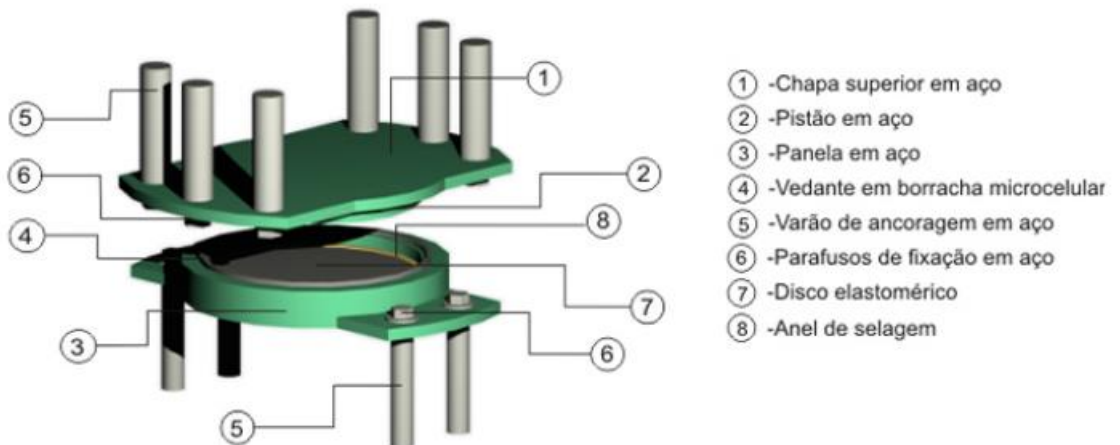


Figura 24 - AA tipo Panela - Fixo (Jacinto, 2004)

- AA de Deslizamento Unidirecionais

Com o objetivo de libertar o movimento de translação numa direção tornou-se necessária a fabricação destes AA.

Consiste em 3 principais componentes: um disco de PTFE, uma superfície de aço inoxidável polido conectado a uma placa deslizante de aço estrutural e uma barra guia em aço que liberta o movimento desejado.

A sua completa constituição é demonstrada na figura seguinte.

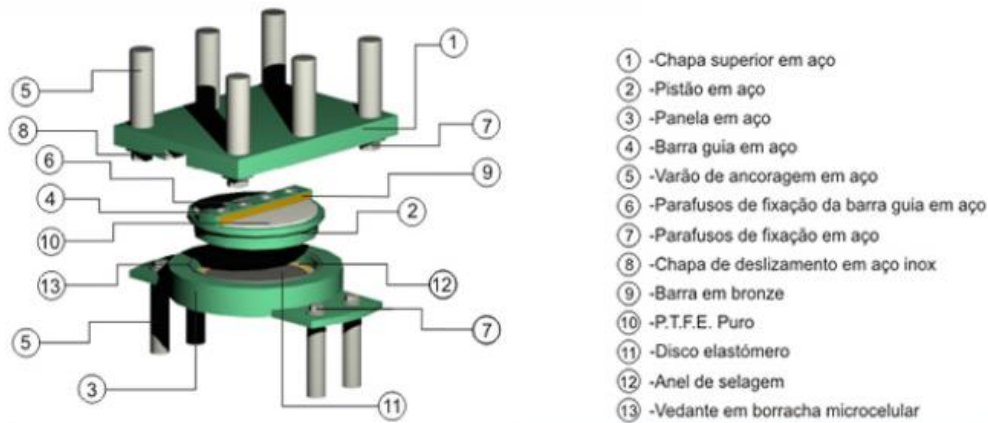


Figura 25 - AA tipo Panela - Unidirecional (Jacinto, 2004)

- AA de Deslizamento Multidirecionais

Os aparelhos multidirecionais ao contrário dos anteriores são móveis em mais do que uma direção.

Consiste num aparelho de apoio tipo Pot-Bearing no qual o pistão está coberto por disco de PTFE onde a placa de deslizamento superior, fixada à superestrutura, é livre para se mover. Os AA são portanto livres para deslizar permitindo deslocamentos em todas as direções horizontais. As principais características que representam os movimentos nestes apoios são:

- Deslocamentos horizontais transversais e longitudinais;
- Rotações permitidas em torno dos três eixos;
- Não existe transmissão dos esforços horizontais;

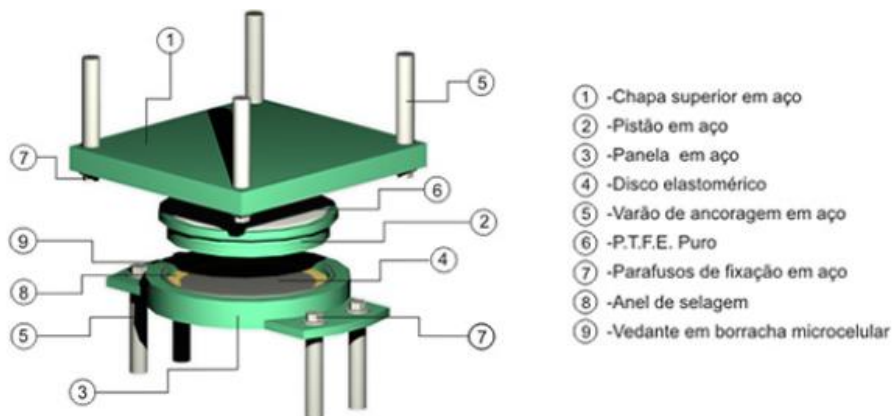


Figura 26 - AA tipo Panela – Multidirecional (Jacinto, 2004)

Vantagens

- Suportam elevadas cargas verticais, num espaço reduzido;
- Bons níveis de segurança e execução;
- O projeto é simples, portanto, a produção pode ser racionalizada;
- Distribui as cargas de modo uniforme através da estrutura, como resultado da pressão hidrostática desenvolvida;
- Boa solução técnica quando é necessário determinados níveis de deslocamento e carregamento vertical.

Desvantagens

- Capacidade de rotação limitada;
- Requer precisão e exatidão na instalação;
- Alto custo, uma vez que requerem muita precisão e controlo;
- Abaulamento do elastómero afetando a capacidade de rotação.

2.3.5 Aparelhos de Apoio de Chumbo

Este tipo de aparelho de apoio foi muito utilizado até finais dos anos 70. Consistiam numa placa de chumbo que devido à sua deformabilidade permitia os deslocamentos das obras de arte. Contudo a resistência deste material apresentava algumas fragilidades o que levava à sua rápida deterioração, e conseqüente substituição.

Atualmente os AA de chumbo não são utilizados pois surgiram novos materiais que desempenham as mesmas funções e apresentam uma capacidade resistente muito superior, como é o caso do neoprene.

2.3.6 Aparelhos de Apoio de Isolamento Sísmico

AA com sistema de isolamento sísmico podem apresentar-se na forma de diversos modelos. São apresentados em seguida alguns destes tipos de AA.

- a) AA com camadas de borracha vulcanizada que podem mover-se em qualquer direção horizontal, estas borrachas são lâminas entre chapas de aço formando uma base flexível móvel.

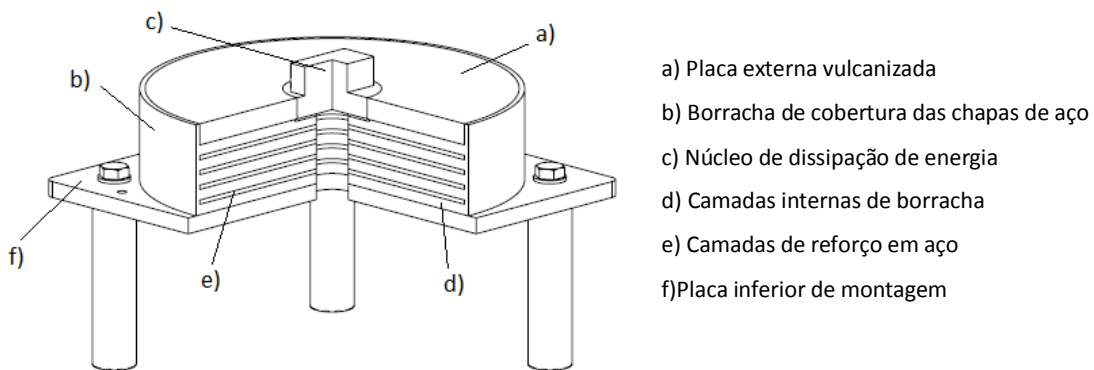


Figura 27 - AA com isolamento sísmico tipo Neoprene Cintado

Neste tipo de AA o núcleo central tem como objetivo reduzir as forças e deslocamentos provocados pelas forças sísmicas e pela energia dissipada oferecendo também resistência aos movimentos provocados pelo vento.

As camadas internas de borracha permitem a flexibilidade lateral. As placas de reforço em aço oferecem capacidade resistente a forças verticais. Por fim a placa inferior de montagem toda ela é isolada, tendo como objetivo conectar-se à estrutura.



Figura 28 - Exemplos de AA Sísmicos em Neoprene Cintado

- b) AA tipo Panela com aparelho de proteção sísmica são AA tipo panela comuns combinados com os dispositivos de proteção sísmica, unidades de transmissão de choques ou amortecedores. Estes AA vão permitir o deslocamento livre da superestrutura, exceto durante eventos sísmicos.

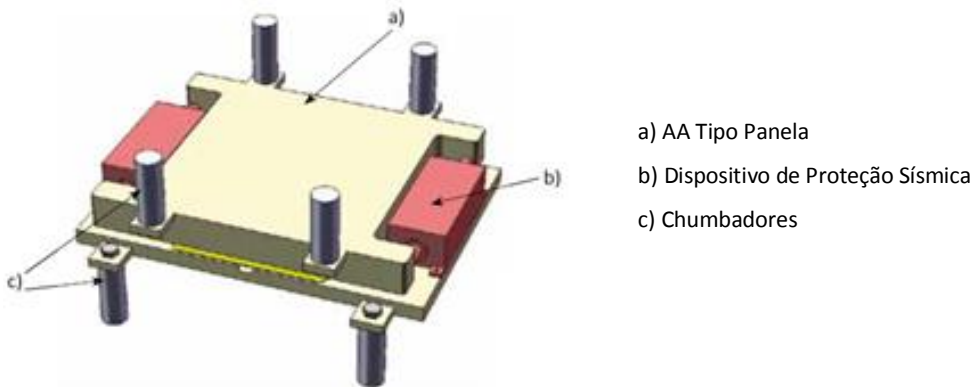


Figura 29 - AA tipo Panela com dispositivo de proteção sísmica (Freyssinet, Tetron CD - Mechanical Pot-Bearings, 2010)

2.3.7 Aparelhos de Apoio de Tração

AA de Tração apresentam como principal função restringir movimentos de elevadas dimensões. Quando estão presentes cargas que geram reações nos apoios dá-se o levantamento do tabuleiro da ponte e estes AA são dimensionados para resistirem a esses esforços de tração.

Apresentam formas variadas, podendo ser representados como simples ancoragens, até AA mais complexos compostos por batentes.

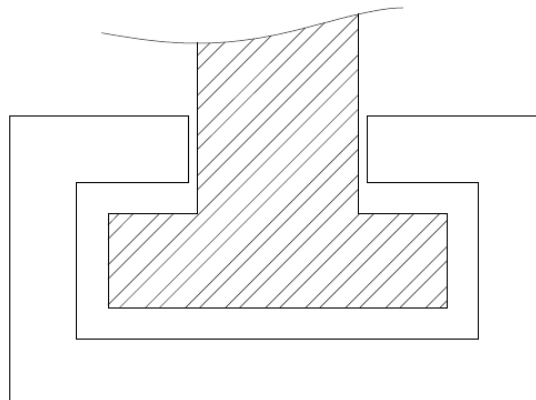


Figura 30 - Exemplo de AA de tração

2.4 Causas dos movimentos

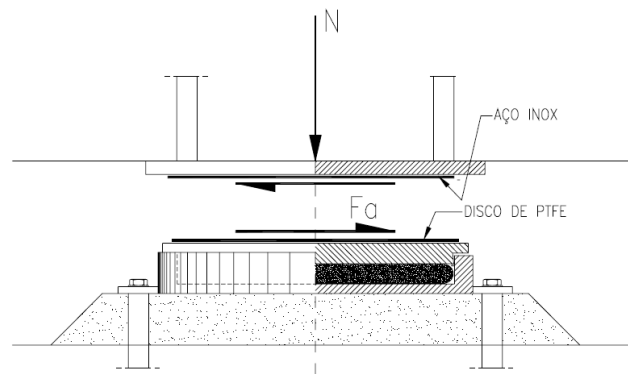
2.4.1 Quantificação das Ações

a) Ações Permanentes

- Peso Próprio
- Pré – Esforço
- Efeitos Diferidos
 - ✓ Fluência
 - ✓ Retração
- Atrito em AA de deslizamento

Embora os aparelhos de deslizamento (ou aparelhos móveis) se destinem a libertar o movimento (numa ou em ambas as direções), é impossível eliminar completamente o atrito.

Os dispositivos utilizados para reduzir o atrito envolvem a utilização de uma chapa de aço inox que desliza sobre uma lâmina de um produto sintético designado por PTFE, conforme se mostra na figura seguinte:



$$F_a = \mu N;$$

Figura 31 - Exemplo de Redução de Atrito (Jacinto, 2004)

Atrito aço / teflon: $\mu = 0.010$ a 0.030 ;

Em casos práticos como fator de segurança é normalmente utilizado um valor superior ao referido, $\mu = 0.050$;

b) Ações Variáveis

- Sobrecarga Rodoviária
 - ✓ Veículo tipo com 3 eixos e 6 rodas:
 - ✓ Sobrecarga uniforme + Sobrecarga Linear (SCU + SCL)
- Frenagem
- Sobrecarga em Passeios
- Sismo
- Vento
- Variações de Temperatura
 - ✓ Variações Uniformes de temperatura.
 - ✓ Variações Diferenciais de temperatura
- Pressões Hidrodinâmicas
- Ações atuantes na fase construtiva
- Ações de Levantamento do tabuleiro

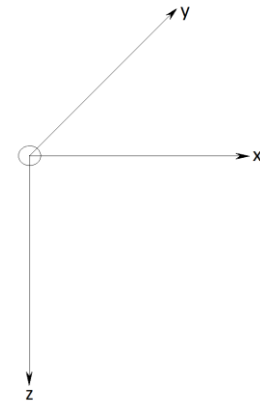
c) Ações Acidente

2.4.2 Cargas transmitidas a cada tipo de AA

De acordo com a norma EN1337 apresentam-se em seguida as cargas que podem ser transmitidas a cada aparelho de apoio:

Tabela 8 – Cargas transmitidas a cada tipo de Aparelho de Apoio (EN1337-1)

| Símbolo | Fz | Fx | Fy | Mx | My | Mz |
|---------|----|----|----|----|----|----|
| | × | × | × | □ | □ | ○ |
| | × | □ | × | □ | □ | ○ |
| | × | □ | □ | □ | □ | ○ |
| | ○ | □ | × | ○ | ○ | ○ |
| | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ |



“X” - Cargas regulares

“□” - Pequenas cargas indesejáveis, contudo por vezes são de carácter importante para a estrutura.

“O” - Cargas indesejáveis, de carácter importante para a estrutura

Cargas marcadas com “X” devem ser tidas em conta para a estrutura em todos os casos.

Cargas marcadas com “□” devem ser verificadas em cada caso individual, se são insignificantes ou não.

Cargas marcadas com “O” são sempre prejudiciais para a estrutura.

Apresentam-se as cargas que mais contribuem para o aumento das diversas forças:

Tabela 9 – Fontes das cargas aplicadas nos AA

| | |
|-------------------------|--|
| F_z | Peso Próprio, tráfego e vento Lateral |
| F_x em AA fixos | Frenagem, força de fricção, pré-esforço, temperatura, retração e arqueamento da estrutura |
| F_x, F_y em AA móveis | Forças de fricção dependentes de F_z |
| F_y em AA fixos | Vento, Força centrífuga, pré-esforço, temperatura, resposta as forças de fricção, retração e forças de deformação. |
| M_x e M_y | Excentricidade de F_z , rotações causadas pelo peso próprio, pré- esforço e tráfego |

3

Vida Útil – Principais Anomalias

3.1 Introdução

O presente capítulo descreve as causas das anomalias mais frequentes nos AA.

As anomalias estão principalmente relacionadas com a função que os aparelhos desempenham nas Obras de Arte.

Não são apenas as cargas que originam as anomalias nos AA mas, sim todos os fatores desde a concepção até ao funcionamento “in-situ” onde podem existir erros de projeto ou funcionamento anómalo da estrutura relativamente ao esperado.

As causas das patologias verificadas nos AA têm natureza variada e quando não tratadas adequadamente comprometem a funcionalidade da estrutura.

São assim divididas em dois grandes grupos:

- Causas Endógenas: São os processos de deterioração inerentes à própria estrutura, ou seja, a sua origem é dada na execução, utilização, falhas humanas, etc.
- Causas Exógenas: Externa ao corpo do material, são os fatores que atacam a estrutura de fora para dentro, durante a concepção, execução ou ao longo da VU.

3.2 Fabricação, Transporte, Instalação, Funcionamento e Manutenção

3.2.1 *Fabricação*

Aspetos relacionados com a fabricação são responsáveis pelo mau funcionamento dos AA após a sua instalação.

Uma das principais causas é o não seguimento/cumprimento dos procedimentos de execução, levando ao incumprimento dos valores “tabelados”, ou seja, controlo de qualidade pouco rigoroso. Estas falhas podem alterar a resistência dos materiais que conseqüentemente não suportam os esforços a que vão estar sujeitos, colocando em causa a integridade da estrutura.

3.2.2 *Transporte*

Apresentam-se em seguida os principais cuidados a ter no transporte dos AA.

- O acondicionamento correto, evitando o contacto entre AA, pois este contacto pode danificar a proteção anticorrosiva.
- Fixações resistentes e seguras impedindo movimentações durante o transporte.
- Em AA compostos por peças separadas, devem ser verificados todos os elementos e certificado que existe uma boa ligação entre eles (bons encaixes).
- Em muitos casos os AA apresentam peso elevado que não permite o seu manuseamento de forma manual. Nestes casos é necessário recorrer a estruturas auxiliares de apoio (miniguias). Também nestas situações as fixações são muito importantes.

3.2.3 *Armazenamento*

O armazenamento é um aspeto importante, pois o local onde o AA se encontra antes da sua instalação deve apresentar condições adequadas. Devem ser locais bem isolados, sem contacto direto com a atmosfera, nestes locais não devem existir produtos agressivos (químicos), e devem ser ventilados evitando grandes temperaturas e a presença de humidade.

Os AA devem estar sempre na posição de instalação (garantir a horizontalidade) e se possível não devem ser armazenados em “pilha” pois podem existir danos devido ao seu elevado peso.

Quando empilhados, e devido ao seu peso, devem ficar perfeitamente alinhados pois uma distribuição de carga não uniforme pode danificar as placas de teflon, Neoprene. Também nestas situações é necessária a existência de elementos de proteção entre os AA.

3.2.4 Instalação

Comparado com os restantes pontos a instalação dos AA é dos mais relevantes. É aqui onde é mais frequente encontrar anomalias causadas por erros humanos.

Aspectos como posicionamento, inclinações, alturas, são os que mais se destacam.

Apresentam-se “sugestões” de modo a evitar erros na instalação dos AA:

- O método de fixação dos AA na estrutura deve assegurar uma ligação eficaz permitindo futuramente a sua fácil remoção, caso seja necessário, sem afetar a estrutura, nem sobrecarregar outros AA entre outros danos.
- Antes da fixação, os AA devem ser verificados de modo a garantir que correspondem aos referidos no projeto.
- Os locais de colocação dos AA devem ser munidos das armaduras adequadas de modo a suportarem as cargas a que vão estar sujeitos (figura31).



Figura 32 - Local de instalação dos AA

- O peso da estrutura não deve ser transferido para os AA até que o material que constitui o plinto superior e inferior ofereça resistência suficiente para suportar as forças aplicadas.
- Os dispositivos de fixação temporários devem ser removidos no momento adequado (antes da transmissão de esforços e movimentos aos AA), contudo existem atualmente sistemas em latão que não necessitam de ser removidos uma vez que rompem quando solicitados pela estrutura.
- Os furos dos dispositivos de fixação temporários também têm que ser preenchidos. Contudo, estes furos são por vezes utilizados pelas fixações definitivas pelo que o material utilizado para os encher deve ser facilmente removível.
- Pré ajustes nos aparelhos de apoio devem ser evitados, pois estão associados a dificuldades de montagem.
- É essencial garantir que os AA são suportados de maneira uniforme ao longo de toda a sua área de alinhamento, particularmente aqueles com um único eixo de rotação ou limitação horizontal.
- O Plinto deve apresentar uma superfície plana e livre de irregularidades, contudo uma superfície excessivamente lisa/suave deve ser evitada pois é prejudicial para o atrito entre a base e o AA.

De modo a eliminar as irregularidades indicadas estas devem ser preenchidas com o material adequado, dependendo este dos seguintes parâmetros:

- Dimensão da folga
- Tipo de AA
- Dimensão do Aparelho de Apoio
- Carregamento sobre os AA
- Carga precoce
- Requerimento de fricção

Acesso em torno dos AA

Como já referido, os AA são, regra geral, assentes em superfície horizontal, conforme ilustrado na figura seguinte:

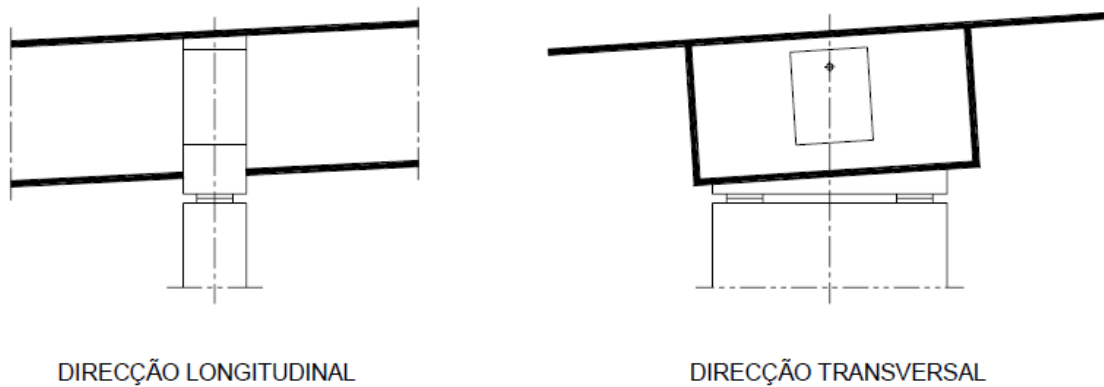


Figura 33 – Assentamento de AA em superfícies horizontais (Jacinto, 2004)

No entanto, no caso dos aparelhos móveis dispostos nos encontros, se o tabuleiro for inclinado longitudinalmente, os movimentos longitudinais não se darão na direção da junta, dando origem a um desnível. Se a inclinação do tabuleiro e o deslocamento forem grandes, o desnível gerado pode causar impacto à passagem dos rodados, afectando a durabilidade da junta. Nestes casos é preferível assentar os aparelhos num plano com a inclinação do tabuleiro.

