



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TRABALHAR PARA TODOS
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

**PONTE DE CANAL
ILHA DE SANTO ANTÃO
CABO VERDE**

**PROJECTO DE REABILITAÇÃO ESTRUTURAL
IC222-RO134-B-NG459**

MEMÓRIA DESCRITIVA

**PORTO
JANEIRO DE 2020**

ÍNDICE

01. INTRODUÇÃO.....	2
02. DESCRIÇÃO GERAL DA ESTRUTURA DA PONTE	2
03. DESCRIÇÃO DA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DA ESTRUTURA DE BETÃO E DE ALVENARIA.....	4
03.3 CORTE, DESMONTE E NOVA BETONAGEM DE MONTANTES	5
01.1 AMARRAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA DO CIMBRE NA ALVENARIA.....	6
01.2 GUARDA CORPOS	6
01.3 ASPECTOS GERAIS.....	6
04. CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO CIMBRE METÁLICO	6
04.1 FASEAMENTO DOS TRABALHOS DE MONTAGEM DO CIMBRE E ELEMENTOS COMPLEMENTARES.....	7
04.2 MATERIAIS.....	8
04.3 ACÇÕES E COMBINAÇÕES DE ACÇÕES	9
04.3.1 Acções permanentes	9
04.3.2 Acções variáveis	9
04.4 COMBINAÇÃO DE AÇÕES.....	10
04.5 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA	10
04.5.1 Estados Limites Últimos.....	10
04.6 REGULAMENTAÇÃO	11
04.7 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	11
04.7.1 Modelo de Cálculo	11
04.7.2 Verificação de Segurança do cimbra metálico.....	12
05 LISTA DE PEÇAS DESENHADAS	14



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

01. INTRODUÇÃO

Refere-se a presente memória à descrição e justificação das soluções estruturais e construtivas adotadas no Projeto de Conservação e Reabilitação Estrutural da Ponte de Canal, localizada na Ribeira Grande, Santo Antão, Cabo Verde. Esta ponte, que tem função de aqueduto hidráulico, é património cultural imóvel de Cabo Verde tendo sido a inspeção e diagnóstico de âmbito estrutural da responsabilidade da equipa multidisciplinar do Instituto da Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (IC-FEUP), das Infraestruturas de Cabo Verde (ICV) e do Instituto do Património Cultural de Cabo Verde (IPC). Esta equipa foi coordenada pelo Professor Nelson Vila Pouca da FEUP e diretor do Núcleo de Reabilitação do IC-FEUP. A elaboração do presente Projecto de Estabilidade é da responsabilidade do IC-FEUP.

O Projeto de Estabilidade foi desenvolvido em concordância com as recomendações apresentadas no RELATÓRIO PRELIMINAR DE INSPEÇÃO ESTRUTURAL elaborado IC-FEUP) em setembro de 2019 - IC218-RVT314-A-NG455. As soluções de reabilitação estrutural implementadas procuram dar resposta aos problemas identificados no relatório do IC-FEUP.

Nesta memória descritiva são apresentados os aspetos gerais da conceção e das soluções de reabilitação estrutural adotadas no projeto, bem como das metodologias seguidas no desenvolvimento do Projeto, contemplando os aspetos fundamentais do mesmo, a saber:

- Descrição da reabilitação estrutural;
- Conceção e dimensionamento do cimb্রে metálico;
- Materiais a utilizar e critérios de durabilidade;
- Definição e quantificação de ações;
- Critérios de verificação da segurança;
- Regulamentação.

02. DESCRIÇÃO GERAL DA ESTRUTURA DA PONTE

A Ponte de Canal é um aqueduto hidráulico que atravessa uma ribeira cujo leito possuía inicialmente cerca de 24m de largura. É uma estrutura mista executada em alvenaria de pedra e em betão armado, Figura 1, que se situa na ilha de Santo Antão em Cabo Verde e cujo projeto e execução foi da responsabilidade das Brigadas Técnicas de Estudos e Trabalhos Hidráulicos (B.T.E.T.H.).



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO



Figura 1 – Alçado da Ponte de Canal

Segundo o “Relatório das obras hidráulicas executadas na ilha de Santo Antão – Abril a Junho de 1956” (anexo ao relatório de Inspeção) cedido pelo município a Ribeira Grande e datado desta data, a ponte é constituída por um “arco em betão armado com 24m de vão útil e 6m de flecha, tendo assim um abatimento de $\frac{1}{4}$. A espessura do fecho é de 0,50m e nas nascenças 0,80m. “Lateralmente o arco é forrado por aduelas de pedra em ambas as faces. Numa e noutra margem, o arco de betão é ladeado de outros arcos pequenos, de 2,60m de vão, em volta inteira que foram construídos de alvenaria mixta, de traço 1:4:6.” Adicionalmente refere-se que os pilares onde estes arcos assentam, assim como os encontros são também executados em alvenaria mista. Note-se ainda que a estrutura de alvenaria nos encontros é assimétrica tendo um único arco na margem direita e dois arcos na margem esquerda. Na Figura 2 é identificada por um retângulo vermelho a parte da estrutura que é executada em betão armado sendo a restante estrutura executada por alvenaria mista de pedra.