A figura que se segue ilustra as duas possibilidades de assentamento: no plano horizontal (caso (1)) e no plano com a inclinação do tabuleiro (caso (2)).

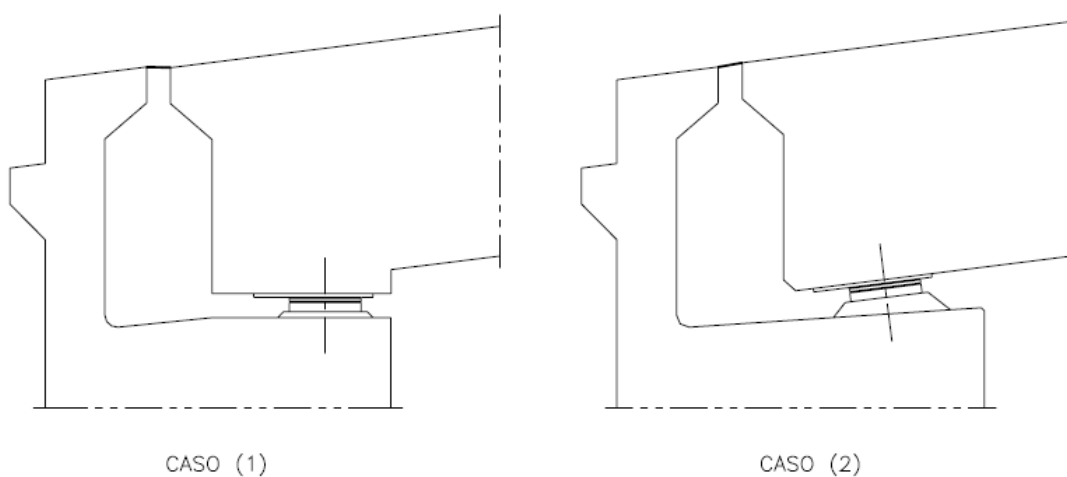


Figura 34 – Inclinação no Plano Horizontal (Caso 1) Inclinação no Plano Inclinado (Caso 2) (Jacinto, 2004)

O caso (1) tem a vantagem de não gerar forças horizontais permanentes, mas tem o inconveniente de criar desníveis na junta. O caso (2) tem a desvantagem de gerar forças

horizontais mas tem a vantagem de proporcionar movimentos na direção da inclinação do tabuleiro.

A superfície de assentamento necessita ser, regra geral, regularizada com argamassa de alta resistência e ligante não retráctil. A argamassa de assentamento deve possuir espessura da ordem de 1 cm.

Aquando da elaboração do projeto, o projetista deve deixar entre a superfície superior dos pilares ou encontros e a superfície inferior do tabuleiro, uma distância suficiente para instalação dos AA, para o que poderá consultar catálogos de AA para se certificar de que o espaço deixado é suficiente. Deverá também, conforme já referido, prever espaço para colocação de macacos em caso de necessidade de levantamento do tabuleiro para substituição de AA.

Os AA (guiados e multidirecionais) são colocados com excentricidades. Relativamente à temperatura e ação sísmica os deslocamentos a longo prazo são simétricos, contudo para a retração e fluência este deslocamento dá-se apenas no encurtamento do tabuleiro, daí a excentricidade referida (Figura 34). A excentricidade é dada por:

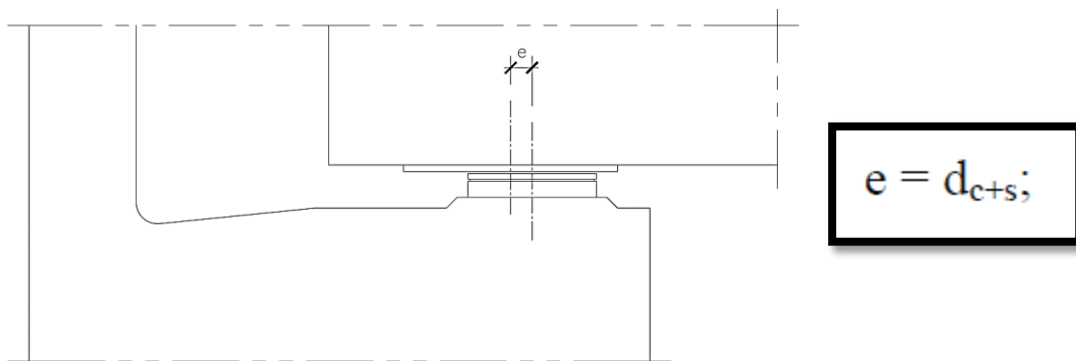


Figura 35 - Excentricidade Inicial (Jacinto, 2004)

Conclui-se que a posição da chapa depende da sequência construtiva, uma vez que os deslocamentos por efeitos diferidos começam a dar-se durante a construção. Depende também da altura do ano em que se der a construção do tabuleiro. Como normalmente não se pode prever em que altura do ano a obra vai ser construída e muito menos a temperatura ambiente, a temperatura de projeto é a temperatura média anual - de acordo com o RSA, em Portugal são de +15/-15°. No entanto, se a estrutura for construída

numa altura do ano em que a temperatura é significativamente diferente da média anual, deve rever-se a posição da chapa no coxim superior e corrigi-la, caso seja necessário.

Ou seja, a posição do coxim superior dos AA deverá ser proposta à fiscalização em função do andamento dos trabalhos e época do ano em que for efetuado o seu assentamento, podendo a qualquer altura sofrer alterações.

Após instalação dos AA estes devem ser limpos, eliminando todos as poeiras existentes, e a pintura deve ser reparada em todos os locais necessários.

3.2.5 Funcionamento

Em muitos casos os AA são projetados e concebidos para determinadas esforços, movimentos, localizações e aquando a sua instalação conclui-se que estes não são adequados para determinar a função para o qual inicialmente foram gerados.

Esta constatação pode estar relacionada com:

- Cargas verticais superiores ao esperado;
- Movimento de translação e rotação superiores ao previsto;
- Exposição a agentes corrosivos;
- Contacto com a água;
- Deficiências ao nível de impermeabilização/estanquidade;
- Falhas de drenagem;
- Danificação do sistema de proteção.

3.2.6 Controlo/Manutenção

Quer durante a instalação dos AA quer durante a sua VU é aconselhável implementar um controlo destes aparelhos de acordo com o referido no projeto.

Um controlo constante dos AA melhora o seu funcionamento assim como um aumento da sua VU. Uma monitorização constante permite também aplicar medidas de prevenção/correção atempadas reduzindo os custos que seriam necessários caso posterior identificação do problema.

Esta boa conduta pode evitar a remoção dos AA, ou seja, possibilitam a sua reparação “in situ”.

Os parâmetros mais significativos a controlar/monitorizar são os seguintes:

- Controlo/Medição dos movimentos horizontais e de rotação.
- Verificar se existe aumento do volume de tráfego ou da velocidade de circulação.
- Garantir o bom funcionamento do sistema de drenagem e verificar se as juntas de dilatação não apresentam problemas de estanquidade que levem a deterioração dos AA.
- Limpeza regular das mesas de assentamento, garantindo que os movimentos não sejam restringidos.
- Drenagem da mesa de apoio, uma drenagem deficiente pode levar à corrosão das partes metálicas dos AA.
- Garantir uma boa lubrificação de forma não existir resistência ao movimento (Atrito entre materiais).
- Para possibilitar todas estas verificações os AA devem encontrar-se em locais de fácil acesso de modo a serem facilmente avaliados.

É assim possível determinar, avaliar e caracterizar as anomalias e aplicar medidas de correção adequadas.

Contudo, devem existir fichas de Inspeção que permitam avaliar cada tipo de obra.

No Anexo B da EN1337, está presente um quadro informativo acerca dos AA com um vasto conjunto de parâmetros a ter em conta. Este quadro é uma mais-valia para determinar as anomalias e quais as causas da sua origem.

3.3 Anomalias por Tipo de Aparelho de Apoio

Neste ponto são referidas as anomalias mais comuns nos diversos tipos de AA, Neoprene, Panela (POT-Bearings), Roletes ou Rolos, Pêndulo, Articulações de Betão e Chumbo.

Apesar de existirem varias anomalias comuns, algumas são exclusivas para certos AA.

Apresentam-se em seguida os tipos mais comuns de anomalias verificados de acordo com a tipologia dos AA.

- **Articulações de Betão (AB)**

Por apresentarem grandes quantidades de armadura e betão geram grandes esforços no seu interior só permitindo movimentos pendulares de rotação. A rotação da articulação é assegurada pela capacidade de deformação elástica e plástica de betão. Contudo, rotações de grande amplitude originam fendas.

Principais anomalias:

- ✓ Esmagamento ou fissuração dos cantos
- ✓ Corrosão das armaduras
- ✓ Inclinação excessiva
- ✓ Aparecimento de fendas, fissuras e perda de secção.

- **Aparelhos de Apoio de Neoprene**

O que diferencia os AA de Neoprene dos demais é a sua grande capacidade de sobreviver à falta de manutenção, questão a que os demais aparelhos estão sujeitos periodicamente. Contudo, nenhum aparelho é perfeito, assim apresentam-se em seguida as anomalias mais comuns nos AA de Neoprene.



Figura 36 – Aparelho de Apoio Neoprene
(Bruneau, Anagnostopoulou, & Palermo[3],
2010)

- ✓ Distorção elevada do Neoprene;
- ✓ Fissuração ou fluência no Neoprene;
- ✓ Desligamento da zona de contacto da estrutura (Figura35);
- ✓ Compressão elevada no Neoprene;
- ✓ Perda da capacidade de serviço e de distorção;
- ✓ Variações na espessura da camada de borracha;
- ✓ Assentamento irregular;

- **Panela – Pot Bearings**

Surgiram com a finalidade de acoplar duas propriedades, capacidade de oscilação, ou rotação, com uma pequena resistência e a transmissão da reação do aparelho de apoio sobre uma área definida.



Figura 37 – AA tipo Panela (Pot Bearing) (Mageba)

Apresentam-se as anomalias mais comuns:

- ✓ A corrosão da placa de deslizamento em aço inoxidável;
- ✓ Abaulamento ou extrusão do elastómero;
- ✓ Deslocamento PTFE;
- ✓ Bloqueio de deslocamentos por obstrução da folga entre a tampa e a panela;
- ✓ Revestimento de teflon deteriorado.
- ✓ Deformação da almofada de Neoprene dentro da panela.

- **Aparelhos de Apoio de Roletes ou Rolos**

Este tipo de aparelho de apoio é utilizado quando se pretende libertar movimentos longitudinais e bloquear movimentos transversais e rotações. De modo geral este sistema consiste num cilindro entre duas placas. Estes rolos podem apresentar diferentes modos de funcionamento, um único rolo, múltiplos rolos entre outros.

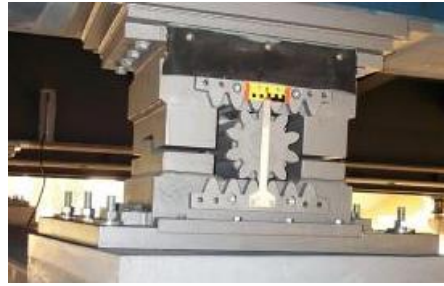


Figura 38 - AA de Roletes ou Rolos (RW Sollinger Hütte)

As principais patologias verificadas nestes AA são as seguintes:

- ✓ Fissuração ou rotura dos rolos/roletes;
- ✓ Deformação dos Rolos/Roletes;
- ✓ Inclinação dos Roletes
- ✓ Corrosão do aço impedindo o movimento desejado;
- ✓ Perda de revestimento exterior
- ✓ Desgaste dos dentes do rolete
- ✓ Perda de movimentos por existência de detritos
- ✓ Deslocamento excessivo do apoio móvel;
- ✓ Transposição da guia ou bloqueio;
- ✓ Fissuração, rotura ou deformação das chapas metálicas;

- **Aparelhos de Apoio tipo Pêndulo**

AA tipo pêndulo permitem movimentos de rotação enquanto ao mesmo tempo bloqueiam movimentos longitudinais. A rotação é realizada por meio de um pino que se encontra na superfície circular. É equipado com tampas que resistem a forças de levantamento e impedem que os pinos deslizem para fora dos assentos.

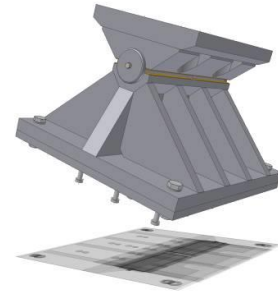


Figura 39 – AA tipo Pêndulo (Vaidya)

Apresentam-se as principais anomalias destes AA:

- ✓ Resistência ao deslocamento por falta de lubrificação
- ✓ Inclinação excessiva do pêndulo
- ✓ Corrosão das partes metálicas;
- ✓ Resistência à rotação por acumulação de detritos

- **Aparelhos de Apoio em Chumbo**

AA em chumbo atualmente caíram em desuso e que ainda se encontram em funcionamento apresentam grande deterioração, o que obriga à sua substituição.

As suas principais anomalias são:

- ✓ Esmagamento, deterioração e fluência da almofada de chumbo
- ✓ Deficiente integridade na base de assentamento

- **Aparelhos de Apoio Lineares**

Estes são aparelhos metálicos com possível agregação de Neoprene ou PTFE. Os deslocamentos são assegurados por movimentos de translação sobre superfícies planas.

Apresentam-se em seguida as suas principais anomalias:

- ✓ Deterioração das guias ou bloqueios;
- ✓ Resistência aos deslocamentos por acumulação de detritos e corrosão;
- ✓ Fluência ou esmagamento do Neoprene;



Figura 40 – AA linear guiado (industry)

- **Aparelhos de Apoio Esféricos**

Os AA esféricos permitem movimentos em três direções distintas. São projetados para elevadas cargas verticais, horizontais e laterais assim como para grandes rotações.

Apresentam-se em seguida as principais anomalias destes AA:

- ✓ Corrosão das partes metálicas
- ✓ Desgaste do PTFE
- ✓ Fissuração de peças;
- ✓ Obstrução do deslocamento da superfície côncava por acumulação de detritos.



Figura 41 – AA Esférico (USA)

- **Anomalias análogas a todos os AA**

Apesar de diferenças na sua constituição e diferentes modos de funcionamento existem algumas anomalias comuns a todos os tipos de AA. Enumeram-se assim as seguintes anomalias:

- ✓ Ausência de lubrificação condicionando os movimentos;
- ✓ Presença de detritos que condicionam os movimentos;
- ✓ Desnivelamento/Inclinação indesejada da base de assentamento;

3.4 Reparação e Conservação de Aparelhos de Apoio

A decisão de reparar ou substituir um AA pode ser feita de acordo com o relatório da inspeção realizada previamente que explica a condição destes, quais os problemas, condição do AA e os métodos de reparação a serem utilizados.

Contudo existem métodos usuais que são geralmente utilizados, tais como:

- ✓ Limpeza e pintura
- ✓ Lubrificação
- ✓ Substituição de componentes desgastadas
- ✓ Reajuste
- ✓ Modernização – “upgrade”
- ✓ Substituição do AA.

A tabela seguinte expressa os métodos de reparação utilizados em diversos casos.

Tabela 10 – Danos vs Métodos de Reparação

| Danos nos AA | Métodos de Reparação |
|--|---|
| AA colado/congestionado | Controlo da Temperatura, limpeza e lubrificação |
| Corrosão, presença de poeiras, água da chuva e sais | Limpeza e pintura com tintas de proteção. Selagem da água da chuva/água salgada. Proteção das atividades de animais. Controlo da humidade. |
| Más conexões e ancoragens | Substituição de componentes desgastadas. Retrofitting* Se necessário substituição dos AA |
| Corrosão massiva, levando à perda de secções | Substituição do AA |
| Deslocamento do AA, desalinhamento e perda de componentes | Substituição de componentes desgastadas |
| Deterioração do Neoprene em AA elastoméricos, delaminação ¹ do aço, desgaste de PTFE. | Substituição do AA |
| Inclinação excessiva do AA por cargas elevadas | Reparação da inclinação do AA Retrofitting Substituição do AA |
| Deterioração do AA por cargas Sísmicas | Substituição do AA por um com dispositivo sísmico (Retrofitting) |
| Más condições de funcionamentos (Deslizamento e rolamento) | Limpeza e lubrificação das superfícies |
| Fragmentação do betão de apoio dos AA | Remoção do betão e recolocação de betão armado na zona de assentamento. |
| Fissuras | Controlo e monitoração das fissuras. Selagem das fissuras existentes. Substituição do AA |
| Alta fricção ou restrição de movimentos. Perda de atrito ou movimentos descontrolados | Lubrificação. Substituição das partes deslizantes. Controlo da Fricção |

¹ Delaminação – Processo de separação física do metal e do plástico através de uma onda de choque

Limpeza e Pintura

Limpeza e pintura são os métodos mais comuns de reparação e manutenção de AA, pois geralmente todos os tipos de AA têm componentes de aço.

A limpeza é feita para remover todos os tipos de ferrugem, poeiras, impurezas de superfície, vestígios de atividade animal e preparar a superfície do aço para os tratamentos de proteção contra corrosão.

Métodos de limpeza:

- ✓ Limpeza através de aguarrás²;
- ✓ Remoção da ferrugem através de escovas de aço;
- ✓ A decapagem³ com ácido sulfúrico, ácido fosfórico ou de fosfato de ferro;
- ✓ Jacto de areia ou granalha⁴ de aço;
- ✓ Jacto de água;

Recomenda-se que em locais onde estão presentes saís de degelo os AA sejam limpos após a época de inverno.

Métodos de pintura:

- ✓ Pintura com tintas de remoção especial ferrugem;
- ✓ Aplicação de tintas especiais nas peças de aço protegendo-as contra a corrosão;
- ✓ Revestimentos com tintas de alto desempenho.

Na limpeza, a qualidade do primário, mão-de-obra, a qualidade da tinta e o seu método de aplicação estão associados à qualidade da proteção contra a corrosão, portanto, um bom controle de qualidade deve ser assegurado durante a pintura.

² Aguarrás – essência da terebintina, uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos, com faixa de destilação compreendida entre 151 e 240°C. Utilizada principalmente como solvente e também na fabricação de ceras, graxas e tintas.

³ Decapagem – processo sobre superfícies metálicas que visa à remoção de oxidações e impurezas inorgânicas.

⁴ Granalha – tipo de partículas de aço usadas como meio abrasivo ou de martelagem e que geralmente estão disponíveis sob 3 formatos, esférica, angular e arame cortado.

Retrofitting

Retrofitting é o processo utilizado na melhoria das funções, capacidade de carga, capacidades sísmicas e capacidades de movimento.

Inicialmente deve ser realizado um controlo adequado, de investigação do AA e da própria ponte com o fim de determinar as causas do problema no AA danificado ou com baixo desempenho. Este processo ajuda na determinação das medidas de “Retrofitting” adequadas a serem utilizadas (Oladimeji, 2012).

Retrofitting simboliza nos AA a adaptação da ponte ou do AA de modo a eliminar o problema existente que impede o correto funcionamento de toda a OA.

Existem assim os seguintes métodos de Retrofitting:

- ✓ Uso de barras de contenção
- ✓ Utilização de amortecedores
- ✓ Utilização de unidades de transmissão de choques
- ✓ Utilização de chaves de cisalhamento e suportes de contenção;
- ✓ Instalação de AA, rolamentos adicionais de isolamento, AA de Neoprene, chumbo, fricção, pêndulo, entre outros.

3.5 Definição de Vida Útil

O Ciclo de vida de um produto é o intervalo de tempo que decorre desde que este inicia a sua função até que deixa de garantir os requisitos para o qual foi produzido.

No caso dos AA define-se VU como o período desde a sua instalação até ao momento em que, devido a causas adversas, exista uma anomalia nestes aparelhos que os impossibilite de realizar a sua função dentro das medidas de segurança.

Os fatores adversos podem ser falhas de construção, de instalação ou de colocação, falhas de concepção ou de funcionamento, falha nos materiais constituintes e/ou falhas nas bases de assentamento.

De acordo com (Freire, 2010) as anomalias apresentam uma pontuação que engloba a sua interferência no funcionamento do aparelho de apoio e a prioridade da sua resolução.

A pontuação apresentada é definida pela seguinte expressão:

$$PA = 15 \times UA + 15 \times VT + 10 \times VU$$

A pontuação de cada anomalia é a soma de três parâmetros: **UA** (Urgência de Atuação) define o nível de atuação sobre a anomalia, **VT** (Volume de Tráfego) define o incómodo causado aos utilizadores da via e **VU** (Importância para a VU do aparelho de apoio) define o efeito penalizador da anomalia na manutenção em serviço do aparelho de apoio.

Todos estes fatores são abordados com maior detalhe na publicação anteriormente referida.