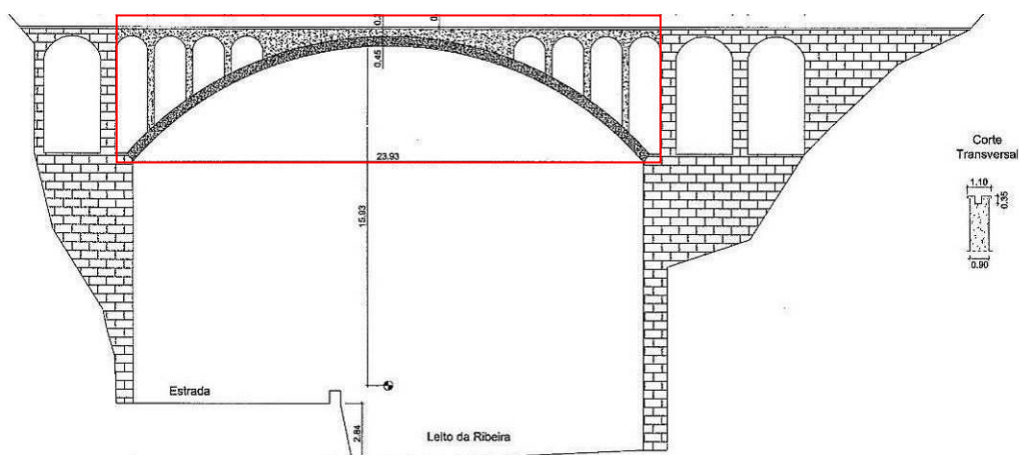


Figura 2 – Vista jusante da ponte com indicação da zona construída em betão armado.

03. DESCRIÇÃO DA REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DA ESTRUTURA DE BETÃO E DE ALVENARIA

03.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo far-se-á uma descrição das intervenções de índole estrutural tendo-se em consideração que se trata de um projeto de uma estrutura classificada com património cultural de Cabo Verde. Adotou-se, assim, uma atitude de conservação e de respeito pela estrutura existente procurando-se, no entanto, garantir os critérios de segurança estrutural vigentes, assim como atender às questões de durabilidade material. Admite-se que algumas decisões mais apuradas poderão ter de ser tomadas no decorrer da intervenção, uma vez que não foi possível inspecionar a totalidade da estrutura com o detalhe necessário e desejado (particularmente o estado global do guarda corpos e das sua ligações ao tabuleiro).

A descrição das intervenções será realizada em vários sub-capítulos, de acordo com o tipo de intervenção e zona a intervir.

Salienta-se que não deverá ser feita nenhuma ação de reabilitação da estrutura de betão da ponte sem a prévia montagem do cimbri em estrutura metálica que executará o suporte do arco e das plataformas de trabalho. O cálculo e definição deste cimbri metálico integram o projeto de reabilitação da Ponte de Canal e a sua montagem em obra deve ser executado de acordo com o especificado nesta memória, nas peças desenhadas e nas condições técnicas gerais e especiais.

Refere-se ainda que o Plano de Segurança e Saúde em Obra e o Plano de Resíduos serão da responsabilidade do empreiteiro e deverão ser aprovados pelo Dono de Obra ou por quem este indicar.

03.2 REABILITAÇÃO DO ARCO DE BETÃO ARMADO

A reabilitação do arco de betão armado só ocorrerá após a montagem do cimbri metálico que lhe dará apoio e que receberá as plataformas de trabalho e obedecerá aos seguintes procedimentos numa atitude de restauro da estrutura existente:

- Picagem do betão degradado do intradorso do arco de forma a atingir-se a camada sã do betão. Deverá ser reposta uma camada de regularização do intradorso do arco com uma argamassa pozolânica de características estruturais.
- Verificação em ambas as faces do arco do estado de fixação das pedras de forra. Todos os elementos de pedra que se encontrem a soltar-se do arco devem ser cuidadosamente removidos e acondicionados de forma a ser possível o seu reaproveitamento.
- Nas zonas onde as pedras serão removidas deve-se proceder à picagem do betão degradado à semelhança do já especificado para o intradorso do arco.
- Na face lateral do arco onde já não existe forra lateral de pedra deve igualmente ser picado o betão degradado.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

- Nas zonas onde se verifica a exposição de armaduras, estas devem ser limpas dos produtos da ferrugem que sobre ela se desenvolveram, considerando-se a substituição por empalme nas zonas onde os diâmetros se encontrem bastante reduzidos (ou seja, se a redução da sua secção ultrapassa 1/3 da secção inicial). As armaduras e devem ser mantidas em número e diâmetro igual ao existente.
- O extradorso do arco, bem como os enchimentos necessários à reposição da secção do arco devem ser executados por betão pozolânico de características semelhantes a um C25/30 devendo a cor ser semelhante à do betão existente.
- O tratamento do arco de betão armado onde as armaduras apresentam sinais de corrosão poderá ser feito segundo as recomendações que de seguida se expõem:
 - a. Remoção do betão degradado (“picagem”);
 - b. Limpeza das superfícies;
 - c. Nas zonas em que as armaduras fiquem expostas poderá proceder-se à sua proteção da seguinte forma:
 - i. Execução de uma barreira estanque, constituída por uma resina epoxídica (anticorrosão), precedida por vezes da aplicação de uma camada primária;
 - ii. Aplicação de uma proteção “passivante”, constituída geralmente por uma argamassa à base de ligantes hidráulicos com adjuvantes; neste caso a proteção é assegurada pelo pH elevado do cimento hidratado e os adjuvantes deverão ser inibidores de corrosão.
 - d. Reconstituição do betão, de forma assegurar compatibilidade com o tratamento anticorrosão. Esta reconstituição deve ser feita através de um microbetão ou um betão seco compatível, após a saturação com água limpa nas zonas a reconstruir.
- A fixação das pedras de forra no arco de betão com espigões de aço inox 316L deverá ser feito de acordo com o especificado nas peças desenhadas.

03.3 CORTE, DESMONTE E NOVA BETONAGEM DE MONTANTES

Após ter sido identificadas patologias graves nos montantes de betão (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) sobre o arco principal de betão e registado no relatório de inspeção foi preconizado a substituição destes montantes. A sua remoção e posterior betonagem *in-situ* com betão pozolânico da classe C25/30 reveste-se de uma cuidadosa operação, uma vez que não se pretende comprometer a estrutura do tabuleiro e qualquer assentamento localizado poderá dar origem a danos no tabuleiro. A remoção de cada um dos montantes deverá ser faseada e cumprir criteriosamente o especificado nas peças desenhadas. As armaduras a colocar nestes elementos serão em A400ER e em conformidade com as peças desenhadas. A chumbagem



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

das novas armaduras nos elementos existentes será feita por furação e selagem com sikagrout ou equivalente.

01.1 AMARRAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA DO CIMBRE NA ALVENARIA

Está prevista a amarração da estrutura de suporte do cimbra metálico do arco aos pilares de alvenaria da estrutura. Esta amarração deve cumprir o estipulado no projeto da estrutura metálica, mas deverá compatibilizar com a manutenção com critérios de conservação na estrutura de alvenaria. Assim, preconiza-se a retirada cuidadosa das pedras da alvenaria na zona de fixação desta estrutura metálica sendo estas pedras guardadas para posterior colocação após a retirada destas fixações. A reposição das pedras da alvenaria deve ser feita com argamassa semelhante à existente e que aparenta ser argamassa de cal com pozolanas. A afinação da cor da argamassa deve ser validada pelo Dono de obra ou por alguém que o represente.

01.2 GUARDA CORPOS

Não foi possível em fase de inspeção avaliar por troços o estado de conservação material do guarda corpos. Prevê-se, no entanto, uma atitude de restauro do existente e a execução dos troços degradados de acordo com os processos tradicionais de construção. Assim deverá ter-se bastante cuidado com este elemento durante a montagem do cimbra metálico de apoio do arco e dos andaimes necessários aos trabalhos de reabilitação. Considera-se, no entanto e por questões de durabilidade, que se poderá considerar em fase de obra a substituição integral do guarda corpos sendo que depois este terá de ser refeito com a seção existente.

01.3 ASPECTOS GERAIS

Os trabalhos de reabilitação estrutural deverão ser realizados por empresa idónea, com larga experiência na reabilitação de estruturas antigas.

Em todo o omissos deverá ser consultado o projetista e deverão prevalecer as normas técnicas aplicáveis e a arte de bem construir.

04. CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO CIMBRE METÁLICO

De forma a salvaguardar o suporte da Ponte Canal durante o processo de reabilitação estrutural, nomeadamente a demolição e reconstrução dos montantes do arco, foi concebido um cimbra metálico que é fixado nos montantes de alvenaria de pedra. Este cimbra metálico permite ainda a criação de plataformas de trabalho que asseguram o acesso e a execução dos trabalhos de reabilitação estrutural. Na Figura 3 está representado o alçado do cimbra metálico, onde é possível identificar as plataformas de trabalho e a fixação nos montantes de alvenaria de pedra. O cimbra metálico consiste em duas treliças verticais materializadas com perfis HEA e ligadas por três treliças horizontais (alinhamento A, B e C) materializadas por perfis HEA e



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

cantoneiras. Os montantes das treliças estão ligados por cruces em cantoneira. Através desta conceção todos os nós das treliças encontram-se travados permitindo considerar em fase de dimensionamento comprimentos de encurvadura iguais ao comprimento dos elementos entre nós. Desta forma foi possível chegar a uma solução estrutural mais esbelta e fácil de elevar. Todos os nós das treliças são soldados de forma a evitar a necessidade de realização de soldaduras/ligações em obra. Na zona dos montantes foi concebido um travamento que garante a rigidez transversal da solução.