É apresentada a seguinte classificação de acordo com as pontuações obtidas:

Tabela 11 – Classificação de acordo com a Pontuação obtida

| Prioridade | Pontuação | Intervenção |
|------------|-------------------|-------------|
| 1 | $PA \geq 75$ | Urgente |
| 2 | $60 \leq PA < 75$ | Curto Prazo |
| 3 | $45 \leq PA < 60$ | Médio Prazo |
| 4 | $PA < 45$ | Longo Prazo |

No âmbito do presente trabalho irá considerar-se que um aparelho de apoio atinge a sua vida útil quando surge uma anomalia de prioridade 2, ou seja, obtém uma pontuação superior a 60. Nesta situação o aparelho de apoio considerado apresenta uma anomalia muito grave, que diminui drasticamente a sua VU e coloca em causa o funcionamento da estrutura. Pode existir deterioração dos materiais constituintes ou problemas graves de ligação à estrutura, os quais não permitem o seu correto funcionamento. Estes casos necessitam de intervenção, de reparação ou de substituição, a curto prazo (1 a 2 anos).

Apresentam-se as causas mais comuns nos AA que podem levar à sua degradação.

Falhas de construção, instalação ou colocação, tais como:

- ✓ Fixações provisórias dos AA não retiradas;
- ✓ Defeito de geometria ou de execução das bases de assentamento;
- ✓ Aparelhos fixos com o lado mais pequeno não paralelo ao eixo do pilar;
- ✓ Inversão da colocação do aparelho de apoio;
- ✓ Fixações ao aparelho de apoio deficientes.

Falhas de concepção ou de funcionamento, tais como:

- ✓ Inclinação desajustada dos rolos ou roletes;
- ✓ Desalinhamento dos eixos dos roletes em roletes multidirecionais;
- ✓ Inclinação excessiva do pêndulo;
- ✓ Impedimento do deslocamento ou rotação por deposição de detritos;
- ✓ Impedimento do deslocamento ou rotação por corrosão excessiva;
- ✓ Distorção elevada do Neoprene;
- ✓ Deformação lateral elevada na almofada de Neoprene dentro da panela;
- ✓ Deslocamento excessivo do aparelho de apoio móvel;
- ✓ Falta de lubrificação;
- ✓ Compressão elevada do Neoprene.

Falhas nos materiais constituintes, tais como:

- ✓ Defeitos de betão nas articulações de betão;
- ✓ Corrosão das armaduras nas articulações de betão;
- ✓ Fissuração, ovalização, quebra ou desgaste dos roletes;
- ✓ Defeitos de revestimento de deslizamento em teflon;
- ✓ Esmagamento, deterioração e fluência da camada de betão;
- ✓ Defeitos nas camadas de Neoprene;
- ✓ Corrosão das partes metálicas;
- ✓ Deterioração das guias ou batentes;
- ✓ Degradação dos vedantes da panela.

Falhas nas bases de assentamento, tais como:

- ✓ Deslocamento das mesas de assentamento;
- ✓ Humidade ou água estagnada na base de assentamento;
- ✓ Detritos ou vegetação.

3.6 Análise de Dados

De seguida é elaborado um estudo sobre uma amostra presente na publicação (Freire, 2010), onde se apresenta a VU média dos AA, no global e em particular, quais os tipos de anomalia mais frequentes em cada tipo de AA e a relação dessas anomalias com a VU de cada tipo de AA.

3.6.1 Frequência de anomalias

Analisando em termos percentuais as anomalias existentes, verifica-se que existem 337 anomalias num total de 146 AA. Estabelecendo a relação Anomalia/Aparelho de Apoio obtém-se um valor de aproximadamente 2,3, ou seja, cada aparelho de apoio tem em média 2,3 anomalias.

Destacam-se para este estudo quatro tipos de Anomalias:

- A – Anomalia nos materiais constituintes
- B – Anomalias de concepção ou funcionamento
- C – Anomalias de construção, instalação ou colocação
- D – Anomalias nas bases de assentamento

Após análise detalhada conclui-se que as anomalias mais comuns são do tipo A e as menos comuns do tipo C, encontrando-se a um nível intermédio as anomalias do tipo D e do tipo B.

Apresenta-se graficamente a percentagem de anomalias existentes:

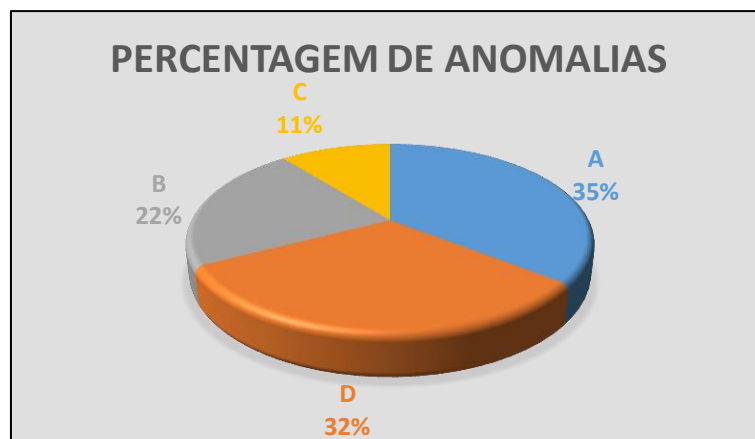


Figura 42 – Percentagem de cada tipo de anomalia

3.6.2 Idade Média

Neste ponto realiza-se um estudo acerca da VU dos AA, apresentando a idade média de cada tipo de AA.

São apresentados sete tipos de AA, Neoprene, Panela, Apoio Linear, Pêndulo, Articulação de Betão, Chumbo e Roletes. De referir que alguns destes tipos de AA, tem um número de amostras reduzido pelo que os valores obtidos não são considerados válidos. Para além disso os mesmos não são muito utilizados actualmente.

Excluindo os AA de chumbo, pêndulo e lineares, obtém-se uma VU de aproximadamente 23,6 anos.

Englobando todos os tipos de AA presentes na amostra este valor aumenta para 28,5 anos.

Apresenta-se em seguida a idade média para cada tipo de AA.

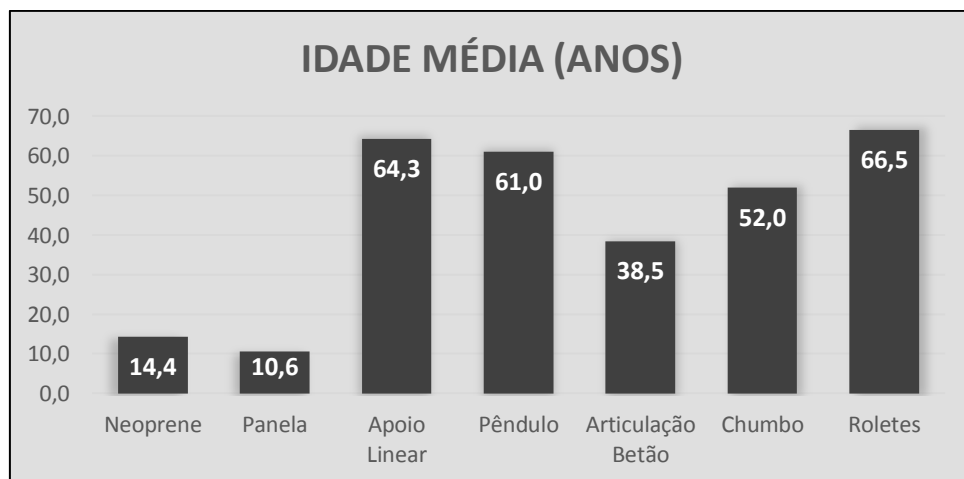


Figura 43 – Vida útil média de cada tipo de aparelho de apoio em anos

O valor da VU dos AA tipo Rolete é de 66,5 anos, o que aparenta ser um pouco inflacionado, contudo é justificado pela existência de apenas 10 amostras. Este motivo, como já referido anteriormente é aplicado também aos AA tipo Linear, Chumbo, Pêndulo e Articulação de Betão.

Ao excluir todos estes tipos de AA e dando especial atenção aos dois tipos de AA mais utilizados atualmente Neoprene e Pot-Bearings, o valor médio da vida útil é de 12,5 anos.

3.6.3 Relação “Anomalia/Tipo de Aparelho de Apoio”

A identificação das anomalias mais comuns nos AA é fundamental para que se possa prolongar a VU dos mesmos. Desta forma e pela amostra em estudo apresenta-se em seguida a relação entre cada tipo de anomalia e o número total de anomalias existentes num determinado tipo de Aparelho de Apoio.

São então contabilizadas o número total de anomalias existentes em cada aparelho de apoio. De seguida são contabilizadas as anomalias de acordo com o tipo de AA. Obtém-se desde modo a percentagem de anomalias mais comuns tendo em conta a quantidade de anomalias por tipo aparelho de apoio.

De referir que apenas são abordadas as anomalias mais comuns, ou seja, todas as que possuem percentagens superiores a 4%, pelo que na representação gráfica é exposta uma parcela “restantes” que corresponde ao conjunto de todas às anomalias menos comuns.

- AA de Neoprene Cintado

Tabela 12 – Avaliação de Anomalias nos AA de Neoprene Cintado

| | |
|--|------|
| Número Total de Anomalias | 178 |
| Número de AA Neoprene | 84 |
| Anomalia por AA | 2,12 |
| <i>Percentagem Anomalia mais comum</i> | |
| A-8 | 17% |
| BB-3 | 15% |
| D-4 | 14% |
| D-2 | 8% |
| A-7 | 7% |
| B-6 | 7% |
| C-1 | 6% |
| B-8 | 4% |



Figura 44 - Número das anomalias mais frequentes em AA de Neoprene Cintado

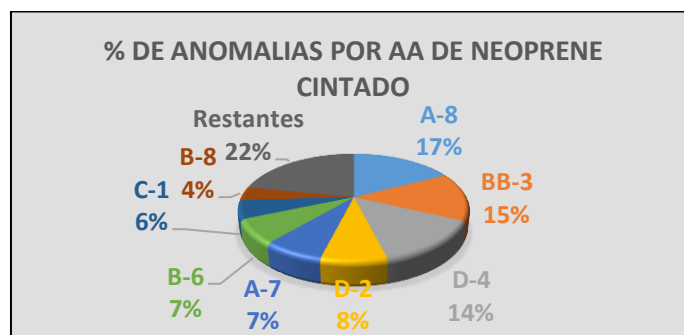


Figura 45 - Frequência de anomalias por AA de Neoprene Cintado

Nos AA em Neoprene Cintado conclui-se que as três anomalias mais comuns são:

- ✓ **A-8:** Corrosão das partes metálicas
- ✓ **BB-3:** Compressão elevada do Neoprene.
- ✓ **D-4:** Detritos ou vegetação.
- AA de Roletes

Tabela 13 - Avaliação de Anomalias nos AA de

| | |
|-----------------------------------|------|
| Número Total de Anomalias | 42 |
| Número de AA Rolete | 17 |
| Anomalia por AA | 2,47 |
| Percentagem Anomalias mais comuns | |
| A-8 | 31% |
| D-4 | 17% |
| B-6 | 14% |
| D-3 | 7% |
| B-7 | 7% |
| Restantes | 24% |

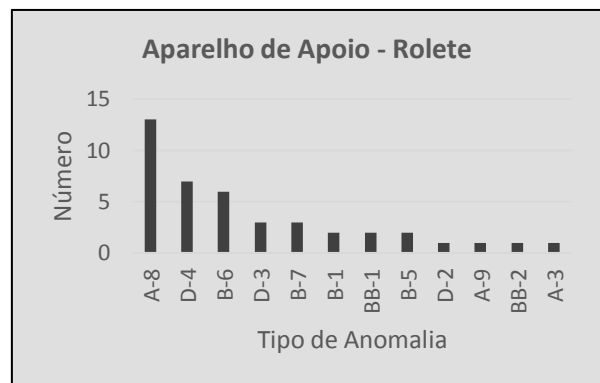


Figura 46-Número das anomalias mais frequentes em AA de Roletes

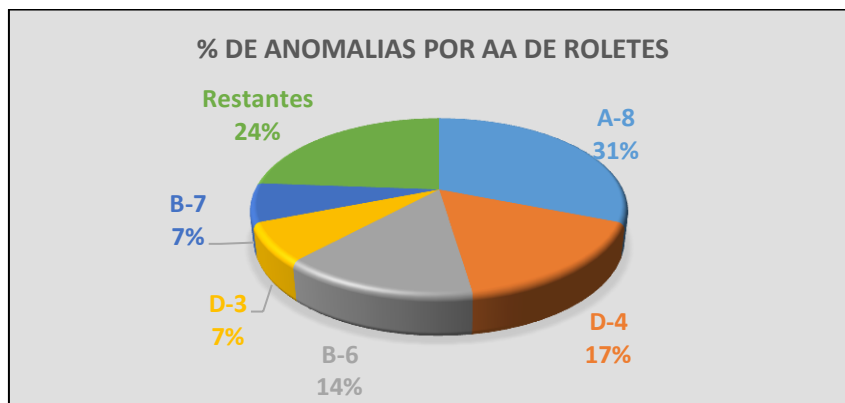


Figura 47 - Frequência de anomalias por AA de Roletes

Nos AA de Roletes conclui-se que as três anomalias mais comuns são:

- ✓ **A-8:** Corrosão das partes metálicas.
- ✓ **D-4:** Detritos ou vegetação.
- ✓ **B-6:** Impedimento do deslocamento ou rotação por depósito de detritos.

- AA tipo Panela (Pot-Bearings)

Tabela 14 - Avaliação de Anomalias nos AA tipo Panela

| | |
|---------------------------------|------|
| Número Total de Anomalias | 76 |
| Número de AA Panela | 27 |
| Anomalia por AA | 2,81 |
| Percentagem Anomalia mais comum | |
| A-8 | 30% |
| D-4 | 26% |
| C-1 | 17% |
| D-2 | 8% |
| A-9 | 8% |
| Restantes | 11% |

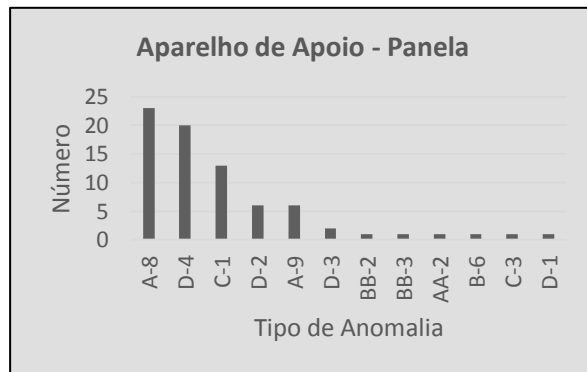


Figura 48 - Número das anomalias mais frequentes em AA tipo Panela

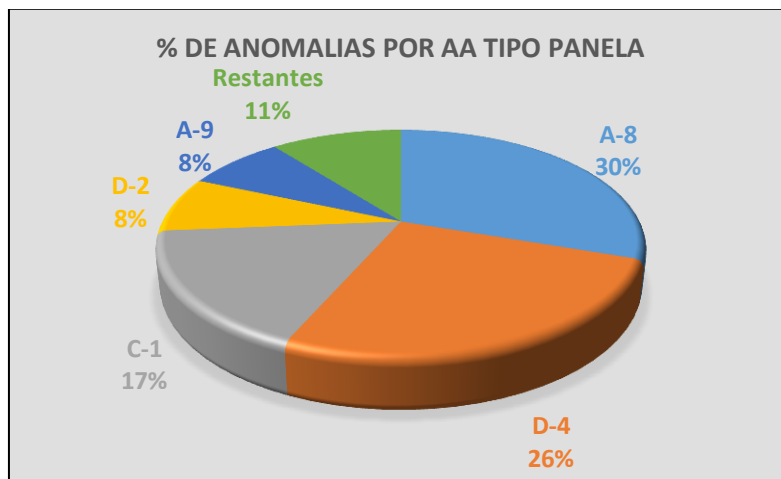


Figura 49 - Frequência de anomalias por AA tipo Panela

Nos AA tipo Panela conclui-se que as três anomalias mais comuns são:

- ✓ **A-8:** Corrosão das partes metálicas.
- ✓ **D-4:** Detritos ou vegetação.
- ✓ **C-1:** Fixações provisórias dos AA não retiradas.

- AA tipo Pêndulo

Tabela 15 - Avaliação de Anomalias nos AA tipo Pêndulo

| | |
|---------------------------------|------|
| Número Total de Anomalias | 25 |
| Número de AA Pêndulo | 13 |
| Anomalia por AA | 1,92 |
| Percentagem Anomalia mais comum | |
| A-8 | 44% |
| D-4 | 32% |
| B-7 | 8% |
| D-3 | 8% |
| Restantes | 8% |

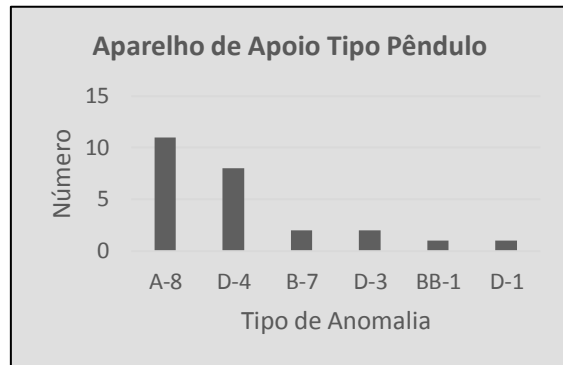


Figura 50- Número das anomalias mais frequentes em AA tipo Pêndulo

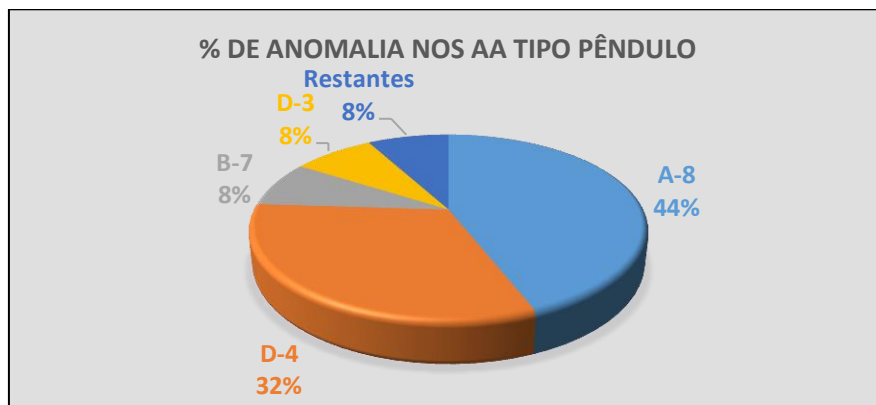


Figura 51 - Frequência de anomalias por AA tipo Pêndulo

Nos AA tipo Pêndulo conclui-se que as três anomalias mais comuns são:

- ✓ **A-8:** Corrosão das partes metálicas.
- ✓ **D-4:** Detritos ou vegetação.
- ✓ **B-7:** Impedimento de deslocamento ou rotação por corrosão excessiva.
- ✓ **D-3:** Humidade ou água estagnada na base de assentamento.

- AA Linear

Tabela 16 - Avaliação de Anomalias nos AA Linear

| | |
|---------------------------------|------|
| Número Total de Anomalias | 7 |
| Número de AA Linear | 4 |
| Anomalia por AA | 1,75 |
| Percentagem Anomalia mais comum | |
| A-8 | 43% |
| D-4 | 29% |
| B-6 | 14% |
| B-7 | 14% |

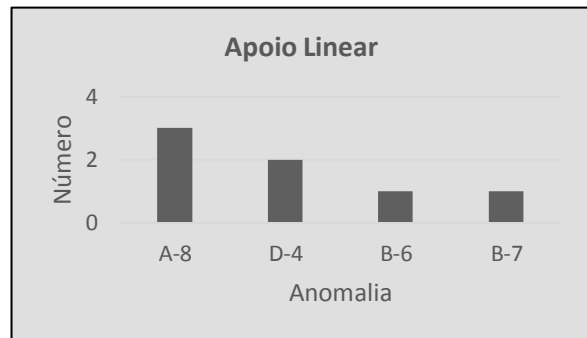


Figura 52 - Número das anomalias mais frequentes em AA Linear

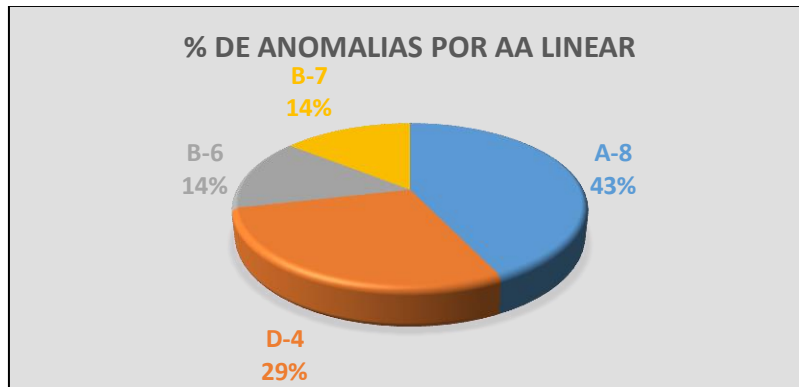


Figura 53 - Frequência de anomalias por AA Linear

Nos AA Lineares conclui-se que as quatro anomalias mais comuns são:

- ✓ **A-8:** Corrosão das partes metálicas.
- ✓ **D-4:** Detritos ou vegetação.
- ✓ **B-7:** Impedimento de deslocamento ou rotação por corrosão excessiva.
- ✓ **B-6:** Impedimento do deslocamento ou rotação por depósito de detritos.

- AA de Chumbo

Tabela 17 - Avaliação de Anomalias nos AA de Chumbo

| | |
|--|------|
| <i>Número Total de Anomalia</i> | 5 |
| <i>Número de AA Chumbo</i> | 3 |
| <i>Anomalia por AA</i> | 1,67 |
| <i>Percentagem Anomalia mais comum</i> | |
| A-6 | 60% |
| D-2 | 20% |
| D-4 | 20% |

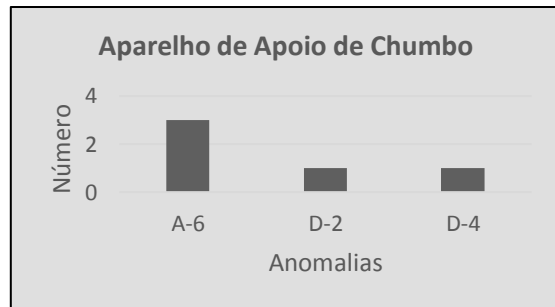


Figura 54 - Número das anomalias mais frequentes em AA de Chumbo

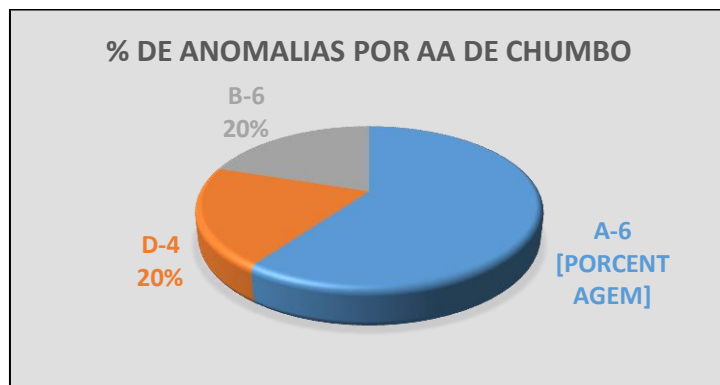


Figura 55 - Frequência de anomalias por AA de Chumbo

Nos AA de chumbo conclui-se que as três anomalias mais comuns são:

- ✓ **A-6:** Esmagamento, deterioração e fluência da camada de chumbo.
- ✓ **D-4:** Detritos ou vegetação.
- ✓ **B-6:** Impedimento do deslocamento ou rotação por depósito de detritos.

- AA tipo Articulações de Betão

Tabela 18 - Avaliação de Anomalias nos AA tipo

| | |
|---------------------------------|-----|
| Número Total de Anomalias | 3 |
| Número de AA Chumbo | 2 |
| Anomalia por AA | 1,5 |
| Percentagem Anomalia mais comum | |
| A-1 | 67% |
| A-2 | 33% |

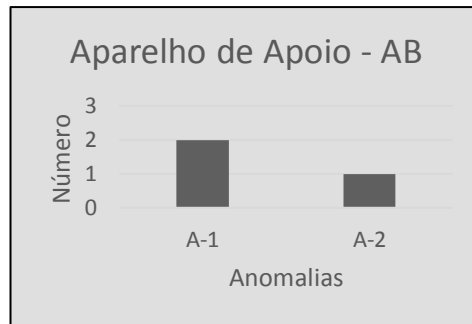


Figura 56 - Número das anomalias mais frequentes em AA tipo Articulação de Betão

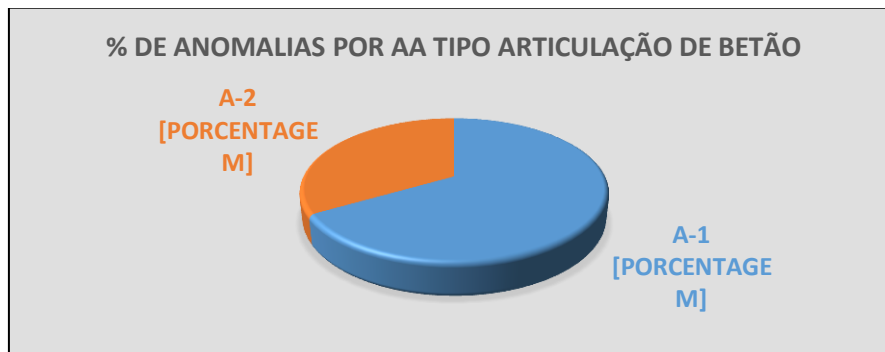


Figura 57 - Frequência de anomalias por AA tipo Articulação de Betão

Nos AA tipo articulação de betão conclui-se que as anomalias mais comuns são:

- ✓ **A-1:** Defeitos de betão nas articulações de betão.
- ✓ **A-2:** Corrosão das armaduras nas articulações de betão.

3.6.4 Relação “Anomalia por AA/Número total dessa Anomalia”

Neste ponto são contabilizadas o número total das anomalias mais comuns nos aparelhos e realizada uma relação entre esse número total e o número dessa anomalia num determinado aparelho de apoio.

É assim possível verificar as anomalias mais comuns em cada tipo de AA em relação à quantidade total de anomalias existentes.

Apresenta-se em seguida o número total das anomalias mais comuns presentes nos AA.

Tabela 19 - Número de Anomalias existentes

| <i>Anomalia</i> | <i>Quantidade</i> |
|-----------------|-------------------|
| <i>A-8</i> | <i>81</i> |
| <i>BB-3</i> | <i>27</i> |
| <i>D-4</i> | <i>63</i> |
| <i>D-2</i> | <i>22</i> |
| <i>A-7</i> | <i>13</i> |
| <i>B-6</i> | <i>21</i> |
| <i>C-1</i> | <i>23</i> |
| <i>B-8</i> | <i>7</i> |
| <i>A-9</i> | <i>13</i> |
| <i>A-6</i> | <i>3</i> |
| <i>D-3</i> | <i>12</i> |
| <i>B-7</i> | <i>6</i> |
| <i>BB-1</i> | <i>6</i> |

Consecutivamente apresentam-se estas mesmas anomalias mas contabilizadas apenas para cada tipo de aparelho de apoio.

- *AA de Neoprene Cintado*

Tabela 20 - Percentagem de anomalias nos AA de Neoprene Cintado

| <i>Neoprene</i> | | |
|-----------------|---------------|-------------------|
| <i>Anomalia</i> | <i>Número</i> | <i>%Anomalias</i> |
| <i>A-8</i> | <i>31</i> | <i>38%</i> |
| <i>BB-3</i> | <i>26</i> | <i>96%</i> |
| <i>D-4</i> | <i>25</i> | <i>40%</i> |
| <i>D-2</i> | <i>14</i> | <i>64%</i> |
| <i>A-7</i> | <i>13</i> | <i>100%</i> |
| <i>B-6</i> | <i>13</i> | <i>62%</i> |
| <i>C-1</i> | <i>10</i> | <i>43%</i> |
| <i>B-8</i> | <i>7</i> | <i>100%</i> |
| <i>A-9</i> | <i>6</i> | <i>46%</i> |
| <i>D-3</i> | <i>5</i> | <i>42%</i> |

Conclui-se assim que as anomalias que mais afetam os AA Neoprene são:

- ✓ Defeitos nas camadas de Neoprene (A-7);
- ✓ Distorção elevada do Neoprene (B-8);
- ✓ Compressão elevado do Neoprene (BB-3).

De seguida estão as anomalias D-2 e B-6 com uma taxa de incidência de 64% e 62% respetivamente e com percentagens a rodar os 40% tem-se D-4, C-1, A-9 e D-3.

- *AA de Roletes*

Tabela 21 - Percentagem de anomalias nos AA de Roletes

| <i>Rolete</i> | | |
|-----------------|---------------|-------------------|
| <i>Anomalia</i> | <i>Número</i> | <i>%Anomalias</i> |
| <i>A-8</i> | <i>13</i> | <i>16%</i> |
| <i>D-4</i> | <i>7</i> | <i>11%</i> |
| <i>B-6</i> | <i>6</i> | <i>29%</i> |
| <i>D-3</i> | <i>3</i> | <i>25%</i> |
| <i>B-7</i> | <i>3</i> | <i>50%</i> |
| <i>D-2</i> | <i>1</i> | <i>5%</i> |
| <i>A-9</i> | <i>1</i> | <i>8%</i> |

Conclui-se assim que as anomalias que mais afetam os AA de Roletes são:

- ✓ Impedimento do deslocamento ou rotação por corrosão excessiva ou por depósito de detritos (B-7 ou B-6)
- ✓ Humidade ou água estagnada na base de assentamento (D-3).

- *AA tipo Panela (Pot-Bearings)*

Tabela 22 - Percentagem de anomalias nos AA tipo Panela

| <i>Panela</i> | | |
|-----------------|---------------|-------------------|
| <i>Anomalia</i> | <i>Número</i> | <i>%Anomalias</i> |
| <i>A-8</i> | <i>23</i> | <i>28%</i> |
| <i>D-4</i> | <i>20</i> | <i>32%</i> |
| <i>C-1</i> | <i>13</i> | <i>57%</i> |
| <i>D-2</i> | <i>6</i> | <i>27%</i> |
| <i>A-9</i> | <i>6</i> | <i>46%</i> |
| <i>D-3</i> | <i>2</i> | <i>17%</i> |
| <i>B-6</i> | <i>1</i> | <i>5%</i> |

Conclui-se assim que as anomalias que mais afetam os AA tipo Panela são:

- ✓ Fixações provisórias dos AA não retiradas (C-1);
- ✓ Deterioração ou má fixação entre componentes, placas de deslizamento, guias ou batentes (A-9);
- ✓ Presença de detritos ou vegetação (D-4);
- ✓ Corrosão das partes metálicas (A-8).

- *AA tipo Pêndulo*

Tabela 23 - Percentagem de anomalias nos AA tipo Pêndulo

| <i>Pêndulo</i> | | |
|-----------------|---------------|-------------------|
| <i>Anomalia</i> | <i>Número</i> | <i>%Anomalias</i> |
| <i>A-8</i> | <i>11</i> | <i>14%</i> |
| <i>D-4</i> | <i>8</i> | <i>13%</i> |
| <i>B-7</i> | <i>2</i> | <i>33%</i> |
| <i>D-3</i> | <i>2</i> | <i>17%</i> |

Conclui-se assim que as anomalias que mais afetam os AA tipo Pêndulo são:

- ✓ Impedimento do deslocamento ou rotação por corrosão excessiva (B-7);
 - ✓ Humidade ou água estagnada na base de assentamento (D-3);
 - ✓ Corrosão das partes metálicas (A-8);
 - ✓ Presença de Detritos ou vegetação (D-4).
- *AA Linear*

Tabela 24 - Percentagem de anomalias nos AA Linear

| <i>Apoio Linear</i> | | |
|---------------------|---------------|-------------------|
| <i>Anomalia</i> | <i>Número</i> | <i>%Anomalias</i> |
| <i>A-8</i> | <i>3</i> | <i>4%</i> |
| <i>D-4</i> | <i>2</i> | <i>3%</i> |
| <i>B-6</i> | <i>1</i> | <i>5%</i> |
| <i>B-7</i> | <i>1</i> | <i>17%</i> |

Conclui-se assim que as anomalias que mais afetam os AA tipo Pêndulo são:

- ✓ Impedimento do deslocamento ou rotação por corrosão excessiva ou por depósito de detritos (B-7 ou B-6);
 - ✓ Corrosão das partes metálicas (A-8);
 - ✓ Presença de Detritos ou vegetação (D-4).
- *AA de Chumbo*

| <i>Chumbo</i> | | |
|-----------------|---------------|-------------------|
| <i>Anomalia</i> | <i>Número</i> | <i>%Anomalias</i> |
| <i>A-6</i> | <i>3</i> | <i>100%</i> |
| <i>D-2</i> | <i>1</i> | <i>5%</i> |
| <i>D-4</i> | <i>1</i> | <i>2%</i> |

Conclui-se assim que as anomalias que mais afetam os AA tipo Pêndulo são:

- ✓ Esmagamento, deterioração e fluência da camada de chumbo (A-6),
- ✓ Deficiente integridade da base de assentamento (D-2)
- ✓ Presença de Detritos ou vegetação (D-4).

✓ *Articulação de Betão*

Tabela 25 - Percentagem de anomalias nos AA tipo Articulação de Betão

| <i>Art. Betão</i> | | |
|-------------------|---------------|-------------------|
| <i>Anomalia</i> | <i>Número</i> | <i>%Anomalias</i> |
| <i>A-1</i> | <i>2</i> | <i>100%</i> |
| <i>A-2</i> | <i>1</i> | <i>100%</i> |

Conclui-se assim que as anomalias que mais afetam os AA tipo Articulação de Betão são:

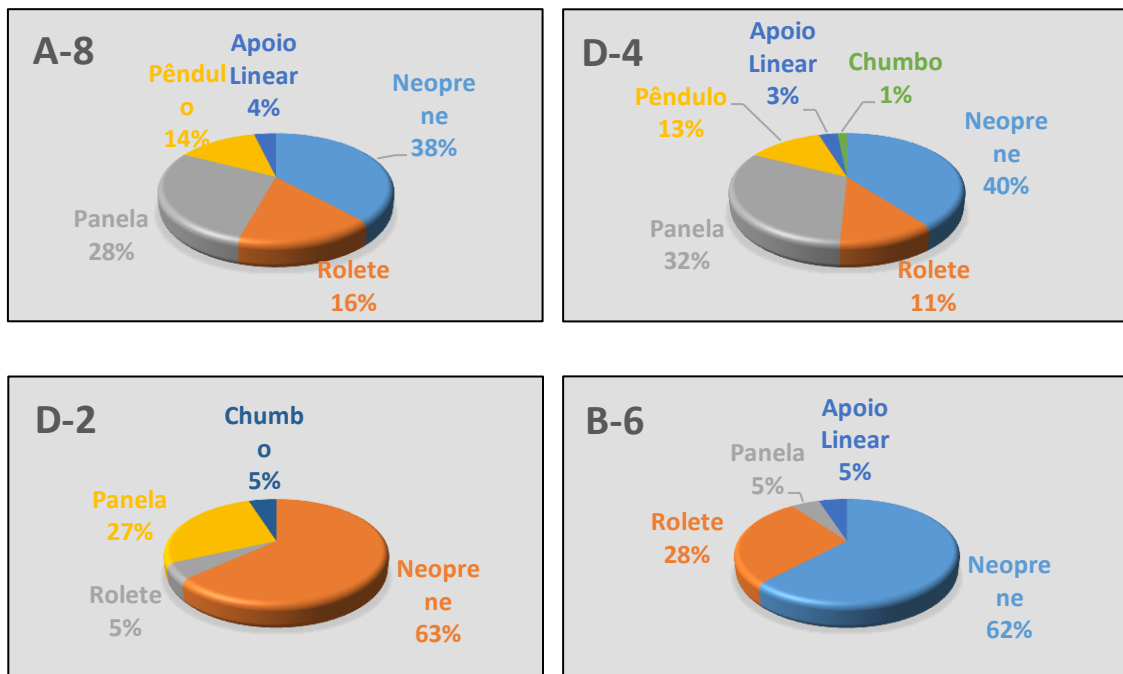
- ✓ Defeitos de betão nas articulações de betão (A-1);
- ✓ Corrosão das armaduras nas articulações de betão (A-2).

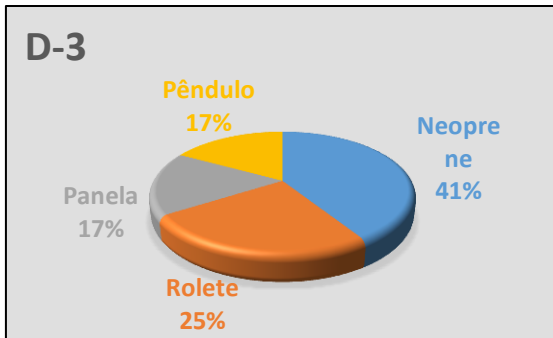
3.6.5 Conclusões

Após análise dos dados obtidos verifica-se que as anomalias presentes por aparelho de apoio se diferenciam tanto em quantidade como em tipo comparando com a análise anteriormente realizada. Desigualdade que se explica pelo tipo de estudo, ou seja, enquanto numa primeira análise se examinava apenas as anomalias existentes num determinado aparelho de apoio nesta segunda análise estudou-se o global das anomalias existentes verificando a percentagem por cada tipo de AA.

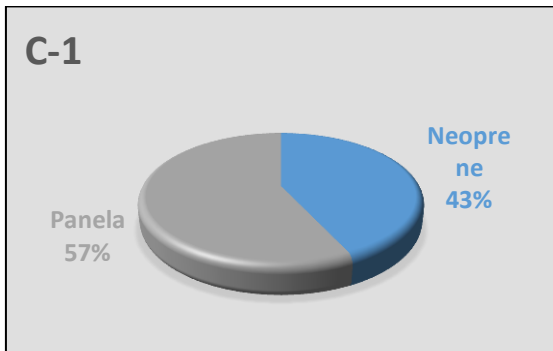
Dando um exemplo, no primeiro caso a anomalia A-8 foi considerada na maioria dos AA a anomalias mais significativa, ou seja, dentro do tipo de aparelho de apoio em estudo era a que se destacava. Na segunda análise e como a anomalia A-8 está presente em quase todos os tipos de AA esta percentagem distribuiu-se por todos eles diminuindo assim as taxas incidência.

É assim possível apresentar graficamente a dispersão das anomalias por tipo de AA.

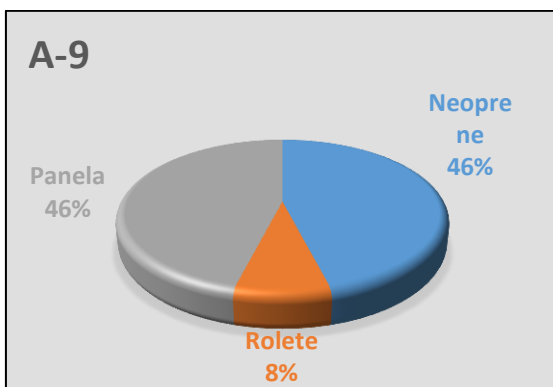




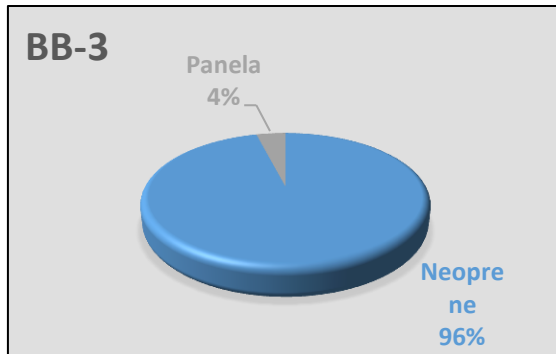
As anomalias A-8, B-6, D-3, D-4 e D-2 estão presentes em todos os tipos de AA, pois como referido anteriormente, são comuns a todos os AA



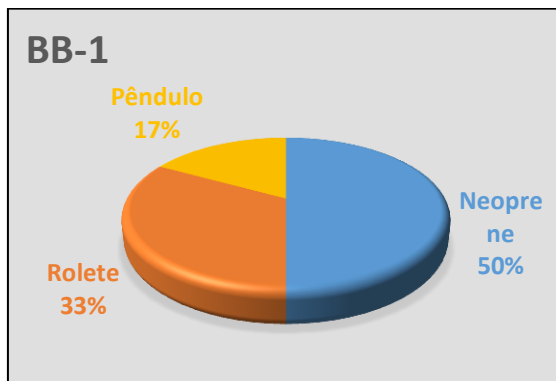
A anomalia C-1 está apenas presente nos AA de Neoprene e Panela, e ocorre porque as fixações provisórias não são retiradas.



A anomalia A-9 é mais representativa nos AA de Neoprene e Panela.



A anomalia BB-3 (Compressão elevada do Neoprene) está presente 96% nos AA de Neoprene e 4% nos AA tipo panela, o que se justifica pois a constituição destes dois tipos de AA são à base de Neoprene.



A anomalia BB-1 (Deslocamento excessivo do AA móvel) está presente 50% nos AA de Neoprene e 33% nos AA de Rolete e 17% nos AA tipo Pêndulo.

3.6.6 Pontuação vs. Vida Útil

Neste Ponto determinou-se a média de pontuações atribuída aos tipos de anomalias mais relevantes, de modo a estabelecer um período de intervenção/atuação. Esta pontuação, como estabelecido anteriormente, apesar de ser atribuída à anomalia, está diretamente relacionada com a vida útil do Aparelho de Apoio.

Apresenta-se em seguida a tabela com a pontuação média das anomalias mais comuns:

Tabela 26 - Pontuação atribuída a cada anomalia

| <i>Anomalia</i> | <i>Pontuação</i> | <i>Intervenção</i> |
|-----------------|------------------|--------------------|
| <i>A-8</i> | <i>40,2</i> | <i>Longo Prazo</i> |
| <i>D-4</i> | <i>26,6</i> | <i>Longo Prazo</i> |
| <i>BB-3</i> | <i>55,1</i> | <i>Médio Prazo</i> |
| <i>B-6</i> | <i>38,5</i> | <i>Longo Prazo</i> |
| <i>D-2</i> | <i>36,2</i> | <i>Longo Prazo</i> |
| <i>B-7</i> | <i>65,5</i> | <i>Curto Prazo</i> |
| <i>C-1</i> | <i>30</i> | <i>Longo Prazo</i> |
| <i>D-3</i> | <i>33,4</i> | <i>Longo Prazo</i> |
| <i>B-8</i> | <i>41,3</i> | <i>Longo Prazo</i> |
| <i>A-9</i> | <i>48,2</i> | <i>Médio Prazo</i> |
| <i>BB-1</i> | <i>58</i> | <i>Médio Prazo</i> |
| <i>A-6</i> | <i>66,3</i> | <i>Curto Prazo</i> |
| <i>A-7</i> | <i>53,8</i> | <i>Médio Prazo</i> |

As anomalias B-7 e A-6 são as que possuem uma pontuação mais elevada, pelo que o tempo de intervenção deve ser mais curto (Curto Prazo).

Contudo, existem outros dois tipos de anomalias que, apesar do tempo de intervenção ser médio, estão muito próximas da pontuação de transição o que leva a considerar um tempo de intervenção aproximadamente curto, sendo elas BB-1e BB-3.

De referir que em todas as anomalias analisadas apenas uma delas se encontrava na classe urgente com uma pontuação de 88 e corresponde ao tipo de anomalia BB-1.

De acordo com o definido no ponto 3.1.5 pode confirmar-se que globalmente existem quatro tipos de anomalias que esgotam a VU dos AA.