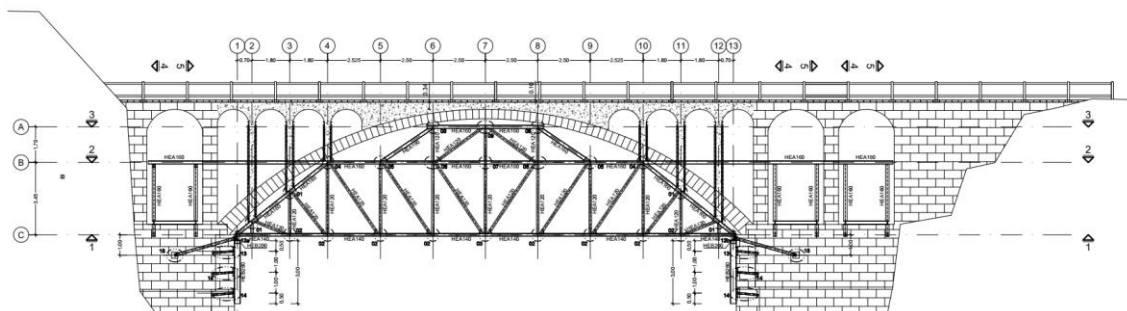


Figura 3. Alçado do Címbre.

04.1 FASEAMENTO DOS TRABALHOS DE MONTAGEM DO CIMBRE E ELEMENTOS COMPLEMENTARES

As soluções estruturais foram estabelecidas tendo em consideração a utilização de equipamentos e processos construtivos correntes e suficientemente experimentados associados à execução dos trabalhos previstos. Resume-se de seguida o faseamento dos trabalhos de montagem do címbre e elementos complementares e posterior desmontagem após realização da reabilitação estrutural.

Montagem da estrutura principal do címbre:

1. Execução dos pontos de fixação nos montantes de alvenaria de pedra:
 - a) Remoção das pedras da cantaria dos encontros nos pontos de fixação para posterior recolocação
 - b) Execução de carotes, colocação e selagem dos perfis CHS 82.5x10 com chapa de testa previamente soldada
2. Colocação em obra da estrutura principal do címbre e preparação do sistema de elevação.
3. Elevação da estrutura do címbre e montagem das estruturas de apoio (perfis HEB280 e HEB200) com aperto da ligação aparafusada (Pormenor 13) após posicionamento.
4. Apoio e fixação do címbre nas estruturas de apoio para remoção dos sistemas de elevação.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

5. Finalização das fixações das estruturas de apoio com a execução de soldaduras dos pormenores 14.
6. Fixação das escoras inclinadas (CHS 114.3x3.6) nos montantes de acordo com o pormenor 12b e o pormenor 15.

Desmontagem do cimbri após conclusão dos trabalhos de reabilitação:

1. Colocação e montagem das estruturas (perfis HEA160) para criação de plataformas de trabalho nos arcos Aa1, Aa2 e Aa3.
2. Colocação e fixação das estruturas de apoio provisório dos montantes a substituir.
 - a) Colocação e aperto dos perfis UNP160 aos montantes de acordo com o pormenor 11.
 - b) Fixação das escoras de apoio CHS114.3x3.6 ao cimbri de acordo com o pormenor 10.

Montagem de elementos complementares do cimbri:

1. Desmontagem dos elementos complementares do cimbri.
2. Elevação do cimbri e desmontagem das estruturas de apoio (corte das soldaduras nas chapas de fixação).
3. Descida do cimbri e posterior desmontagem.
4. Remoção das chapas e tubulares de fixação nos montantes e posterior colocação das pedras de cantaria.

04.2 MATERIAIS

Os principais materiais a adotar nos diversos elementos estruturais são expostos, de uma forma genérica, nos parágrafos que se seguem. Todos os materiais deverão obedecer à regulamentação correspondente em vigor.

Todos os elementos em betão armado betonados in situ serão em betão da classe de resistência C25/30.

Serão respeitadas todas as prescrições regulamentares aplicáveis, nomeadamente o Regulamento de Segurança e Ações em Estruturas de Edifícios e Pontes (R.S.A.) e o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (R.E.B.A.P.), a Norma Portuguesa NP EN 206-1, a NP4220, as normas do LNEC, em especial a LNEC E464, bem como os Eurocódigos vigentes.

Os elementos estruturais metálicos serão executados com os seguintes materiais:



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

MATERIAIS - ESTRUTURAS METÁLICAS	
AÇOS	
Perfis e Chapas em Geral	S275JR (NP EN 10025)
Perfis Tubulares Laminados a Quente	S275J0H (NP EN 10210)
Parafusos	DIN 931 - 10.9 / 8.8
Porcas	DIN 934 - 10 / 8
Anilhas	DIN126 - Aço
Chumbadouros (em geral)	8.8
Soldadura: - O valor do cordão de soldadura será 0.7 da menor espessura a soldar. - O eléctrodo de soldadura a utilizar deverá ser do tipo E.7018-G (AWS)	
ESQUEMAS DE PINTURA	
ELEMENTOS METÁLICOS - Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5	

04.3 ACÇÕES E COMBINAÇÕES DE ACÇÕES

04.3.1 Acções permanentes

Peso próprio da estrutura

- Elementos em betão armado25.0 kN/m³
- Elementos em alvenaria de pedra20.0 kN/m³
- Elementos em77.0 kN/m³

Restantes cargas permanentes

No dimensionamento do cimbra metálica foi considerada uma restante carga permanente associada ao peso próprio da ponte canal (conforme representado na Figura 4) e as cargas permanentes das plataformas de trabalho.

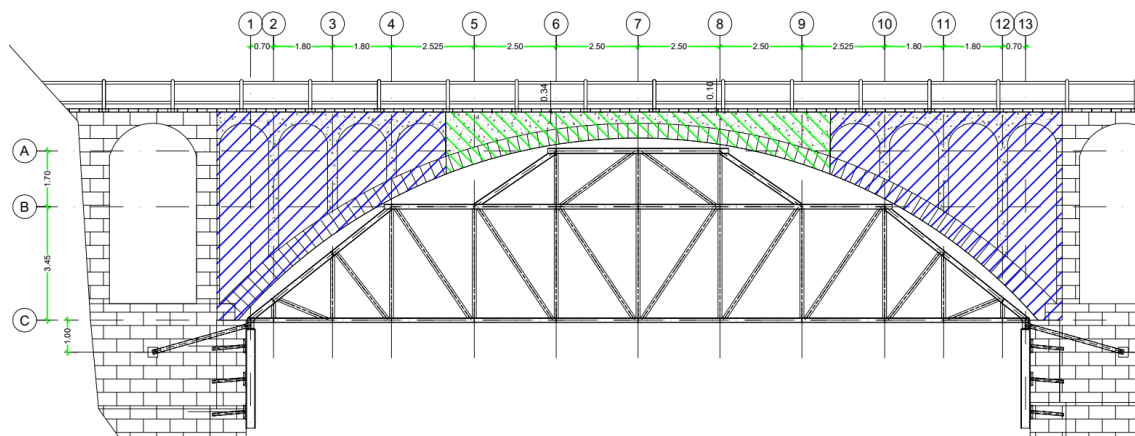


Figura 4 – Alçado do Cimbra.

04.3.2 Acções variáveis

Sobrecargas



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

Foram consideradas sobrecargas nas plataformas de trabalho com um valor de 1.0 kN/m por plataforma.

04.4 COMBINAÇÃO DE AÇÕES

As combinações das ações foram feitas de acordo com o RSA, considerando-se a possibilidade de combinações fundamentais a seguir apresentadas:

Combinações fundamentais:

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q \left[S_{q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} S_{Qjk} \right]$$

em que:

S_{Gik} - esforço resultante de uma ação permanente, tomada com o seu valor característico;

S_{Q1k} - esforço resultante de uma ação variável considerada como ação de base da combinação, tomada com o seu valor característico;

S_{Qjk} - esforço resultante de uma ação variável distinta da ação base, tomada com o seu valor característico;

γ_{gi} - coeficiente de segurança relativo às ações permanentes;

γ_q - coeficiente de segurança relativo às ações variáveis;

ψ_{oj} , ψ_{2j} - coeficientes ψ correspondentes à ação variável de ordem j .

04.5 CRITÉRIOS DE VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA

A verificação da segurança estrutural foi baseada nos diversos regulamentos e normas a seguir referidos no capítulo 9.

04.5.1 Estados Limites Últimos

A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos de resistência em termos de esforços baseou-se no estipulado na regulamentação com base na condição:

$$S_d \leq R_d$$

em que S_d representa o valor de cálculo do esforço atuante e R_d representa o valor de cálculo do esforço resistente.

Para todos os elementos constituintes da estrutura, como seja o caso de muros, lajes, pilares, vigas, etc., foram verificados os estados limites últimos de esforços normais e de flexão, bem como de esforço transversal.



INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

04.6 REGULAMENTAÇÃO

O projeto foi elaborado de acordo com a regulamentação portuguesa em vigor, complementada por outras normativas ou recomendações, com prioridade para os Eurocódigos:

- RSA - Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (Decreto-Lei nº 235/85 de 31 de Maio);
- REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (Decreto-Lei nº 349- C/83 de 30 de Julho);
- REAE - Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (Decreto-Lei nº 211/86 de 31 de Julho);
- Betão – Comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade - NP EN 206-1;
- Eurocódigo – Bases para o projeto de estruturas – EN 1990
- Eurocódigo 1 – Bases de cálculo e ações em estruturas – EN 1991;
- Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – EN 1992;
- Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – EN 1993;
- Betões – Metodologia Prescritiva para uma Vida Útil de Projecto de 50 e 100 Anos Face às Ações Ambientais – Especificação LNEC E464;
- Execução de estruturas de betão. Parte 1: Regras gerais - NP ENV 13670-1.

04.7 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

De forma a avaliar a solução de reabilitação estrutural a adotar foi elaborado um modelo estrutural da Ponte Canal e conduzida uma avaliação da segurança dos vários elementos. Adicionalmente foi realizado um modelo numérico do cimbri metálico que permitiu o seu dimensionamento e a justificação da segurança regulamentar.

04.7.1 Modelo de Cálculo

Foram elaborados dois modelos numéricos, um para simulação da Ponte Canal e um segundo para simulação do cimbri metálico. Apresenta-se na Figura 5 uma imagem 3D do modelo numérico da Ponte Canal e na Figura 6 uma imagem 3D do modelo numérico do cimbri metálico.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TRANSFORMAR O PAÍS
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

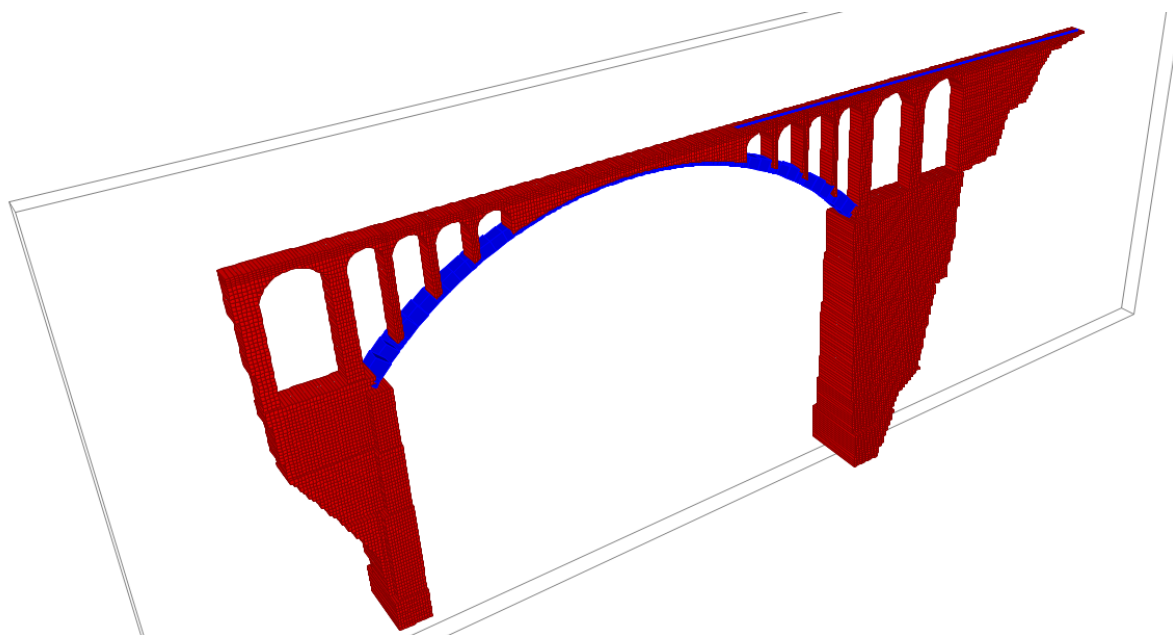


Figura 5 – Vista 3D do modelo numérico da Ponte Canal.