Tabela 27 - Número de Anomalias por tipo de AA

| <i>Anomalia</i> | <i>Neoprene</i> | <i>Rolete</i> | <i>Panela</i> | <i>Pêndulo</i> | <i>A. Linear</i> | <i>Chumbo</i> |
|-----------------|-----------------|---------------|---------------|----------------|------------------|---------------|
| <i>A-8</i> | <i>31</i> | <i>13</i> | <i>23</i> | <i>11</i> | <i>3</i> | |
| <i>BB-3</i> | <i>26</i> | | <i>1</i> | | | |
| <i>D-4</i> | <i>25</i> | <i>7</i> | <i>20</i> | <i>8</i> | <i>2</i> | <i>1</i> |
| <i>D-2</i> | <i>14</i> | <i>1</i> | <i>6</i> | | | <i>1</i> |
| <i>A-7</i> | <i>13</i> | | | | | |
| <i>B-6</i> | <i>13</i> | <i>6</i> | <i>1</i> | | <i>1</i> | |
| <i>C-1</i> | <i>10</i> | | <i>13</i> | | | |
| <i>B-8</i> | <i>7</i> | | | | | |
| <i>A-9</i> | <i>6</i> | <i>1</i> | <i>6</i> | | | |
| <i>D-3</i> | <i>5</i> | <i>3</i> | <i>2</i> | <i>2</i> | | |
| <i>B-7</i> | | <i>3</i> | | <i>2</i> | <i>1</i> | |
| <i>A-6</i> | | | | | | <i>3</i> |
| <i>BB-1</i> | <i>3</i> | <i>2</i> | | <i>1</i> | | |

De acordo com a tabela anterior e admitindo que as anomalias são acumulativas, ou seja, um aparelho de apoio pode ter mais do que uma anomalia, constata-se que 36 AA numa amostra de 146 atingiram a sua VU.

Conclui-se também que a anomalia BB-3 é a que mais interfere no ciclo de vida, contribuindo com um total de 27 AA em condições de substituição.

As Articulações de Betão não foram contabilizadas pois apenas existem dois destes AA, onde se registou uma anomalia tipo A-2 e duas do tipo A-1.

Confirma-se que os AA de Neoprene são os mais afetados, o que se fundamenta pela predominância da anomalia BB-3.

Quando relacionando estas observações com a idade média dos AA de Neoprene verifica-se que a sua VU é de apenas 14,4 anos o que mais uma vez se explica pela pontuação obtida na anomalia BB-3.

Em suma as anomalias que mais interferem na VU dos AA são do tipo A e B ou seja, estão relacionadas com os materiais constituintes e com o método de concepção e funcionamento.

Para uma melhor perceção dos valores obtidos apresentam-se no anexo A os histogramas da VU para cada tipo de Aparelho de Apoio.

4

Procedimentos de Inspeção, Ensaio e Substituição

Sempre que é detetada alguma patologia relacionada com os AA, inicialmente é elaborado todo o trabalho de inspeção e verificação detalhada, permitindo evidenciar quais as condições de funcionamento em que se encontra o AA, definindo se existe a possibilidade de reparação “in situ” (situação mais económica).

Nos casos em que não é possível aplicar técnicas de manutenção e reabilitação, a única opção passa pela substituição total do aparelho de apoio.

Todos os processos que estão em causa nesta substituição são destacados em seguida.

4.1 Inspeções e Ensaios

A norma europeia EN 1337 determina os requisitos que se devem efetuar nas inspeções realizadas aos AA. Destas inspeções deve resultar um relatório da situação encontrada e das ações que devem ser tomadas de modo a minimizar o mau funcionamento do AA ou prevenir o seu mau funcionamento no futuro.

É recomendado a realização de uma inspeção durante o primeiro ano após a instalação do AA e em seguida, a cada 5 anos. Sempre que a estrutura é sujeita a qualquer tipo alteração, não prevista, deve ser realizada uma inspeção.

Os resultados das inspeções podem levar a um dos seguintes procedimentos:

- ✓ Nenhuma Ação;
- ✓ Medições dos deslocamentos (temperaturas extremas, cargas variáveis...)
- ✓ Reparação (mudança de posição, substituição de peças ou a totalidade do AA, renovação da proteção contra a corrosão...)

Sempre que é realizada uma inspeção de rotina devem ser verificados aspetos como a capacidade movimento residual suficiente, considerando o tipo de AA, a temperatura da estrutura e o efeito de deformação.

Defeitos visíveis:

- ✓ Fissuras
- ✓ Correto posicionamento
- ✓ Deformações inesperadas
- ✓ Fixadores
- ✓ Estado da proteção contra a corrosão
- ✓ Estado das superfícies de deslizamento

Segundo “PROCEDURE D’INSPECTION ET DE MAINTENANCE” da Freyssinet, os aspetos a considerar nas inspeções realizadas são apresentados em seguida. De referir que os pontos estão mais relacionados com os AA tipo Pot-Bearings visto que são os mais utilizados atualmente.

Localização

A localização exata da estrutura de suporte deve ser dada para que seja possível identificar facilmente a posição do rolamento.

Identificação

O tipo de AA e o seu número de série deve ser inserido no formulário. Esta informação é fornecida na placa de identificação anexada.

Deslocamentos

O deslocamento da placa superior tem de ser observado quer para os AA deslizantes livres quer para os AA guiados

Estes deslocamentos são medidos através da utilização de uma fita métrica ou de outro qualquer dispositivo de medição.

Rotação

A rotação deve ser determinada através da medição, em quatro pontos diferentes, do espaçamento ente a borda do pote e o êmbolo. Esta rotação é determinada através de um medidor de espessura.

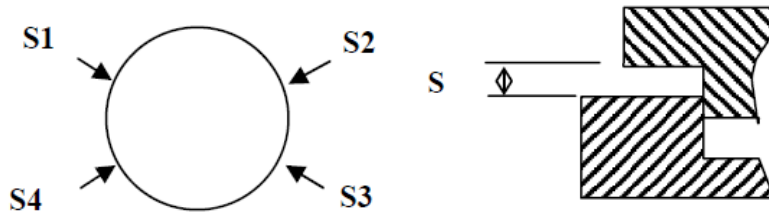


Figura 58 - Determinação da Rotação

Os critérios de verificação dependem do diâmetro do Pote.

$D \leq 1000 \text{ mm} : S_{\min} \geq 3 \text{ mm}$

$D > 1000 \text{ mm} : S_{\min} \geq 5 \text{ mm}$

Quando os valores de S_{\min} são ultrapassados o AA deve ser reparado ou substituído.

Deformação do P.T.F.E

A deformação do P.T.F.E é verificada através da medição máxima e mínima (P) entre a superfície de deslizamento e a placa de suporte de P.T.F.E.

Esta distância é realizada através do medidor de espessura.

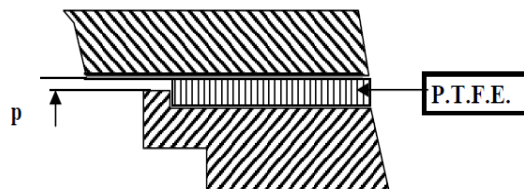


Figura 59 - Deformação da camada de PTFE

Os critérios de verificação exigem que $P_{\min} \geq 0,5 \text{ mm}$, caso o P_{\min} seja inferior a 0.5mm deve realizar-se a reparação/substituição do AA.

Nestas situações normalmente o processo a realizar é a substituição da placa de Neoprene.

Superfície de deslizamento

Nestas situações recorre-se a uma inspeção visual onde são verificados dois aspetos principais:

- ✓ Fixação da chapa de aço inoxidável;
- ✓ Contacto entre o disco P.T.F.E. e a chapa de aço inoxidável;

Dispositivo Guia

Os dispositivos guia quando inspecionados os principais pontos a evidências são os seguintes:

- ✓ Integridade das superfícies de deslizamento
- ✓ Fixação de aço inoxidável sobre a placa superior e a matriz de metal especial (PTFE no pistão).
- ✓ Degradação das partes metálicas
- ✓ Nestes casos são verificadas visualmente se existe algum tipo de distorção causado por sobrecargas.

Fixações provisórias

No caso das fixações provisórias deve ser garantido que foram totalmente libertadas não impedindo os movimentos.

Elementos Estruturais Adjacentes

É importante que todas as inspeções a AA incluam a inspeção da estrutura adjacente. Frequentemente, a primeira indicação de falha de um dispositivo de suporte é dado pela ocorrência de danos causados numa parte adjacente da estrutura.

Fixações

Todos os parafusos de aperto entre a placa superior e a superestrutura e entre a panela e o plinto devem ser verificados garantindo que não exista nenhuma folga. Deve ainda ser verificado a presença de corrosão nas fixações.

Proteção contra a corrosão

Principalmente nos AA metálicos a corrosão é um dos principais fatores. Todas as partes metálicas do AA devem ser verificadas para garantir que as proteções contra a corrosão são eficazes. Em geral, o objetivo é o de reparar ou substituir qualquer proteção contra a corrosão antes de uma falha que torne esta corrosão substancial.

Observações

Após todas estas verificações e constatando se o AA deve ser substituído ou não. Caso a substituição seja a decisão mais acertada, deve ser seguido um processo rigoroso e controlado, como indicado no ponto seguinte.

De modo a facilitar uma correta inspeção é apresentada no Anexo C a tabela que retrata todos os pontos indicados anteriormente.

4.2 Procedimento de Substituição.

4.2.1 *Processo de Levantamento do Tabuleiro e Substituição*

Para realizar a manutenção e nivelamento dos AA em causa é necessário proceder ao levantamento dos alinhamentos onde é feita a intervenção a uma altura suficiente que permita a transferência total da carga, e por conseguinte possibilite o alívio dos AA desse alinhamento. Esta distância é normalmente de aproximadamente 5mm, dependendo do tipo de estrutura em causa.

Antes de iniciar a operação de levantamento serão marcados os “pontos zero” na carlinga com auxílio a régua metálicas fixas ao elemento fixo (estribo), fazendo-se uma marca de referência no elemento móvel, por forma a verificar e controlar a altura de levantamento.

Para evitar efeitos transversais indesejáveis será efetuado o levantamento uniforme de todo o alinhamento, utilizando o seguinte procedimento:

Caso seja necessário, deverá se proceder à preparação de bases niveladas sobre as vigas estribo, executadas com grout, com área superior às chapas de distribuição.

1. Colocação dos macacos no alinhamento, ligados através de distribuidores (flautas), recorrendo a chapas de apoio resistentes para calçamento dos mesmos;
2. Elevação do tabuleiro no máximo 5mm uniformemente, não permitindo desníveis superiores a 2 mm entre as extremidades da carlinga, para evitar esforços transversais de flexão e/ou torção da laje e das vigas;
3. Aperto das porcas de segurança “caso existam”;
4. Remoção do aparelho de apoio, sendo previsível a necessidade de demolição parcial dos plintos;
5. Manutenção do aparelho de apoio;
6. Posicionamento do aparelho de apoio devidamente nivelado e travado com fixações provisórias;
7. Grouteamento do plinto inferior;
8. Correção do desnivelamento nas fixações, com recurso a anilhas metálicas em cunha, todavia será realizada uma melhor avaliação após descolagem da chapa superior.

Capítulo 4 – Procedimentos de Inspeção Ensaio e substituição

9. Selagem e injeção ou grouteamento da chapa superior dependendo da altura de enchimento, por forma a proceder ao nivelamento do equipamento de apoio;
10. Desaperto das porcas de segurança;
11. Transferência de carga dos macacos para os AA;
12. Desmobilização dos macacos e das chapas de distribuição;
13. Pintura das zonas do AA que tenham sido danificadas com as operações;
14. Remoção das chapas de bloqueio dos AA.

A capacidade dos macacos a utilizar tem em consideração as cargas máximas admissíveis pelos AA.

Nas extremidades dos macacos serão utilizadas chapas de aço para repartição das tensões na base das carlingas e viga estribo. Quando necessário, as superfícies de contacto no betão serão regularizadas com grout.

Usualmente os macacos a utilizar são semelhantes pelo que é utilizado um único circuito hidráulico, que terá que ser sincronizado com as leituras nas marcas de referência de controlo de elevação, garantindo uma elevação uniforme do tabuleiro.

Normalmente é estabelecido no decorrer da OA os locais onde os macacos de levantamento são instalados caso se proceda à substituição do AA, pelo que em alguns casos é necessário recorrer ao projeto da OA.

São utilizados macacos cujos esforços em causa não ultrapassem 75% a 80% da capacidade total do macaco.

Para o levantamento do tabuleiro tem que ser consideradas todas as ações que atuam sobre este pelo que devem ser evidenciadas:

- ✓ Peso próprio do tabuleiro (PP)
- ✓ Restante carga permanente (RCP)
- ✓ Pré – Esforço (PE)
- ✓ Sobre carga uniforme linear (SCU)
- ✓ Tensões na secção do Apoio;
- ✓ Reações de Apoio.

Quando as verificações de segurança a efetuadas destacam-se:

- ✓ Tensões de contato no betão;
- ✓ Flexão das Chapas;
- ✓ Tensões de compressão nas barras de travamento dos macacos;
- ✓ Destacamento de uma cunha de betão no topo dos pilares.

O aparelho antigo deve ser removido cuidadosamente para não causar danos nos restantes elementos da estrutura da OA que se encontram na periferia e é escolhido um aparelho de apoio novo e apropriado às características reais da situação atual, de acordo com os regulamentos em vigor, as ações a que vai ser sujeito, para além da questão económica que avalia os AA pela sua durabilidade e relação entre a qualidade/custo. Os trabalhos necessários para a operação de substituição dos AA são mencionados com maior pormenor no capítulo 5 da presente dissertação.

Quando AA estão danificados e não é possível realizar a sua reparação a única solução é a sua substituição.

Contudo antes da substituição, deve ser realizada uma inspeção e investigação detalhada, onde se identificam quais os danos que os AA apresentam e quais as causas que originaram esses mesmos danos.

No anexo A são apresentados exemplos das fichas de inspeção e ensaio do levantamento do tabuleiro para substituição de AA.

4.2.2 Tipos de Macacos Hidráulicos

Existem vários sistemas e macacos hidráulicos utilizados para levantamento do tabuleiro. Apresentam-se em seguida os modelos mais utilizados atualmente:

- ✓ Macaco hidráulica sem travamento e sem cabeça móvel
- ✓ Macaco hidráulico sem travamento e com cabeça móvel
- ✓ Macaco hidráulico com travamento e sem cabeça móvel
- ✓ Macaco hidráulico com travamento e com cabeça móvel

Usualmente os macacos com cabeça móvel permitem um ângulo máximo de 5 graus, este sistema tem a vantagem de uma maior adaptabilidade caso o tabuleiro apresente alguma inclinação.

Os macacos com travamento são mais aconselhados que os sem travamento uma vez que esta característica funciona como um sistema de segurança caso exista alguma rutura no sistema hidráulico.



Figura 60 - Macacos Hidráulicos de Levantamento do Tabuleiro

4.2.3 *Inconvenientes/obstáculos*

Muitos são os inconvenientes que podem estar presentes no processo de substituição dos AA. Em seguida são enumerados os mais comuns.

Espaço Reduzido

Se não existir espaço suficiente em torno da área do assento do AA é erguida na parte de cima do cais para apoiar temporariamente o AA e dar a área de trabalho suficiente.

Na ausência de espaço suficiente no topo do assento do AA um cais auxiliar pode ser instalado a partir do solo ou instalado na própria ponte de modo a apoiar o AA e efetuar a substituição.

É um processo delicado que exige experiência, inovação e técnica, pois estão presentes elevadas transferências de carga efetiva. Por este motivo apenas técnicos certificados podem desenvolver esta atividade.

Volume de Tráfego

Logo no início das atividades de substituição o tráfego era um elemento muito importante na substituição de AA, pois o levantamento do tabuleiro ficava condicionado. Por este motivo na maioria dos casos era necessário interromper o tráfego para que se conseguisse realizar o procedimento de levantamento.

Atualmente com o avanço tecnológico existe equipamentos que permitem o levantamento do tabuleiro sem interrupção de tráfego. Os macacos hidráulicos existentes atualmente permitem o levantamento de estruturas muito robustas, e apresentam uma margem de segurança muito elevada, pelo que o tráfego não é uma condicionante. Em termos práticos, no barómetro de medição, durante o levantamento apenas é visível uma pequena variação de pressão.

Inexistência de plataforma de trabalho nos encontros

Em muitos casos não existe plataforma de trabalho, o que dificulta em muito o procedimento de substituição. Nestes casos o técnico tem que estar munido de equipamentos adicionais de segurança, como é o caso do arnês de proteção que o permita desenvolver a substituição na plataforma inclinada. A diferença entre um

encontro sem plataforma de acesso e com plataforma de acesso apresenta-se na figura seguinte.

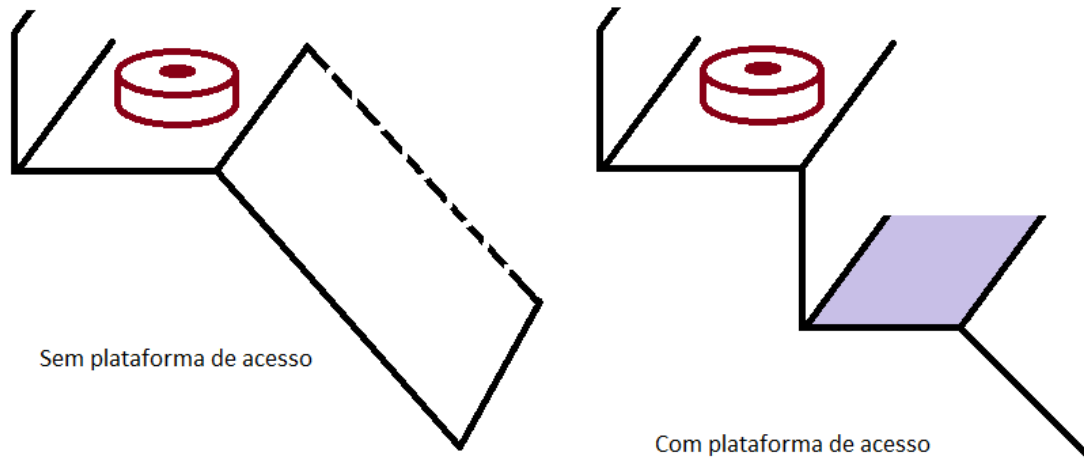


Figura 61 - Substituição de AA com e sem plataforma de Acesso

5

Casos Práticos

Neste capítulo são apresentados dois casos práticos da substituição de AA. Este procedimento baseia-se nos tópicos já apresentados no capítulo anterior.

5.1 Caso de Estudo 1: Reparação de Aparelho de Apoio na PS26 no Sublanço Fogueteiro-Coina na A2 Auto-Estrada do Sul.

Introdução:

O caso em estudo trata-se da reparação de aparelhos de apoio no encontro E2 d PS26 no Sublanço Fogueteiro-Coina na A2 Auto-Estrada do Sul.



Figura 62 - Localização (Caso Prático 1)

Anomalias:

- Inclinação do aparelho de apoio de aproximadamente 3°
- Corrosão

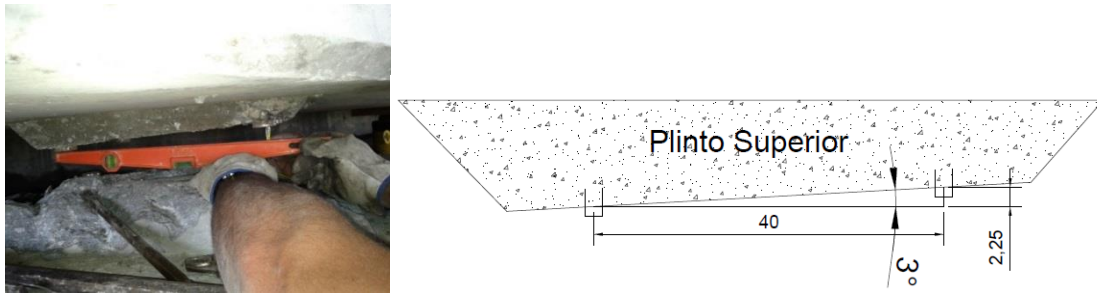


Figura 63 - Inclinação da base de assentamento

Causas da reparação:

Inclinação acentuada do aparelho de apoio com o plano horizontal Comprometimento das características resistentes e de funcionamento do equipamento.

Degradação do sistema de proteção do equipamento

Soluções:

Transferência de carga e reposicionamento do aparelho de apoio por ajuste das fixações e reconstrução do plinto.

Decapagem e aplicação de novo esquema de proteção do Aparelho de Apoio

Observações:

O levantamento do alinhamento do encontro E2 não deverá ser excessivo, neste caso limitado aos 5mm pois os pilares adjacentes, são encastrados, o que pode gerar sobre esforços consideráveis e por consequência o aparecimento de fissuras nos elementos estruturais.



Figura 64 - Pilares envolventes

Foi assim controlado o levantamento através de medidores nas duas extremidades do tabuleiro de modo a não exceder o valor determinado.



Figura 65 - Medidor de Levantamento

Após o levantamento verificou-se que os chumbadores se encontravam cerca de 1cm dentro da base do aparelho de apoio. Isto levou a que se demolisse o plinto inferior possibilitando a remoção do Aparelho de Apoio.

Se os pilares em questão tivessem AA e não fossem monolíticos com o tabuleiro seria possível um levantamento superior que facilitaria todo o processo de remoção do aparelho de apoio.

A pressão utilizada foi de 140 bar. Esta pressão é controlada através do manómetro existente junto da bomba.



Figura 66 - Manómetro de pressão

A reparação do esquema de proteção dos AA é realizada através da decapagem. Este processo é muito eficiente com um rendimento de 15 minutos/apoio, o que num processo manual seria muito mais moroso e com menor qualidade.

Este processo requer contudo alguém especializado e com toda a proteção necessária. O trabalhador deve estar munido de todo o material de segurança.

O Aparelho de apoio deve ter uma cinta que impede a passagem de areia para o interior do pot.



Figura 67 - Sistema de decapagem

Os **macacos de levantamento** possuem porcas de proteção que os permitem trancar, impedindo o “abaixamento” do tabuleiro por perda de pressão. Apresentam também uma rótula superior que permite o ajuste conforme a inclinação do tabuleiro.

Nestes sistemas é necessário verificar a adequabilidade dos flexíveis à pressão a alcançar no circuito hidráulico.

Utiliza-se a base de areia fina para regularizar a superfície de assentamento do macaco.

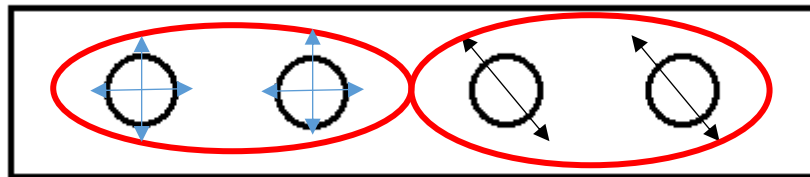
Neste sistema a pressão máxima foi de 700 bar.



Figura 68 - Macacos de levantamento

Sugestões:

No 1º caso não existia a necessidade de chumbadores uma vez que o aparelho de apoio era livre só funcionando para transmissão de cargas verticais.



Apoios Móveis

Apoios unidirecionais

Os apoios unidirecionais bloqueiam os movimentos perpendiculares à direção que libertam podendo ser os apoios móveis apenas colados sem necessidade de chumbadores, possibilitando futuramente uma remoção mais facilitada.

5.2 Caso de Estudo 2: Ponte Sobre o Rio Douro: Intervenção nos Aparelhos de Apoio GL 57500 e GG57500 - Tabuleiro direito - Pilar 5.

Introdução:

O caso em estudo trata-se da reparação de aparelhos de apoio GL57500 e GG57500 - Tabuleiro direito - Pilar 5 da ponte sobre o Rio Douro.

- GL57500 – AA Multidirecional
- GG57500 – AA Unidirecional

Anomalias:

- *Apoio GG57500*

Controlo Visual:

- ✓ No lado do apoio multidirecional está presente um dobra na falha de inox entre as duas fixações.
- ✓ Todas as fixações da folha de inox estão corretas
- ✓ Inexistência de resíduos de betão assim como de detritos
- ✓ Proteção de pintura correta, exceto alguns golpes mas sem traços de corrosão
- ✓ O nível de bolha transversal mostra que a horizontalidade nesta direção é perfeita. O nível de bolha longitudinal não está acessível visualmente.
- ✓ A junta de proteção pot/piston esta conforme.
- ✓ Conclui-se que existe uma dobra da folha de inox.



Figura 69 - Anomalias (Caso de Estudo 2) (Freyssinet, Tetron CD - Mechanical Pot-Bearings, 2010)

Medições

- ✓ A chapa de deslizamento está deslocada cerca de 58mm para o encontro 2.
- ✓ A distância entre a folha de inox e o pot è na ordem dos 76mm (cota teórica 83mm)
- **Apoio GL57500**

Controlo Visual:

- ✓ Todas as fixações estão corretas exceto a linha de fixação do lado do encontro 2 estão cortadas;
- ✓ Proteção de pintura correta, exceto alguns golpes mas sem traços de corrosão;
- ✓ O nível de bolha mostra uma horizontalidade quase perfeita;
- ✓ A junta de proteção pot/piston está conforme.

Conclui-se que o plano de deslizamento está degradado, sendo o deslize realizado entre a folha de inox e a placa de deslizamento.

Medições

- ✓ A chapa de deslizamento está deslocada cerca de 67mm para o encontro 2.
- ✓ Do lado de P4 o deslocamento entre a folha de inox e a extremidade da placa dá-nos um movimento da ordem de 55mm do encontro 2 para P4
- ✓ Tendo um pré-deslocamento de 90mm os valores anteriores mostram que o apoio se deslocou 55mm (retração e fluência) para P4 e de retorno para o encontro 2 de 32mm (dilatação do tabuleiro).
- ✓ A distância entre a folha de inox e o pot é na ordem dos 42mm (cota teórica 43mm).

Causas das anomalias verificadas:

- ***Apoio GG57500***

A anomalia verificada não é prejudicial ao bom funcionamento do Apoio.

Julga-se que a folha de inox sofreu a deformação (dobrada) aquando o desaperto da fixação temporária.

- ***Apoio GL57500***

A anomalia verificada é relevante sendo necessário uma alteração em conformidade com o plano de deslizamento. O funcionamento atual não é prejudicial à estrutura contudo é fundamental intervir para substituir a folha de inox. Supõe-se que a causa da anomalia está relacionada com uma poluição acidental do plano de deslizamento PTFE/inox.

O AA presente no Pilar 2 não apresenta qualquer tipo de anomalia.

Intervenções:

- ***Apoio GG57500***

Nesta situação a intervenção a realizar trata-se apenas da recolocação da folha de Inox com a ajuda de um macaco e colocação de um parafuso na zona da obra.

- ***Apoio GL57500***

O processo de intervenção a realizar neste AA é o seguinte:

- ✓ Necessidade de levantar o tabuleiro no alinhamento 5
- ✓ Desmontagem da folha de inox existente e da junta “reclur” de proteção
- ✓ Remoção do disco de PTFE , verificação e limpeza.
- ✓ Lubrificação do disco de PTFE e colocação no seu local
- ✓ Colocação de uma nova folha de inox de 2180mm de comprimento, dobrada a 90° em cada extremidade;
- ✓ Colocação de uma nova junta de proteção PTFE/inox na periferia do pistão.

Procedimento de levantamento do tabuleiro

O presente ponto diz respeito ao projeto de levantamento do tabuleiro direito para reparação dos aparelhos de apoio, cujas chapas de deslizamento em aço inox se encontram danificadas, como referido anteriormente.

Inicialmente foi previsto um levantamento do tabuleiro de 2,5cm de modo a que os dentes de travamento do AA unidirecional se mantivessem ativos. Contudo será necessário um levantamento de 5 cm (dobro do previsto) para que se realizem os trabalhos de inspeção adicionais e reparação dos respectivos AA.

- ***Procedimento***

Para evitar efeitos transversais indesejáveis será efetuado um levantamento uniforme, utilizando o seguinte procedimento:

- ✓ Regularização das superfícies, se necessário, com argamassa de alta resistência;
- ✓ Colocação dos macacos nas posições previstas, utilizando chapas de apoio resistentes (40 mm de espessura) e outras, de espessura qualquer, para perfazer altura (em alternativa às chapas de enchimento poderão ser usados blocos metálicos);
- ✓ Elevação do tabuleiro de uma forma uniforme (máximo de 25 mm);
- ✓ Aperto do anel de segurança dos macacos;
- ✓ Reparação das chapas de aço e de teflon dos aparelhos de apoio danificados;
- ✓ Transferência de carga dos macacos para os aparelhos de apoio;
- ✓ Retirada dos macacos e das chapas de apoio.

- ***Macacos e outros dispositivos a utilizar***

São utilizados dois tipos de macacos hidráulicos: macacos 500 VER 50, de 500 tf de máxima capacidade e macacos 1000 VER 100, de 1000 tf de máxima capacidade.

Estes macacos têm dispositivo de travamento (anel de segurança).

O número escolhido de macacos teve em consideração a sua utilização para forças máximas da ordem de 86% da sua máxima capacidade, limitando ainda a valores admissíveis as tensões de compressão no betão. Nas extremidades dos macacos serão utilizadas chapas de aço para repartição das tensões e para perfazer altura. A superfície do coroamento do pilar será regularizada com “grout”, se necessário.

Nas figuras seguintes apresentam-se as características relevantes dos macacos a utilizar.



Figura 70 - Macacos de 500 tf

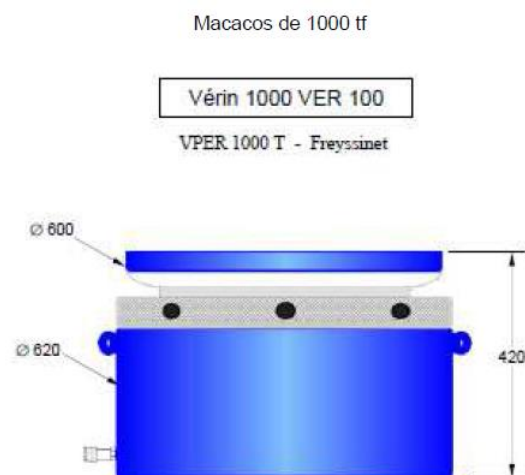


Figura 71 - Macacos de 1000 tf

6

Conclusões

6.1 Conclusões Finais

Após o desenvolvimento deste trabalho pode concluir-se que na maioria das OA a função dos AA é imprescindível para o seu correto funcionamento. Deste modo, é necessário contabilizar os esforços e deslocamentos que estão presentes na estrutura, bem como os que são transmitidos aos AA. Concluída esta análise de esforços e deslocamentos é possível determinar qual o tipo de AA que melhor se enquadra na estrutura.

Atualmente a grande variedade existente de AA torna por vezes difícil a escolha do sistema a adotar.

Após a análise dos dados obtidos através da identificação das anomalias mais frequentes nos diferentes tipos de AA e qual a sua origem, torna-se possível determinar com mais facilidade qual o tipo de AA a ser instalado.

A identificação destas anomalias é apresentada através da análise de uma amostra onde são feitos dois tipos de estudos: *Anomalia/Tipo de Aparelho de Apoio* e *Anomalia por AA/Número total dessa Anomalia*.

O primeiro estudo apresenta a relação entre cada tipo de anomalia e o número total de anomalias existentes num determinado tipo de Aparelho de Apoio.

O segundo estudo contabiliza o número total das anomalias mais comuns nos aparelhos e mostra a relação entre esse número total e o número dessa anomalia num determinado aparelho de apoio, sendo possível verificar as anomalias mais comuns em cada tipo de AA em relação à quantidade total de anomalias existentes.

Contudo, não é apenas uma boa seleção do tipo de AA que resolve o principal problema presente nestes elementos. Desde que são fabricados até a sua instalação existe todo um processo que deve ser controlado ao maior detalhe, para que o AA aquando instalado

exerça corretamente a sua função e sem que existam problemas a curto prazo após a instalação. O controlo a realizar, assim como a correta realização de todas as atividades até á instalação do AA são apresentados com detalhe neste trabalho.

Por fim, e já com o AA a desempenhar a função para o qual foi projetado e instalado existe todo um processo que se deve realizar periodicamente. A manutenção e inspeção dos AA são fatores que se forem executados corretamente e em intervalos de tempo determinados podem rentabilizar bastante a Vida Útil destes aparelhos.

O estudo realizado neste trabalho demonstra que a vida útil média para um aparelho de apoio, independentemente do seu tipo, é de 23,6 anos. Este valor pode ser um pouco influenciado, pois desconhece-se se as amostras foram alvo de inspeções e manutenções periódicas. Também o facto de alguns tipos de AA apresentaram amostras reduzidas pode interferir neste valor.

Tendo em conta apenas os dois tipos de AA mais utilizados atualmente, Neoprene e Pot-Bearings, a Vida útil média é de 12,5 anos. Supõe-se que este valor seria melhorado com inspeções e manutenções regulares, pois trata-se de um valor relativamente baixo.

Conclui-se que todo o processo desde a projeção até ao funcionamento dos AA deve ser controlado com o máximo rigor possível, de modo a aumentar a vida útil destes aparelhos, rentabilizando ao máximo todo o sistema tanto a nível funcional como económico.

6.2 Desenvolvimentos Futuros

Como os tipos de AA num patamar muito avançado, existe ainda a necessidade de desenvolver/evoluir um sistema anti-sísmico mais eficaz.

A nível de durabilidade os AA ainda estão muito aquém da vida útil da própria ponte. O surgimento de novos materiais poderá ser interessante para o desenvolvimento de novos AA.

A análise dos custos associados a manutenção e substituição dos aparelhos de apoio também é um tópico que se pode desenvolver de modo a tornar a solução mais económica.

A implementação de um sistema de inspeção com base em estudos probabilísticos, onde mais facilmente se detectaria a anomalia presente no AA e quais as melhores soluções a adotar para cada caso. Seria introduzido o tipo de AA em análise, as características que este apresentava com base na inspeção e seria fornecido um leque de soluções para colmatar o problema.

Revisão Bibliográfica

A.KHAN, M. (2010). *Bridge and Highway - Structure Rehabilitation and Repair*. United States: McGrawHill.

Bradfield, J. (1931). *Bridge supports*. Obtido de Sydney Harbour Bridge.

Brinckerhoff, P. (1992). *Bridge Inspection and rehabilitation, a Pratical Guide*. United States of America: Louis G. Silvano, P.E.

Bruneau, M., Anagnostopoulou, M., & Palermo[3], A. (04 de 09 de 2010). <http://eqclearinghouse.org/co/20100903-christchurch/reports-from-the-field/preliminary-report-on-bridge-damage-from-the-darfield-new-zealand-m7-1-earthquake-of-september-4-2010-%E2%80%93-draft-of-2010-09-13/>. Obtido de EARTHQUAKE CLEARINGHOUSE.

Charles W. Roeder, P. P. (1995). *Steel Bridge Bearing Selection and Design Guide*. Design handbook.

Freire, L. M. (2010). *Sistema de Inspeção e Diagnóstico de Aparelhos de Apoio em Pontes Rodoviárias*. Lisboa.

Freyssinet. (Junho de 2006). Elastomeric Bearings.

Freyssinet. (Abril de 2010). Tetron CD - Mechanical Pot-Bearings.

gadabinausaha. (s.d.). Obtido de gadabinausaha: <http://gadabinausaha.wordpress.com/galeri/>

Guerreiro, L. (Abril de 2003). Comportamento de Materiais Estruturais. *Comportamento de Blocos de Elastómero (Borrachas)*. DECivil - IST.

<http://www.southwarkbridge.co.uk/history/old-southwark-bridge.htm>. (2009). Obtido de <http://www.southwarkbridge.co.uk/>.

industry, D. (s.d.). *Direct industry*. Obtido de <http://www.directindustry.com/prod/mageba/bridge-bearings-horizontal-force-38983-1037335.html>

J. YURA, A. K. (2001). *Elastomeric Bridge Bearings:Recommended Test Methods*. WASHINGTON, D.C.: National Academic Press.

Jacinto, L. (2004). Pontes de Viadutos. *Aparelhos de Apoio. Juntas de Dilatação. Dissipadores.*

Lee, D. J. (1994). *Bridge Bearings and Expansion Joints.* E&FN SPON.

LR Elastomeric Bearing. (s.d.). Obtido de CCL: <http://www.cclint.com/bridge-bearings/bridge-bearing-products/lr-elastomeric-bearing>

Mageba. (s.d.). *Mageba.* Obtido de Mageba: <http://www.mageba.ch/en/302/Home.htm>

Mendes, L. C., Puga, M., & Alves, V. (2010). *A Importância dos Aparelhos de Apoio na Reabilitação de Estruturas de Pontes.* Córdoba, Argentina: CINPAN.

Oladimeji, F. A. (2012). *Bridge Bearings.* Sweden 2012: Master of Science Thesis .

Rodoviárias, M. -D.-I. (2004). *Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias.* Rio de Janeiro: IPR Publicações 709.

Rubber Bearing. (s.d.). Obtido de Kawakin Core-Tech Co.: http://www.kawakinco.jp/english/bridges/b_r04.html

RW Sollinger Hütte. (s.d.). Obtido de RW Sollinger Hütte: <http://www.rwsh.de/content/referenzen.html?id=20>

USA, M. (s.d.). Obtido de <http://www.magebausa.com/en/804/Revere-Beach-Footbridge.htm?Reference=19967>

Vaidya, M. S. (s.d.). *IRICEN.* Obtido de IRICEN.

Anexos

Anexo A – Histogramas Vida Útil de cada tipo de Aparelho de Apoio

Anexo B – Exemplo de Ficha de Inspeção e Ensaio do Levantamento do Tabuleiro

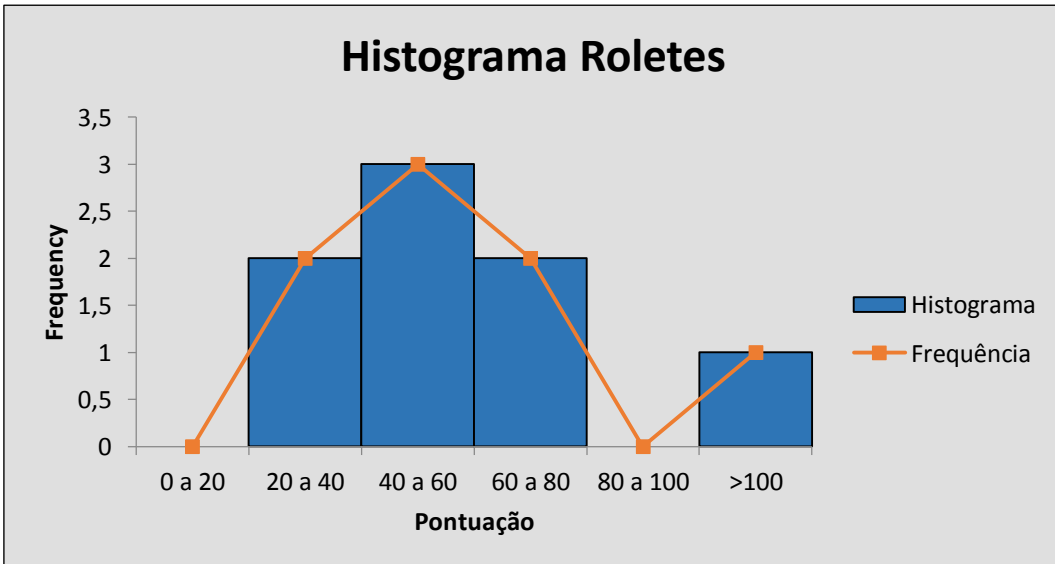
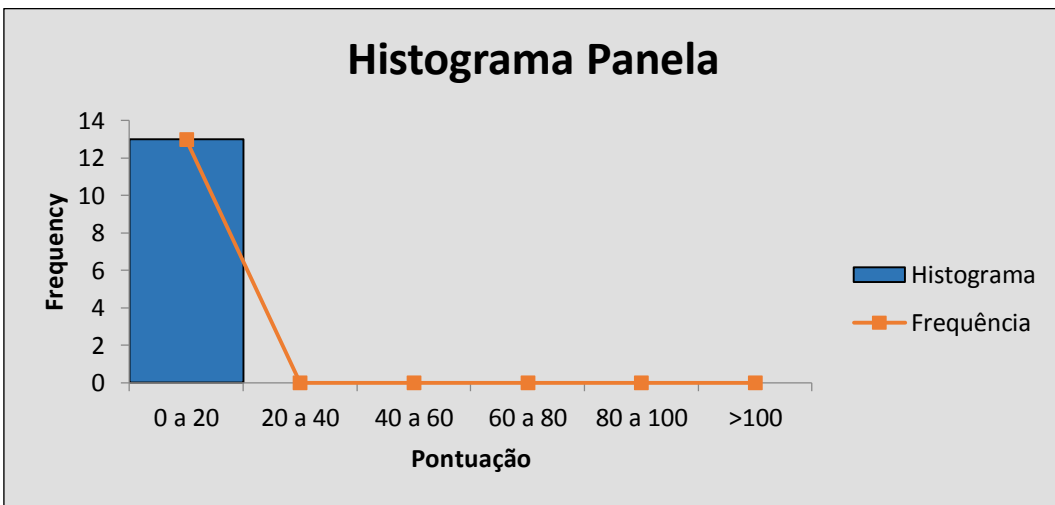
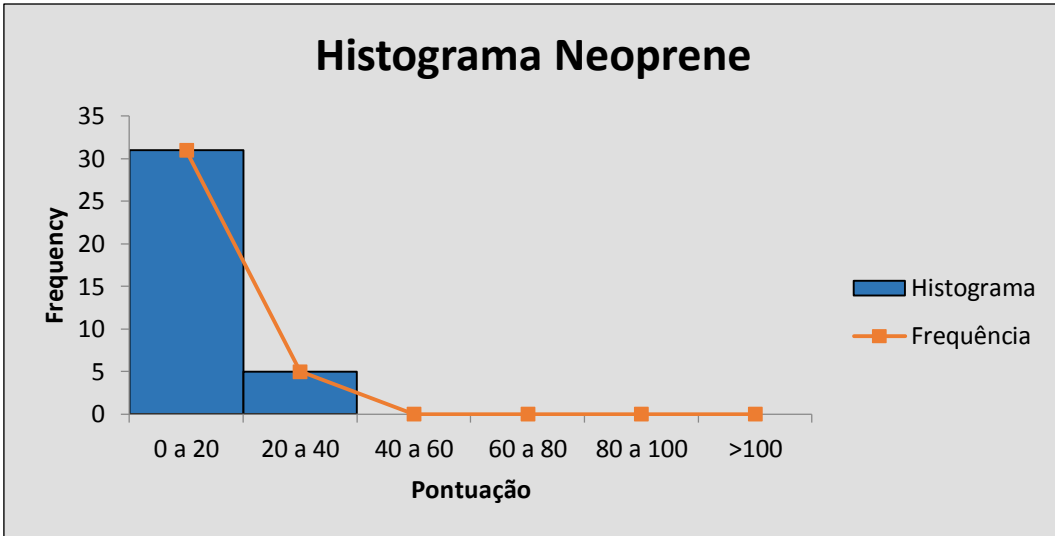
Anexo C – Exemplo de Ficha de Inspeção e Ensaio para Aparelhos de Apoio

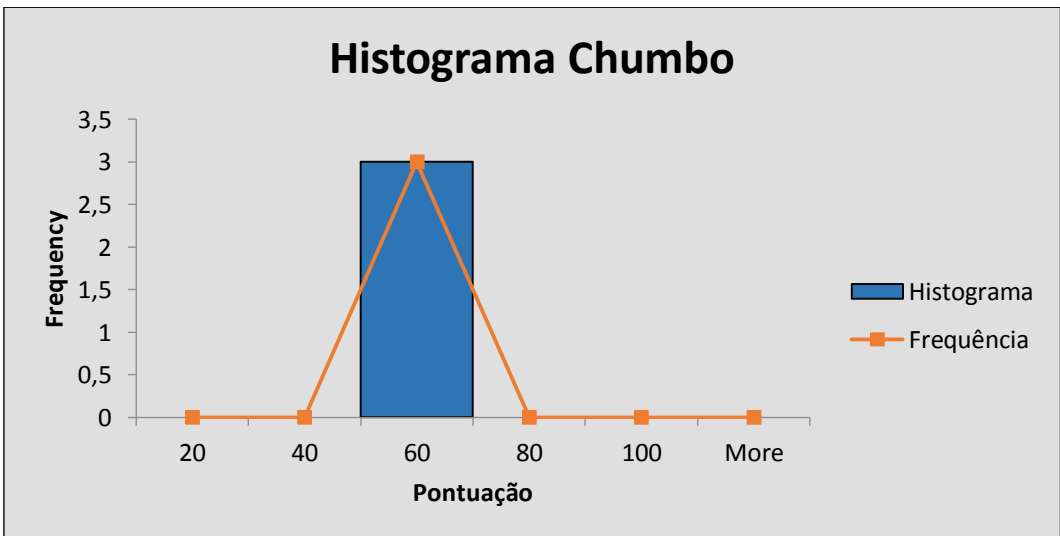
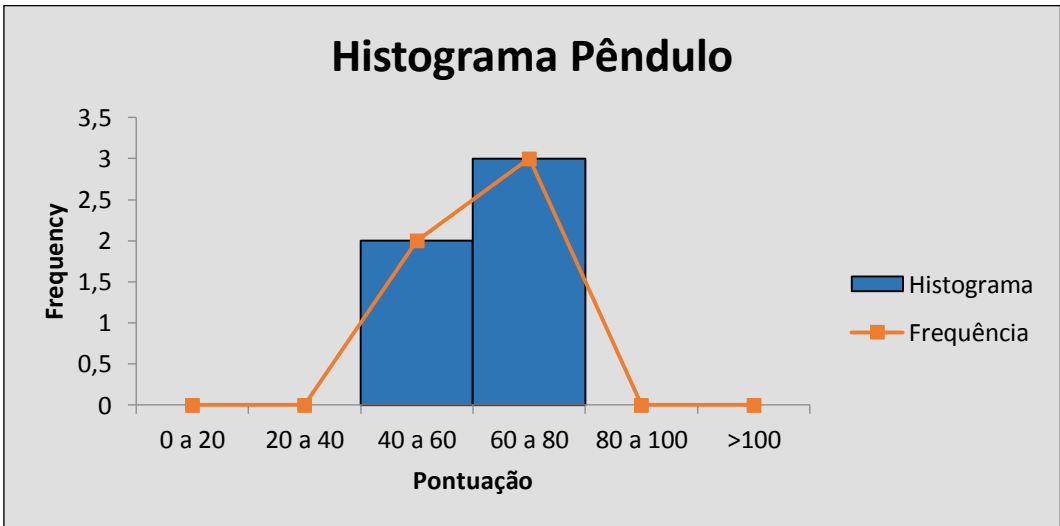
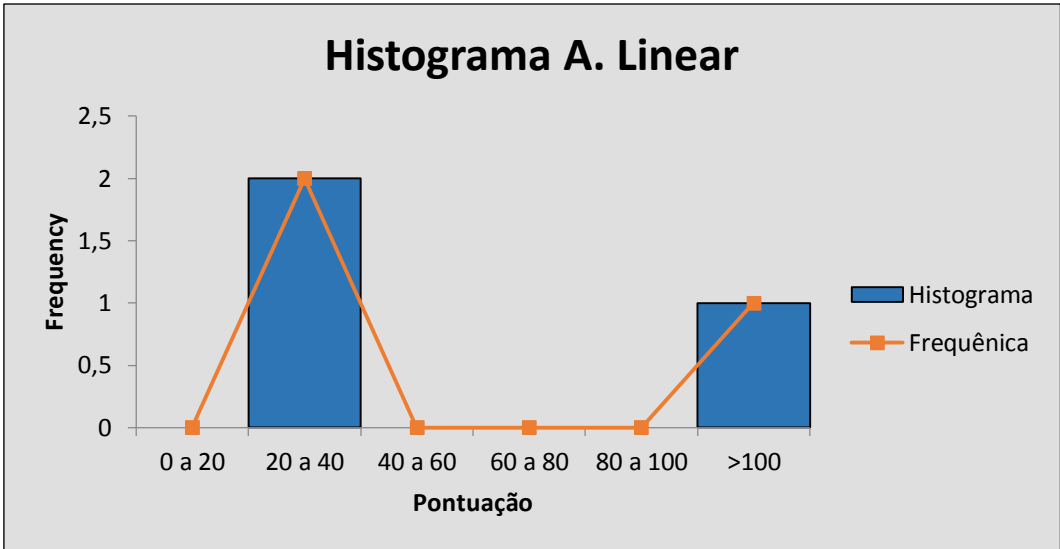
Anexo D – Identificação de Anomalias

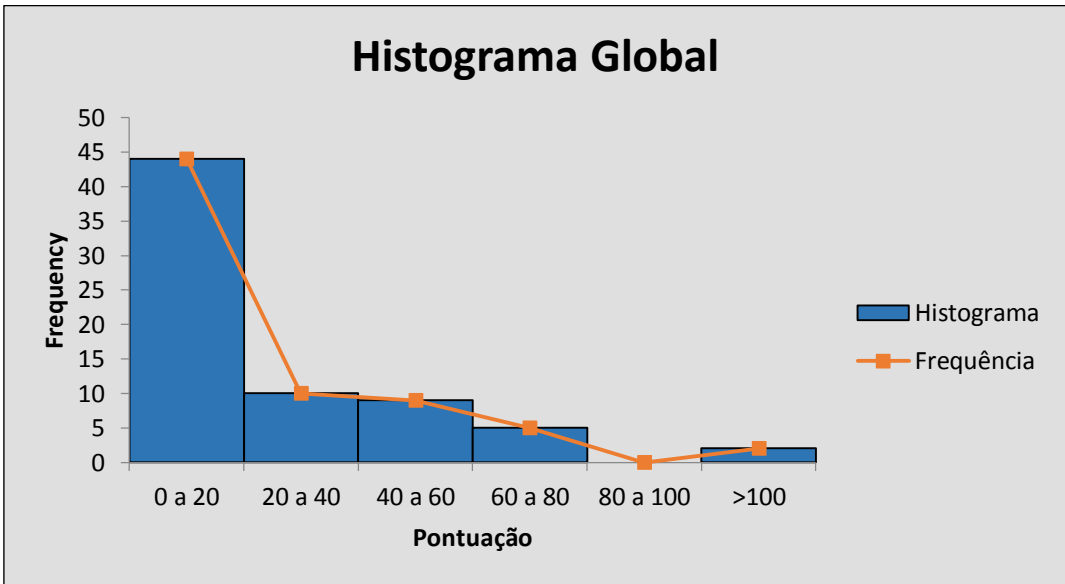
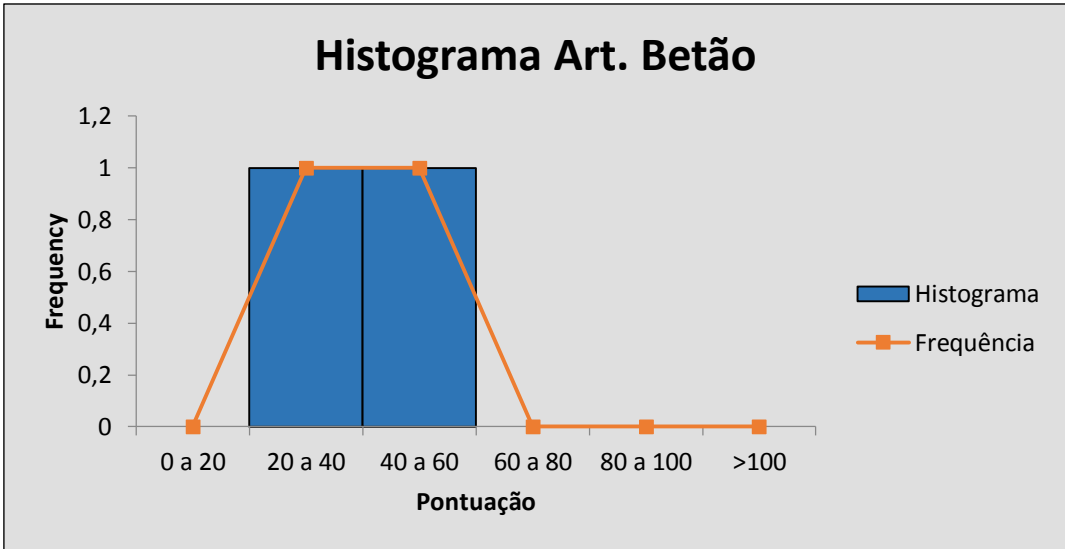
Anexo E – Peças Desenhadas (Caso de Estudo 1)

Anexo F – Peças Desenhadas (Caso de Estudo 2)

ANEXO A - Histogramas Vida Útil de cada tipo de Aparelho de Apoio







ANEXO B - Exemplo de Ficha de Inspeção e Ensaio do Levantamento do
Tabuleiro

REGISTO DE INSPECÇÃO E ENSAIO

LEVANTAMENTO DE TABULEIRO PARA SUBSTITUIÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO

EMPREITADA:

| MACACOS A UTILIZAR | QUANTIDADE (un) |
|--------------------|-----------------|
| | |

| ALINHAMENTO A LEVANTAR | |
|------------------------|--|
| | |

| OPERAÇÃO DE LEVANTAMENTO | | |
|--------------------------|------------------|--|
| INICIO | DATA / HORA | |
| | TEMPERATURA (°C) | |
| TÉRMINO | DATA / HORA | |
| | TEMPERATURA (°C) | |

✓ CONFORME
✗ NÃO CONFORME

- 1) REGULARIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES**

AS SUPERFÍCIES ONDE SERÃO APLICADOS OS MACACOS HIDRÁULICOS ESTÃO DEVIDAMENTE REGULARIZADAS?

SIM ✓

NÃO ✗
- 2) CHAPAS DE APOIO**

ESTÃO A SER UTILIZADAS CHAPAS DE APOIO RESISTENTES PARA DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS TRANSMITIDAS PELOS MACACOS?

SIM ✓

NÃO ✗
- 3) MACACOS HIDRÁULICOS E BOMBAS DE TENSIONAMENTO**

OS MEIOS TÉCNICOS DA FREYSSINET (MACACOS HIDRÁULICOS E BOMBAS DE ÓLEO) ENCONTRAM-SE EM CONDIÇÕES DE SEREM UTILIZADOS?

SIM ✓

NÃO ✗
- 4) CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS**

OS EQUIPAMENTOS DE TENSIONAMENTO ESTÃO DEVIDAMENTE CALIBRADOS?

SIM ✓

NÃO ✗
- 5) DISPOSITIVOS DE CONTROLO DE ELEVAÇÃO**

OS DISPOSITIVOS DE CONTROLO DE ELEVAÇÃO DO TABULEIRO ESTÃO LOCALIZADOS CORRECTAMENTE E EM QUANTIDADE SUFICIENTE?

SIM ✓

NÃO ✗
- 6) ANEL DE SEGURANÇA DOS MACACOS**

TODOS OS MACACOS DISPÕEM DE DISPOSITIVO DE TRAVAMENTO (ANEL DE SEGURANÇA) ?

SIM ✓

NÃO ✗

REGISTO DE INSPECÇÃO E ENSAIO

LEVANTAMENTO DE TABULEIRO PARA SUBSTITUIÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO

| | | | | | | |
|-----|---|---|-----|-----|-------------------------------------|---|
| 7) | MANGUEIRAS FLEXIVEIS | AS MANGUEIRAS FLEXIVEIS QUE FAZEM A LIGAÇÃO ENTRE O MACACO E A BOMBA DE TENSÃO ENCONTRAM-SE EM PERFEITAS CONDIÇÕES? | | SIM | <input checked="" type="checkbox"/> | ✓ |
| | | | | NÃO | <input type="checkbox"/> | ✗ |
| 8) | PRESSÕES NAS BOMBAS DE TENSIONAMENTO | A PRESSÃO MÁXIMA NA BOMBA DE ÓLEO DO CIRCUITO HIDRÁULICO FOI EXCEDIDA (>700 Bar) ? | Bar | SIM | <input type="checkbox"/> | ✗ |
| | | | | NÃO | <input checked="" type="checkbox"/> | ✓ |
| 9) | ELEVAÇÃO DO TABULEIRO | A ELEVAÇÃO DO TABULEIRO OCORREU UNIFORMEMENTE ? | | SIM | <input checked="" type="checkbox"/> | ✓ |
| | | | | NÃO | <input type="checkbox"/> | ✗ |
| 10) | TRANSFERÊNCIA DE CARGA | A TRANSFERÊNCIA DE CARGA DOS MACACOS PARA OS APARELHOS DE APOIO OCORRE UNIFORMEMENTE? | | SIM | <input checked="" type="checkbox"/> | ✓ |
| | | | | NÃO | <input type="checkbox"/> | ✗ |

OBSERVAÇÕES:

FREYSSINET - TERRA ARMADA, S.A.: _____

DATA: _____

EMPREITEIRO GERAL: _____

DATA: _____

ENTIDADE FISCALIZADORA: _____

DATA: _____

Anexo C – Exemplo de Ficha de Inspeção e Ensaio para Aparelhos de Apoio

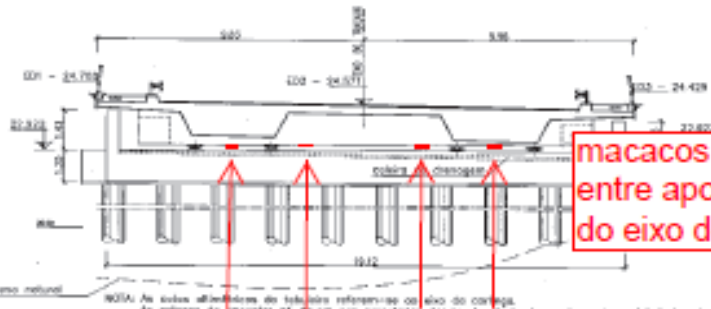
| | Eléments inspectés | Observations, mesures | Action requises |
|--------|--|----------------------------------|--|
| 1 | Localisation | | |
| 2 | Identification | | |
| 3 | N° de série | | |
| 4 | N de plan ° | | |
| 5 | Déplacement : - longitudinal (axe du pont) - transversal | L1 = L2 = T1 = T2 = | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 6 | Rotation (espace de rotation S) | S1 = S2 = S3 = S4 = | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 7 | Fluage du P.T.F.E. | p min = p max = | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 8 | Surface de glissement | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 9 | Dispositif de guidage | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 10 | Domage des parties métalliques | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 11 | Joint de protection | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 12 | Fixations provisoires | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 13 | Etat des éléments de la structure adjacente (structure, mortier) | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 14 | Fixations (vis) | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 15 | Protection contre la corrosion | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| 16 | Remarques | | <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non |
| Date : | Inspecteur : | Visa : | Feuille N° : |
| _____ | _____ | _____ | _____ of _____ |

Anexo D – Identificação de Anomalias

| Identificação de Anomalias | |
|-----------------------------------|--|
| A | Anomalias nos Materiais constituintes |
| A-1 | Defeitos de betão nas articulações de betão |
| A-2 | Corrosão das armaduras nas articulações de betão |
| A-3 | Fissuração, ovalização, quebra ou desgaste dos roletes |
| A-4 | Fissuração, desgaste, deformação, arqueamento ou rotura das chapas metálicas |
| A-5 | Defeitos nos revestimentos de deslizamento em teflon |
| A-6 | Esmagamento, deterioração e fluência da camada de chumbo |
| A-7 | Defeitos nas camadas de Neoprene |
| A-8 | Corrosão das partes metálicas |
| A-9 | Deterioração ou má fixação entre componentes, placas de deslizamento, guia ou batentes |
| AA-1 | Deterioração dos elementos guarda-pós |
| AA-2 | Degradação dos vedantes da panela |
| B | Anomalias de concepção ou de funcionamento |
| B-1 | Inclinação desajustada dos rolos ou roletes |
| B-2 | Desalinhamento dos eixos dos roletes em roletes múltiplos |
| B-3 | Inclinação excessiva ou deficitária do pêndulo |
| B-4 | Inclinação excessiva ou deficitária da calote esférica ou cilíndrica |
| B-5 | Transposição da guia de bloqueio |
| B-6 | Impedimento do deslocamento ou rotação por deposição de detritos |
| B-7 | Impedimento do deslocamento ou rotação por corrosão excessiva |
| B-8 | Distorção elevada do neoprene - Cisalhamento superior a metade da altura |
| B-9 | Deformação lateral elevada da almofada de neoprene dentro da panela |
| BB-1 | Deslocamento excessivo do aparelho de apoio móvel |
| BB-2 | Falta de lubrificação que aumenta a resistência ao deslocamento |
| BB-3 | Compressão elevada do neoprene. |
| C | Anomalias de construção, instalação ou colocação |
| C-1 | Fixações provisórias dos aparelhos de apoio não retiradas |
| C-2 | Amarrações provisórias dos encontros ao tabuleiro não retiradas |
| C-3 | Defeitos de geometria ou de execução das bases de assentamento |
| C-4 | Aparelhos fixos com o lado mais pequeno não paralelo ao eixo do pilar |
| C-5 | Inversão da colocação do aparelho de apoio |
| C-6 | Aparelho de apoio móvel não direcionado para o ponto fixo ou apoio fixo |
| C-7 | Fixações do aparelho de apoio deficientes |
| D | Anomalias nas bases de assentamento |
| D-1 | Deslocamento ou desligamento das mesas de assentamento |
| D-2 | Deficiente integridade da base de assentamento |
| D-3 | Humidade ou água estagnada na base de assentamento |
| D-4 | Detritos ou vegetação |

Anexo E – Peças Desenhadas (Caso de Estudo 1)

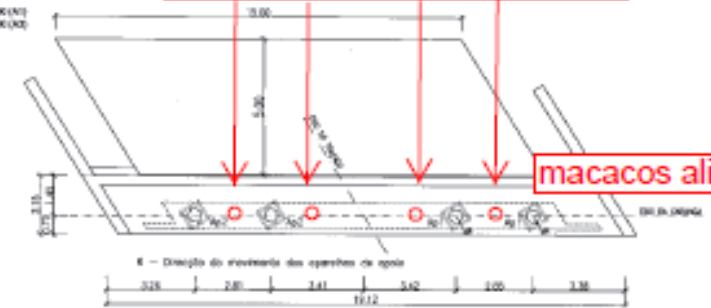
CORTE PELO EIXO DA CARLINA
ESC. 1/500 (A1)
1/500 (A2)



macacos externos centrados entre apoios e internos a 1,4m do eixo do apoio mais próximo.

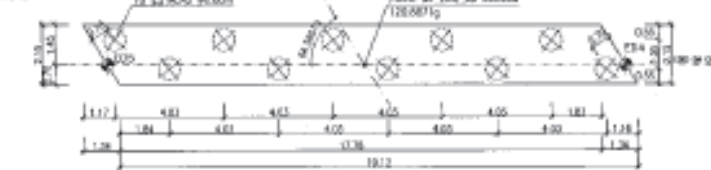
Posicionamentos dos macacos

PLANTA AO NIVEL DA CARLINA
ESC. 1/500 (A1)
1/500 (A2)

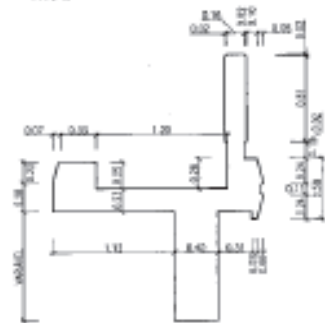


macacos alinhados pelo eixo dos apoios

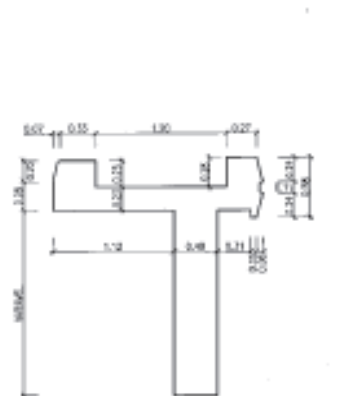
PLANTA DA FUNDAÇÃO
ESC. 1/500 (A1)
1/500 (A2)



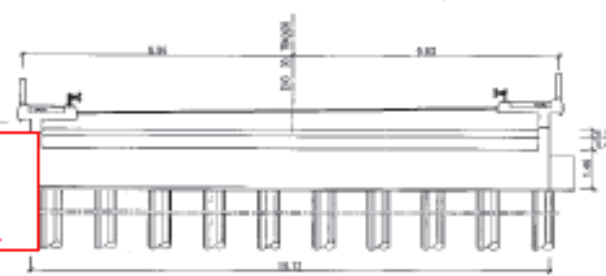
CORTE A-A'
ESC. 1/50 (A1)
1/50 (A2)



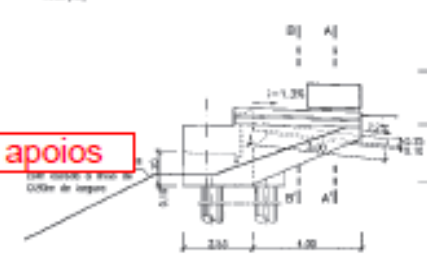
CORTE B-B'
ESC. 1/50 (A1)
1/50 (A2)



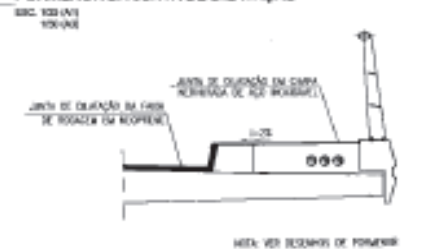
ALÇADO TARDOZ
ESC. 1/500 (A1)
1/500 (A2)



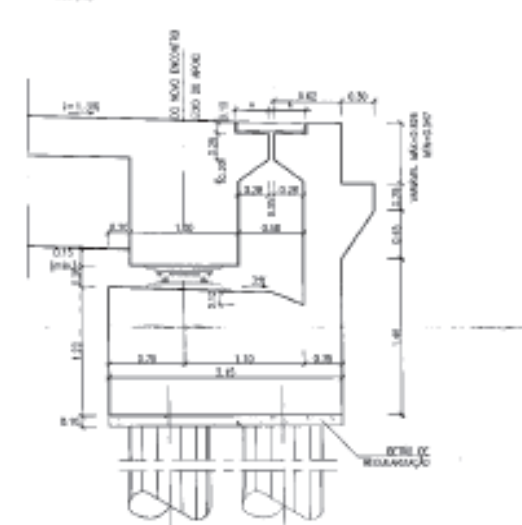
ALÇADO LATERAL
ESC. 1/500 (A1)
1/500 (A2)



PORMENOR DA JUNTA DE DILATAÇÃO
ESC. 1/50 (A1)
1/50 (A2)



CORTE DA VIGA DE ESTRIBO
ESC. 1/50 (A1)
1/50 (A2)



APARELHOS DE APOIO TIPO Ap1
TIPO POT BEARING MONIES UNIDIRECCIONAIS

| Medimento | Ações Verticais | | Deslocamento Longitudinal (mm) | Deslocamento Transversal (mm) | Bateria de Apoio (mm) | Bateria de Apoio (mm) | |
|-----------|-----------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| | Max (kN) | Min (kN) | | | | | |
| II | 1481 | 388 | 100 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 150 (15) |

APARELHOS DE APOIO TIPO Ap2
TIPO POT BEARING MONIES

| Medimento | Ações Verticais | | Deslocamento Longitudinal (mm) | Deslocamento Transversal (mm) | Bateria de Apoio (mm) | Bateria de Apoio (mm) | |
|-----------|-----------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| | Max (kN) | Min (kN) | | | | | |
| II | 1481 | 388 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |

MOVIMENTO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO

| Medimento | Movimento (mm) | |
|-----------|----------------|------|
| | Δ | Δ' |
| II | 0,00 | 0,00 |

NOTA: Δ - movimento de junta
Δ' - movimento de junta
- Δ e Δ' são definidos em função do tipo de junta a utilizar e da amplitude, sendo Δ o apoio de concreto de apoio.

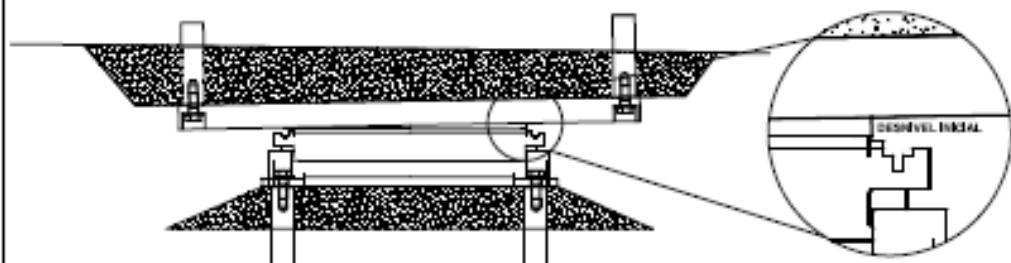
QUADRO DE COORDENADAS

| Ponto | X | Y | Alt. | Inteção | Offset (m) | Opção (m) |
|-------|-----------|------------|---------|---------|------------|-----------|
| 101 | 70811,007 | -10001,000 | 317,282 | 0,000 | 0,000 | 24,750 |
| 102 | 70811,008 | -10001,001 | 318,001 | 0,000 | 0,000 | 24,750 |
| 103 | 70811,009 | -10001,002 | 318,720 | 0,000 | 0,000 | 24,750 |
| 104 | 70811,010 | -10001,003 | 319,439 | 0,000 | 0,000 | 24,750 |
| 105 | 70811,011 | -10001,004 | 320,158 | 0,000 | 0,000 | 24,750 |

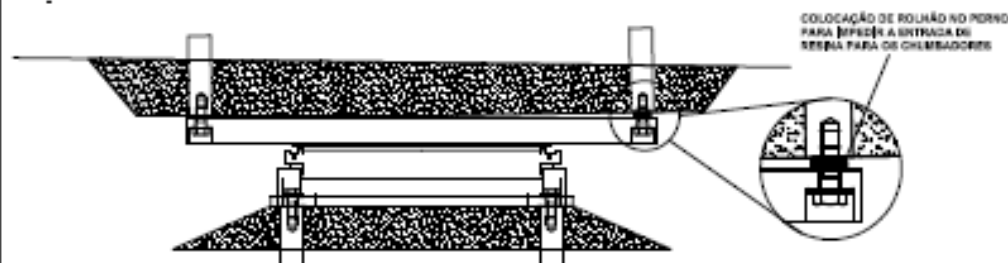
NOTA: As cotações dos pontos deverão ser definidas em função das cotações dos pontos de apoio, sendo esta cotação 0,00 m de elevação do terreno.

FASEAMENTO DE REPARAÇÃO NIVELAMENTO DOS APARELHOS DE APOIO

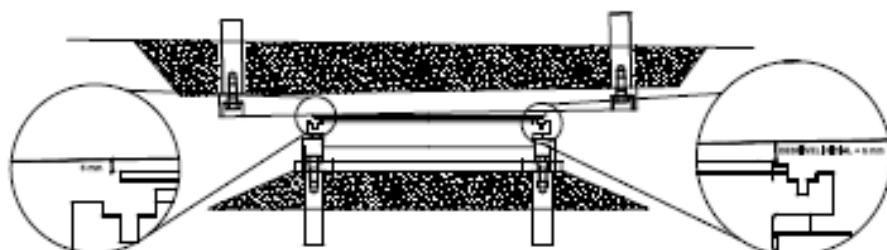
FASE 1 - Situação existente (desnvelamento)



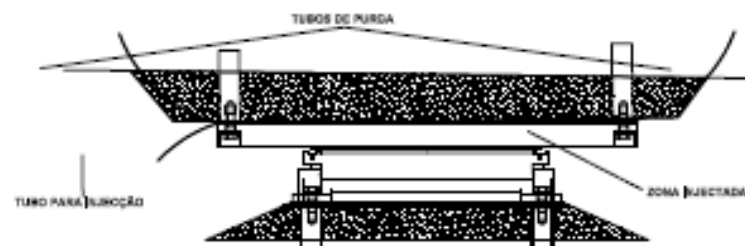
FASE 5 - Colocação do aparelho de apoio



FASE 2 - Levantamento da estrutura - 5 mm



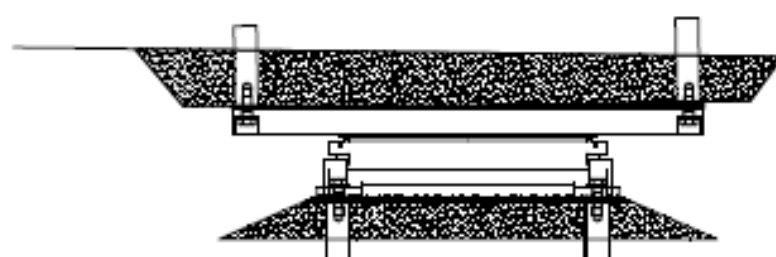
FASE 6 - Selagem e Injecção da chapa superior e groutamento de chapa inferior



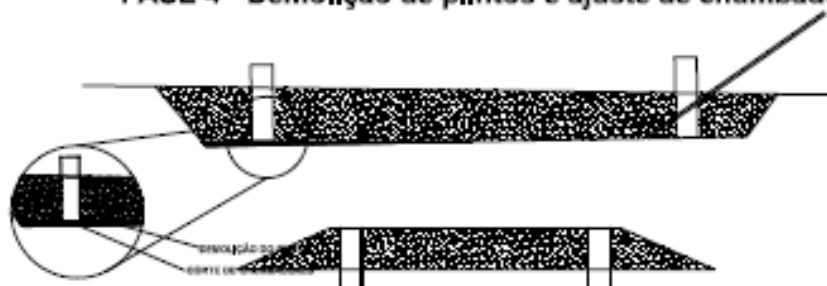
FASE 3 - Remoção do aparelho de apoio



FASE 7 - Transferência de carga



FASE 4 - Demolição de pilntos e ajuste de chumbadores

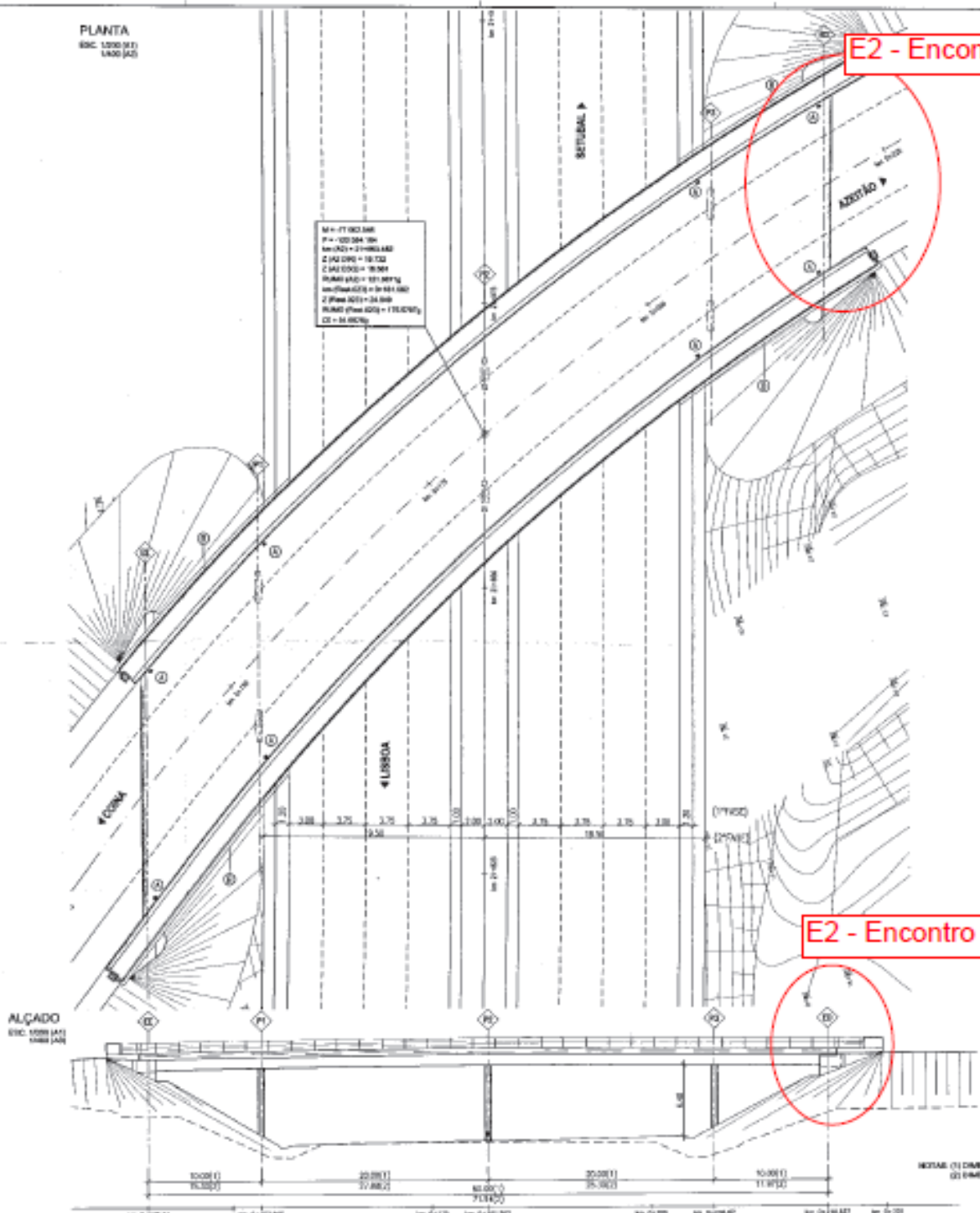


| | | | | |
|-------------|--|-----------------|----------|-------|
| A | MARÇO 2014 | | | |
| VERSÃO | DATA | | | |
| EMPRESA: | A2 - AUTO ESTRADA DO SUL | | CLIENTE: | SRISA |
| | MANUTENÇÃO DE OBRAS DE ARTE | | | |
| DESIGNAÇÃO: | FASEAMENTO MECÂNICO DO PROCESSO DE NIVELAMENTO DE APARELHOS DE APOIO | VERIFICADO POR: | ESCALAS: | |
| | | João Cavaco | S/E | |
| PREPARAÇÃO: | VERSÃO DEFINITIVA | DESENHADO POR: | DES. Nº: | |
| | | David Matias | Único | |

PLANTA
ESC. 1:200 (S1)
1:400 (A2)

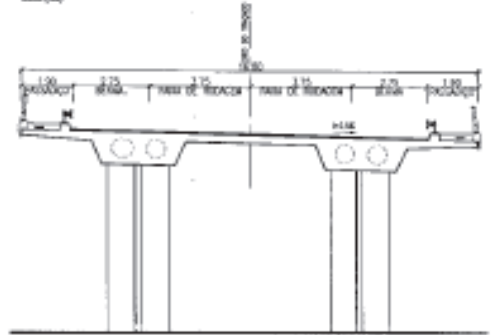
E2 - Encontro a levantar

PS23



M = 17 000 000
P = 100 000 000
R = 100 000 000
C = 100 000 000
D = 100 000 000
E = 100 000 000
F = 100 000 000
G = 100 000 000
H = 100 000 000
I = 100 000 000
J = 100 000 000
K = 100 000 000
L = 100 000 000
M = 100 000 000
N = 100 000 000
O = 100 000 000
P = 100 000 000
Q = 100 000 000
R = 100 000 000
S = 100 000 000
T = 100 000 000
U = 100 000 000
V = 100 000 000
W = 100 000 000
X = 100 000 000
Y = 100 000 000
Z = 100 000 000

CORTE TRANSVERSAL
ESC. 1:500 (S1)
1:1000 (A2)



MATERIAIS

BETÃO
CLASSE DE RESISTÊNCIA
PILARES E TABULEIRO C30/37
ENCONTROS, VIGAS DE BORDADURA E SAPATAS C25/28

CLASSES DE EXPOSIÇÃO (NP EN 206-1) CLASSE XC4

MÁXIMA DIMENSÃO DO AGREGADO
ELEMENTOS ENTERRADOS 38 mm
RESTANTES ELEMENTOS 28 mm

MÁXIMA RAZÃO AGUARCIMENTO 0,40
MÍNIMA DOSAGEM DE CIMENTO 300 Kg/m³

AÇO
CLASSE DE RESISTÊNCIA
ARMADURAS ORDINÁRIAS A500 NR
RECOBRIMENTOS
ELEMENTOS ENTERRADOS 35 mm
RESTANTES ELEMENTOS 35 mm

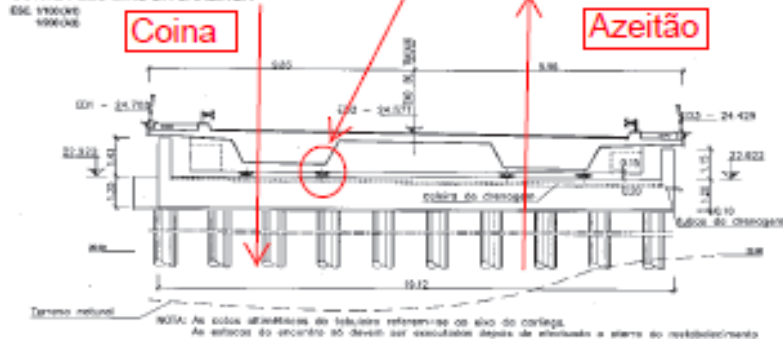
NOTAS:
① - DIMENSÃO DO TABULEIRO
② - CALDEIRO 1/2 DIA 4300

E2 - Encontro a levantar

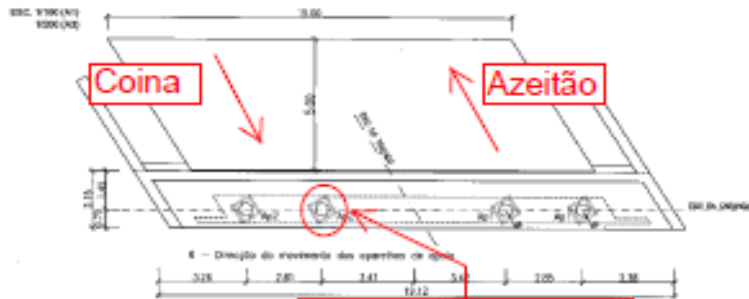
NOTAS: (1) DIMENSÃO NA PERPENDICULAR À A2
(2) DIMENSÃO SEGUNDO A DIRECÇÃO DA BARRA

Apoyo E2.2 a intervir

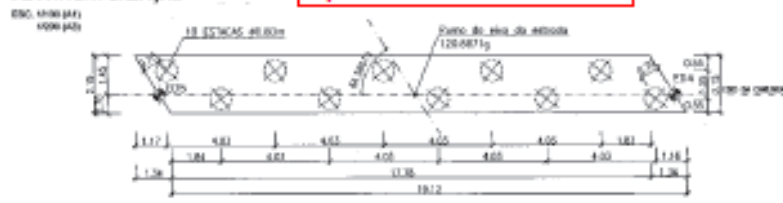
CORTE PELO EIXO DA CARLINGA



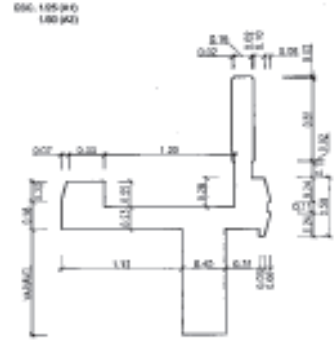
PLANTA AO NÍVEL DA CARLINGA



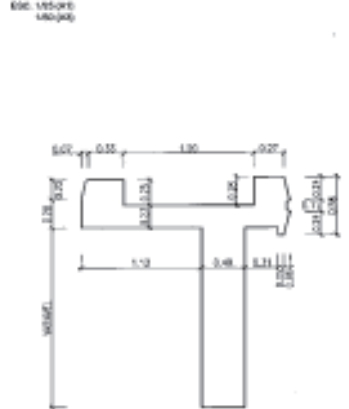
PLANTA DA FUNDAÇÃO



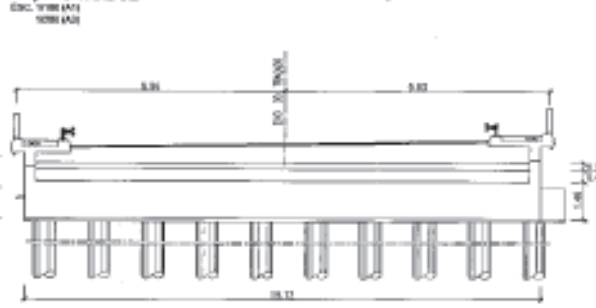
CORTE A-A'



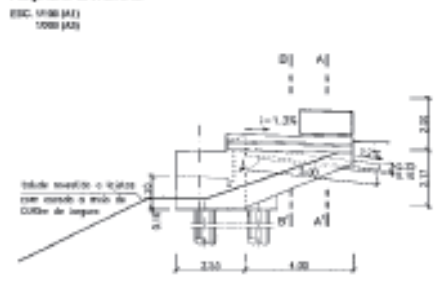
CORTE B-B'



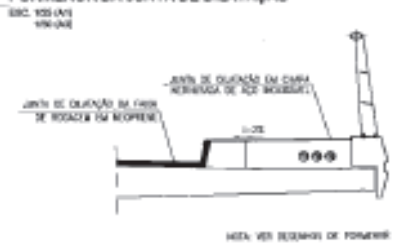
ALÇADO TARDOZ



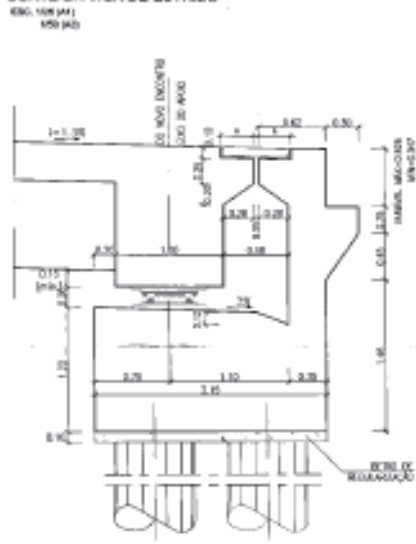
ALÇADO LATERAL



PORMENOR DA JUNTA DE DILATAÇÃO



CORTE DA VIGA DE ESTRIBO



APARELHOS DE APOIO TIPO Ap1

TIPO POT BEARING MÓVEL UNIDIRECCIONAL

| Material | Apóio Vertical | | Deslocamento Longitudinal | | Deslocamento Transversal | | Bainha (módulo de elasticidade) (Pa) | Bainha de amortecimento (Pa) |
|----------|----------------|-----|---------------------------|-------|--------------------------|------|--------------------------------------|------------------------------|
| | Tip | Dim | Tip | Dim | Tip | Dim | | |
| IT | 1400 | 300 | 1000 | 0,200 | 0,200 | 0,02 | 100000 | 100000 |

VALORES NÃO MÍNIMOS

APARELHOS DE APOIO TIPO Ap2

TIPO POT BEARING MÓVEL

| Material | Apóio Vertical | | Deslocamento Longitudinal | | Deslocamento Transversal | | Bainha (módulo de elasticidade) (Pa) | Bainha de amortecimento (Pa) |
|----------|----------------|-----|---------------------------|-------|--------------------------|-------|--------------------------------------|------------------------------|
| | Tip | Dim | Tip | Dim | Tip | Dim | | |
| IT | 1400 | 300 | 0,200 | 0,200 | 0,020 | 0,020 | 100000 | 100000 |

NOTA: As dimensões das placas deverão ser definidas em função das dimensões dos apoios de apoio

MOVIMENTO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO

| Material | Movimento (mm) | |
|----------|----------------|-------|
| | Tip | Dim |
| IT | 0,020 | 0,020 |

NOTA: a) - alongamento da junta
b) - encurtamento da junta

NOTAS:
- a junta é entregue e dimensionada para os movimentos indicados no quadro.
- a junta "IT" será definida em função do tipo de junta e o eixo a ser executado, duração e tipo de construção de base.

QUADRO DE COORDENADAS

| Ponto | N | E | Alt | Alt. original | Alt. (m) | Quota (m) |
|-------|-----------|------------|---------|---------------|----------|-----------|
| 101 | 70881,527 | 120522,650 | 317,482 | 2,2736 | 319,756 | 29,756 |
| 102 | 70881,328 | 120519,617 | 279,617 | -0,2198 | 319,400 | 29,400 |
| 103 | 70881,911 | 120515,442 | 271,542 | -2,2175 | 319,300 | 29,300 |
| 104 | 70882,361 | 120522,730 | 271,676 | - | 319,300 | 29,300 |
| 105 | 70882,481 | 120522,550 | 271,554 | - | 319,300 | 29,300 |

NOTA: As cotas altimétricas dos elementos referem-se ao nível médio do mar, sendo este considerado 0,00 m do aparelho de levantamento.

Anexo F – Peças Desenhadas (Caso de Estudo 2)