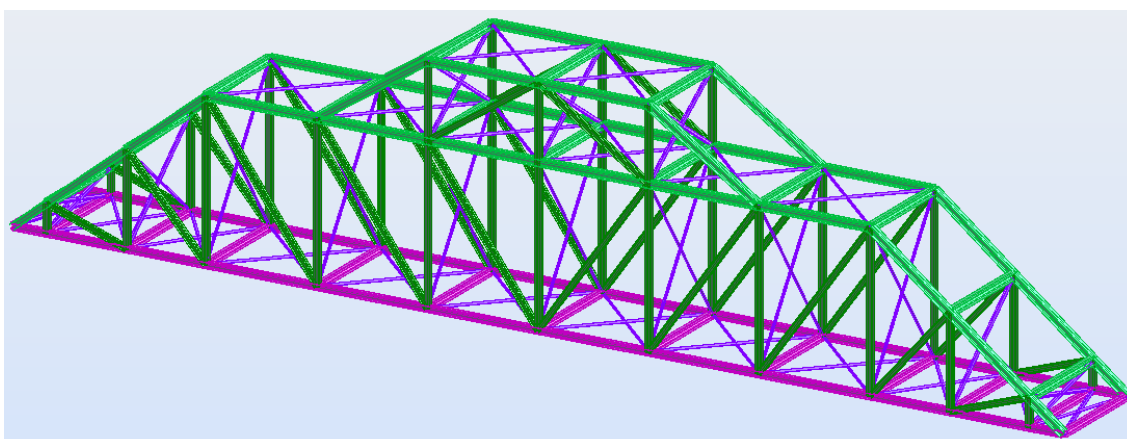


Figura 6 – Vista 3D do modelo numérico do cimbriço metálico.

04.7.2 Verificação de Segurança do cimbriço metálico

Apresentam-se de seguida alguns detalhes dos cálculos justificativos do cimbriço metálico verificando-se que cumprem a segurança regulamentar de acordo com o EC3.

CODE: EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Member Verification

LOADS:
Governing Load Case: 4 ULS $(1+2)*1.35+3*1.50$



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

MATERIAL:
S 275 (S 275) $f_y = 275.00$ MPa

SECTION PARAMETERS: HEA 160

h=15.2 cm $g_{M0}=1.00$ $g_{M1}=1.00$
b=16.0 cm $A_y=32.53$ cm² $A_z=13.21$ cm² $A_x=38.77$ cm²
tw=0.6 cm $I_y=1672.98$ cm⁴ $I_z=615.57$ cm⁴ $I_x=10.90$ cm⁴
tf=0.9 cm $W_{ply}=245.17$ cm³ $W_{plz}=117.63$ cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 666.53 kN $M_y,Ed = 14.08$ kN*m $M_z,Ed = -0.03$ kN*m $V_y,Ed = 0.02$ kN
Nc,Rd = 1066.21 kN $M_y,Ed,max = 14.08$ kN*m $M_z,Ed,max = -0.03$ kN*m $V_y,T,Rd = 516.49$ kN
Nb,Rd = 794.07 kN $M_y,c,Rd = 67.42$ kN*m $M_z,c,Rd = 32.35$ kN*m $V_z,Ed = 5.10$ kN
 $MN_y,Rd = 29.00$ kN*m $MN_z,Rd = 24.41$ kN*m $V_z,T,Rd = 209.75$ kN
Tt,Ed = -0.00 kN*m
Class of section = 1

LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About y axis: About z axis:
 $L_y = 2.31$ m $Lam_y = 0.40$ $L_z = 2.31$ m $Lam_z = 0.67$
 $Lcr,y = 2.31$ m $X_y = 0.92$ $Lcr,z = 2.31$ m $X_z = 0.74$
 $Lamy = 35.15$ $kzy = 0.60$ $Lamz = 57.94$ $kzz = 1.02$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N,Ed/Nc,Rd = 0.63 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $(M_y,Ed/MN_y,Rd)^{2.00} + (M_z,Ed/MN_z,Rd)^{3.13} = 0.24 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $V_y,Ed/V_y,T,Rd = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $V_z,Ed/V_z,T,Rd = 0.02 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
Global stability check of member:
 $\lambda_{y,Ed} = 35.15 < \lambda_{y,max} = 210.00$ $\lambda_{z,Ed} = 57.94 < \lambda_{z,max} = 210.00$ STABLE
 $N,Ed/(X_y \cdot N,Rk/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_y,Ed,max/(XLT \cdot M_y,Rk/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_z,Ed,max/(M_z,Rk/g_{M1}) = 0.90 < 1.00$ (6.3.3.(4))
 $N,Ed/(X_z \cdot N,Rk/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_y,Ed,max/(XLT \cdot M_y,Rk/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_z,Ed,max/(M_z,Rk/g_{M1}) = 0.97 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Section OK !!!

CODE: EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.
ANALYSIS TYPE: Member Verification

LOADS:

Governing Load Case: 4 ULS (1+2)*1.35+3*1.50

MATERIAL:
S 275 (S 275) $f_y = 275.00$ MPa

SECTION PARAMETERS: HEA 120

h=11.4 cm $g_{M0}=1.00$ $g_{M1}=1.00$
b=12.0 cm $A_y=21.64$ cm² $A_z=8.46$ cm² $A_x=25.34$ cm²
tw=0.5 cm $I_y=606.15$ cm⁴ $I_z=230.90$ cm⁴ $I_x=5.63$ cm⁴
tf=0.8 cm $W_{ply}=119.50$ cm³ $W_{plz}=58.85$ cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:

N,Ed = 168.77 kN $M_y,Ed = 0.22$ kN*m $M_z,Ed = 0.39$ kN*m $V_y,Ed = -0.19$ kN
Nc,Rd = 696.74 kN $M_y,Ed,max = 0.22$ kN*m $M_z,Ed,max = 0.39$ kN*m $V_y,T,Rd = 343.52$ kN
Nb,Rd = 259.85 kN $M_y,c,Rd = 32.86$ kN*m $M_z,c,Rd = 16.18$ kN*m $V_z,Ed = 0.12$ kN
 $MN_y,Rd = 28.33$ kN*m $MN_z,Rd = 16.18$ kN*m $V_z,T,Rd = 134.26$ kN
Tt,Ed = 0.00 kN*m
Class of section = 1

BUCKLING PARAMETERS:

About y axis: About z axis:
 $L_y = 3.51$ m $Lam_y = 0.83$ $L_z = 3.51$ m $Lam_z = 1.34$
 $Lcr,y = 3.51$ m $X_y = 0.71$ $Lcr,z = 3.51$ m $X_z = 0.37$
 $Lamy = 71.72$ $kzy = 0.66$ $Lamz = 116.20$ $kzz = 1.46$

VERIFICATION FORMULAS:

Section strength check:

$N,Ed/Nc,Rd = 0.24 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $(M_y,Ed/MN_y,Rd)^{2.00} + (M_z,Ed/MN_z,Rd)^{1.21} = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))



INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

$V_y, Ed/V_y, T, Rd = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $V_z, Ed/V_z, T, Rd = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $Tau, ty, Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
 $Tau, tz, Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
 Global stability check of member:
 $Lambda, y = 71.72 < Lambda, max = 210.00$ $Lambda, z = 116.20 < Lambda, max = 210.00$ STABLE
 $N, Ed/(Xy*N, Rk/gM1) + kyy*My, Ed, max/(XLT*My, Rk/gM1) + kyz*Mz, Ed, max/(Mz, Rk/gM1) = 0.38 < 1.00$ (6.3.3.(4))
 $N, Ed/(Xz*N, Rk/gM1) + kzy*My, Ed, max/(XLT*My, Rk/gM1) + kzz*Mz, Ed, max/(Mz, Rk/gM1) = 0.69 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Section OK !!!

CODE: EN 1993-1:2005/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.
 ANALYSIS TYPE: Member Verification

LOADS:
 Governing Load Case: 4 ULS (1+2)*1.35+3*1.50

MATERIAL:
 S 275 (S 275) $f_y = 275.00$ MPa

SECTION PARAMETERS: HEA 140
 $h=13.3$ cm $gM0=1.00$ $gM1=1.00$
 $b=14.0$ cm $Ay=26.36$ cm² $Az=10.12$ cm² $Ax=31.42$ cm²
 $tw=0.5$ cm $Iy=1033.13$ cm⁴ $Iz=389.32$ cm⁴ $Ix=7.97$ cm⁴
 $tf=0.9$ cm $Wply=173.51$ cm³ $Wplz=84.85$ cm³

INTERNAL FORCES AND CAPACITIES:
 $N, Ed = -579.19$ kN $My, Ed = 1.49$ kN*m $Mz, Ed = 0.00$ kN*m $Vy, Ed = 0.01$ kN
 $Nt, Rd = 863.94$ kN $My, pl, Rd = 47.71$ kN*m $Mz, pl, Rd = 23.33$ kN*m $Vy, T, Rd = 418.45$ kN
 $My, c, Rd = 47.71$ kN*m $Mz, c, Rd = 23.33$ kN*m $Vz, Ed = 0.02$ kN
 $MN, y, Rd = 17.90$ kN*m $MN, z, Rd = 15.89$ kN*m $Vz, T, Rd = 160.73$ kN
 $Tt, Ed = 0.00$ kN*m
 Class of section = 1

VERIFICATION FORMULAS:
 Section strength check:
 $N, Ed/Nt, Rd = 0.67 < 1.00$ (6.2.3.(1))
 $(My, Ed/MN, y, Rd)^{2.00} + (Mz, Ed/MN, z, Rd)^{3.35} = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $V_y, Ed/V_y, T, Rd = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $V_z, Ed/V_z, T, Rd = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $Tau, ty, Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)
 $Tau, tz, Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.00 < 1.00$ (6.2.6)

Section OK !!!

05 LISTA DE PEÇAS DESENHADAS

- M01.R00 - Cembre Metálico - Alçado da Treliza
- M02.R00 - Cembre Metálico - Cortes Estruturais
- M03.R00 - Cembre Metálico - Pormenores Ligações Metálicas 1/3
- M04.R00 - Cembre Metálico - Pormenores Ligações Metálicas 2/3
- M05.R00 - Cembre Metálico - Pormenores Ligações Metálicas 3/3
- B01.R00 – Reabilitação da estrutura de betão. Alçado e Pormenores tipo 1/2
- B02.R00 – Reabilitação da estrutura de betão. Alçado e Pormenores tipo 2/2



INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DE
CABO VERDE
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO