



RELATÓRIO PRELIMINAR DE INSPEÇÃO ESTRUTURAL

PONTE DE CANAL

RIBEIRA GRANDE - SANTO ANTÃO

CABO VERDE

IC218-RVT314-A-NG455

PORTO, SETEMBRO DE 2019



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



GOVERNO DO
**CABO
VERDE**
A TRANSIÇÃO PARA O FUTURO
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

Relatório preliminar de inspeção estrutural | setembro 2019 | IC218-RVT314-A-NG455

ÍNDICE

01	INTRODUÇÃO	1
02	BREVE DESCRIÇÃO DA PONTE	2
03	TRABALHOS DE INSPEÇÃO E ENSAIOS	13
03.1	ASPETOS GERAIS	13
03.2	VALIDAÇÃO DA GEOMETRIA CONSTANTE NO LEVANTAMENTO	14
03.3	ENSAIOS COM ESCLERÓMETRO	14
03.3.1	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS	14
03.3.2	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	16
03.4	EXTRAÇÃO DE CAROTES	16
03.4.1	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS	16
03.5	MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM CAROTE	19
03.6	AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS	20
03.6.1	METODOLOGIA	20
03.7	DETEÇÃO DE ARMADURA	22
03.8	ENSAIOS DE IDENTIFICAÇÃO DINÂMICA	22
03.8.1	ESTUDO NUMÉRICO PRELIMINAR	22
03.8.2	ENSAIOS DINÂMICOS	25
03.9	SONDAGENS SEMI-DESTRUTIVAS	27
03.9.1	METODOLOGIA	27
03.9.2	OBSERVAÇÃO <i>IN SITU</i>	28
03.10	ENSAIOS ÀS ARGAMASSAS E À COMPOSIÇÃO DO BETÃO	29
04	MAPAS DE DANO	31
05	NOTAS E RECOMENDAÇÕES FINAIS	46

ANEXOS – PEÇAS DESENHADAS

D01 e D02 – Levantamento Geométrico da Estrutura. Cortes e pormenores

Di1 a Di5 – Desenhos de Inspeção – Levantamento Fotográfico

01 INTRODUÇÃO

O presente relatório preliminar de inspeção foi desenvolvido pelo Instituto da Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (IC-FEUP), e tem por objeto a superestrutura da Ponte de Canal, situada na Ribeira Grande na Ilha de Santo Antão em Cabo Verde, que é Monumento de Cabo Verde. A inspeção foi efetuada ao abrigo do protocolo de parceria tripartido entre o IC – Instituto da Construção, o ICV – Infraestruturas de Cabo Verde e o IPC – Instituto do Património Cultural. A equipa do IC-FEUP que se dedicou ao presente trabalho é constituída pelos professores Humberto Varum, Nelson Vila Pouca, Xavier Romão e António Arêde e pela engenheira Esmeralda Paupério. A equipa do ICV que acompanhou os trabalhos de campo foi constituída pelos engenheiros Henri Gomes e Christopher Oliveira e a equipa do IPC foi constituída pelos engenheiros Anildo Moreira e Louvualo Ribeiro.

Uma primeira visita à estrutura foi efetuada em junho de 2019, tendo sido feita a inspeção técnica nos dias 26 e 27 de agosto de 2019. A inspeção teve o auxílio de um veículo elevatório com cesta (Manitou) para a visualização mais próxima de parte da estrutura e a realização de alguns ensaios. O objetivo principal desta visita foi realizar a inspeção estrutural da superestrutura da Ponte de Canal não se incluindo nos objetivos deste trabalho sondagens às fundações dos dois pilares da ponte. Nos ensaios *in situ* foram utilizados equipamentos do Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE) da FEUP.

Além da presente introdução este relatório é estruturado da seguinte forma: no segundo capítulo 2 faz-se uma breve descrição da ponte; no capítulo 3 apresentam-se os trabalhos de inspeção, levantamentos geométricos e os ensaios efetuados na estrutura. No capítulo 4 apresentam-se os tipos de danos e/ou anomalias observadas na superestrutura estruturados em mapas de dano com repetitivos registos fotográficos. No capítulo 5 apresentam-se as principais recomendações da intervenção a realizar.

Após a análise dos resultados dos ensaios laboratoriais será produzido o relatório final de inspeção.

Este relatório tem por base:

- Levantamento arquitetónico da estrutura e planta topográfica de implantação fornecidos pelo IPC;
- Relatório das obras hidráulicas executadas na ilha de Santo Antão – Abril a Junho de 1956”, fornecido pela Câmara Municipal da Ribeira Grande;
- A inspeção dos elementos estruturais e construtivos nas zonas interessadas;
- Os registos (fotográfico, entre outros) feitos pela equipa do IC-FEUP durante as visitas de junho e agosto de 2019;
- A análise dos resultados das sondagens e ensaios *in situ* e laboratoriais efetuados.



**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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

02 BREVE DESCRIÇÃO 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.).



Figura 1 – Vista geral de jusante.

Segundo o “Relatório das obras hidráulicas executadas na ilha de Santo Antão – Abril a Junho de 1956” (anexo a este relatório) 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 com cerca de 15cm de espessura sendo que algumas já se destacaram da estrutura de betão. É referido no relatório: “A largura de betão, entre as pedras das aduelas, foi de 0,62m.” Mais adiante refere: “... a largura ocupada pelas pedras foi de 0,30m, em média. Deste modo a largura do enchimento de betão foi de 0,62m, completando assim 0,92m que é a largura total da canalização, incluindo a espessura das cortinas,” e ainda “O arco foi armado com 3 ferros de 1”, colocados segundo a curva das pressões, embora o cálculo nos indicasse ser desnecessário a armadura. Numa e noutra margem, o arco foi ladeado de outros arcos pequenos, de 2,60m de vão, em volta inteira; foram construídos de alvenaria mixta, de traço 1:4:6.”



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

Adicionalmente refere-se que os pilares onde estes arcos assentam, bem 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. Na Figura 3 apresenta-se a fotografia da estrutura de betão da ponte.

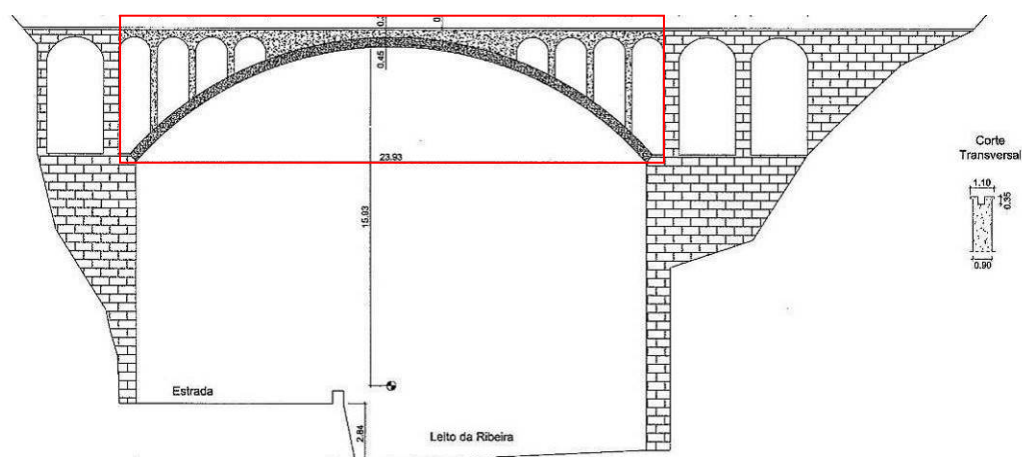


Figura 2 – Vista jussante da ponte com indicação da zona construída em betão armado.



Figura 3 – Arco de betão (jussante).

Da Figura 4 à Figura 20 apresentam-se fotografias dos diferentes elementos estruturais da ponte, salientando-se desde já a excelente execução e bom estado de conservação dos elementos em alvenaria de pedra.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



Figura 4 – Arcos de alvenaria sobre o encontro esquerdo.



Figura 5 – Montantes e arco de betão.



Figura 6 – Pilar do lado esquerdo (vista de frente).



Figura 7 – Pilar e encontro do lado esquerdo (vista de jusante).



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



**GOVERNO DO
CABO
VERDE**
A TERRA É PARA TODOS
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



Figura 8 – Pilar do lado esquerdo (montante) e arranque do arco.



Figura 9 – Pilar e encontro do lado direito (montante).



Figura 10 – Pilar e encontro do lado direito (jusante).



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

Relatório preliminar de inspeção estrutural | setembro 2019 | IC218-RVT314-A-NG455 | página 5/47



Figura 11 – Pilar do lado direito (jusante).



Figura 12 – Transição alvenaria/betão (jusante).

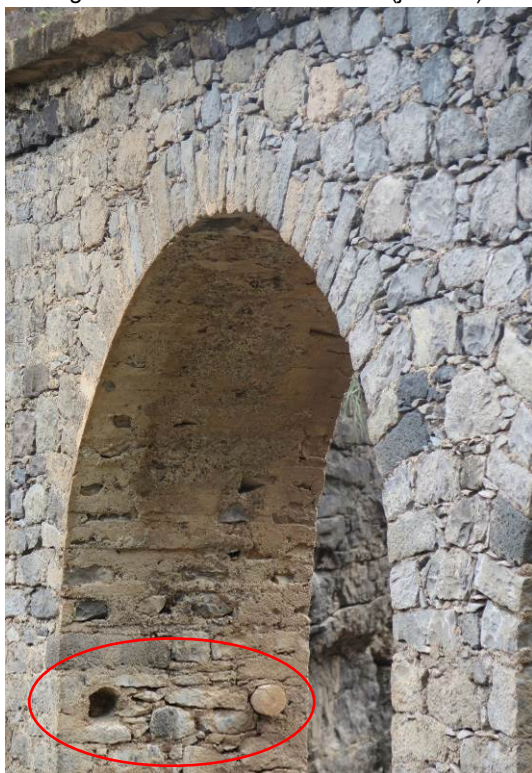


Figura 13 – Pormenor da alvenaria e da ainda existência dos apoios do cimbra do arco.



Figura 14 – Pormenor da zona lateral do arco com e sem forra lateral de pedras (jusante).



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

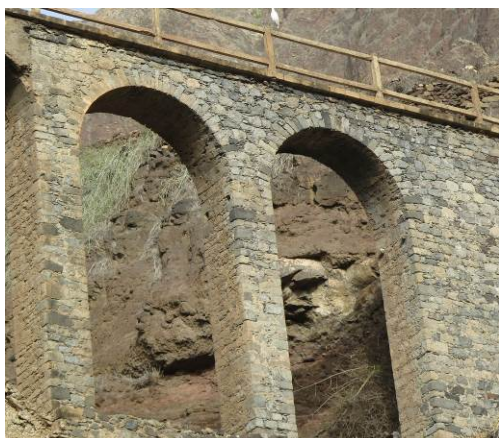


Figura 15 – Alvenaria de pedra bem aparelhada.



Figura 16 – Pormenor da alvenaria de pedra.



Figura 17 – Alvenaria de pedra em altura na variação da secção do pilar.



Figura 18 – Vista lateral da secção do pilar.



Figura 19 – Aspetto geral do betão nos montantes.



Figura 20 – Pormenor do betão num montante.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

De acordo com o levantamento arquitetónico da ponte fornecido pelo IPC de Cabo Verde e com medições efetuadas no local a ponte tem um desenvolvimento de cerca de 45m sendo que o arco vence o vão de 24m. Em elevação, da face inferior do arco no seu fecho à cota da estrada a altura é de cerca de 16,5m sendo de cerca de 20,0m à cota da ribeira. Refere-se ainda que a estrada situada junto ao lado direito da ponte tem cerca de 10,0m de largura e foi construída mais recentemente tendo sido por isso reduzida a secção da ribeira para cerca de 14,0m relativamente aos 24,0m iniciais.

O tabuleiro da ponte canal executa o canal da água com ligeira pendente da margem direita para a margem esquerda para irrigação de terrenos. No total tem 1,10m de largura tendo o canal da água cerca de 0,35m de largura e 0,20m de profundidade, Figura 21. O tabuleiro possui uma única guarda lateral do lado jusante executada em argamassa armada, Figura 22.

Ainda segundo a informação na própria ponte a obra deve ter terminado em 1957 de acordo com a marcação existente na zona central do arco. Já os pilares laterais possuem datação de 1956, Figura 23 e Figura 24.

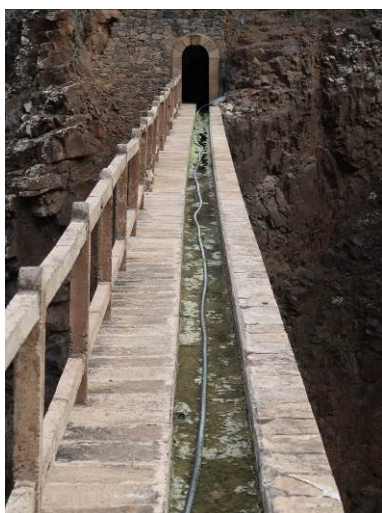


Figura 21 – Tabuleiro com o canal de água.



Figura 22 – Pormenor da guarda a jusante.



Figura 23 – Marcação da data (1957) na pedra de fecho que executa a forra lateral do arco.



Figura 24 – Marcação da data (1956) na alvenaria do pilar direito.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

A ponte terá sofrido alterações na fase da construção, tal como referido por um trabalhador que ainda se encontra vivo e que mora junto à ponte, o Sr. Adrião Maria dos Santos nascido a 20 de Agosto de 1928 e cujos relatos que nos fez em Junho de 2019 sobre a construção da ponte se vertem neste relatório, Figura 25 e Figura 26. Introduzem-se ainda algumas descrições do processo construtivo da ponte incluídas no relatório de 1956, assim como fotografias da construção que o integram.

De acordo com o relato do Sr. Adrião inicialmente estaria previsto um pilar a meio do vão da ribeira tendo, portanto, a estrutura dois arcos. Acontece que, por motivos que não conseguimos apurar, este pilar colapsou optando-se depois por executar um único arco. Desconhece-se se a estrutura inicialmente prevista de dois arcos era em alvenaria de pedra e a opção pelo uso de betão armado foi tomada posteriormente devido ao vão de 24m a vencer.



Figura 25 – O Sr. Adrião a explicar a construção da ponte.



Figura 26 – O Sr. Adrião na ponte que atravessa todos os dias.

Ainda de acordo com o Sr. Adrião o cimento utilizado foi Secil sendo toda a areia e pedra bem lavada antes da execução das argamassas e do betão. Qualquer trabalhador que calcasse as argamassas ou o betão ficava sem receber esse dia de trabalho. Ainda segundo ele as fundações dos pilares são em estacaria de madeira usando-se a madeira de manga e madeira de jember (ou gembre como se diz localmente). As estacas eram cravadas cerca de 5m no solo e unidas no topo por cravos de ferro.

De acordo com a descrição do relatório de 1956 a construção do cimbreiro de madeira afigurou-se como a maior dificuldade pela falta de madeira no local. Foi solicitada madeira para a sede (entendemos como Portugal) mas, para não haver atrasos na obra, optaram pela construção de 3 pilares intermédios em alvenaria o que diminuiu bastante a quantidade de madeira necessária ao cimbreiro. O cimbreiro era mais largo que o arco para permitir a passagem dos trabalhadores. Devido à falta de meios elevatórios para colocação do betão em obra, e de forma a reduzir os riscos de acidentes, o betão era transportado à cabeça por mulheres até onde estas conseguiam subir sendo depois passado de mãos em mãos numa coluna de homens até ao local da betonagem.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



O betão foi executado em obra ao traço 3:5:10 em volume. Os encontros e pilares foram de alvenaria hidráulica mista ao traço 1:4:6. De acordo com o observado nas fotografias da execução do arco as pedras de forra lateral do arco funcionaram como cofragem perdida. Segundo o descrito a argamassa de assentamento destas pedras era de cimento ao traço 1:3.

Relativamente aos traços das argamassas e betão não há nenhuma referência ao uso de pozolanas, mas considera-se com toda a certeza que terão sido usadas nesta obra uma vez que estas abundam nesta ilha e contribuem para uma maior durabilidade da obra. Bibliografia consultada¹ refere que “A alvenaria hidráulica é constituída por idênticos fragmentos pedregosos e argamassa de cal hidráulica e areia”. Estando-se em território de boas pozolanas está-se em crer que as argamassas hidráulicas foram executadas com cal branca e adição de pozolanas considerando-se ainda que também o betão deverá ter pozolanas adicionadas ao ligante sendo que as areias e a brita usada nas argamassas e betões são de pedra basáltica. A mesma bibliografia refere vários traços de argamassas com uso de pozolanas.

À entrada do caminho de acesso à margem esquerda da ponte pela zona das casas existe uma pedra de rala instrumento em tempos muito usado em Santo Antão. Segundo relatos dos locais estas pedras eram comunitárias e muito usadas para ralar diferentes tipos de grão usados na culinária diária, assim como também as pozolanas para usar nas obras.

Da Figura 27 à Figura 31 apresentam-se fotografias da execução do arco que integram o relatório de 1956, na Figura 32 apresenta-se a fotografia da equipa que trabalhou na obra assinalando-se o Sr. Adrião e na Figura 33 apresenta-se a pedra de rala existente nas imediações da ponte no acesso às casas.



Figura 27 – Vista geral do cimbrio do arco com pilares de alvenaria de apoio à sua execução.

¹ “Enciclopédia prática da construção civil – Obras de Alvenaria” Fascículo 13 de F. Pereira da Costa (sem data)



Figura 28 – Cimbra e assentamento das pedras laterais do arco.



Figura 29 – Betonagem do arco sem se verificar o arranque de armaduras verticais para os montantes.



Figura 30 – Transporte do betão em altura.

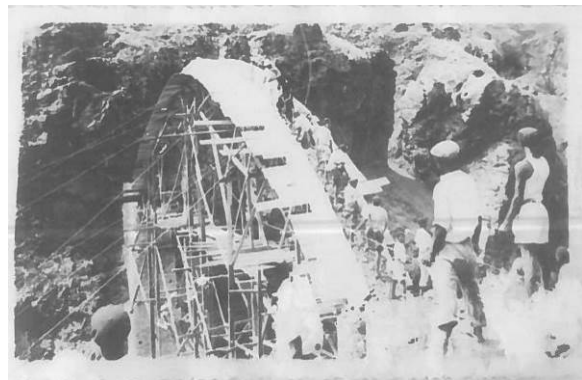


Figura 31 – Transporte do betão ao longo do arco.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

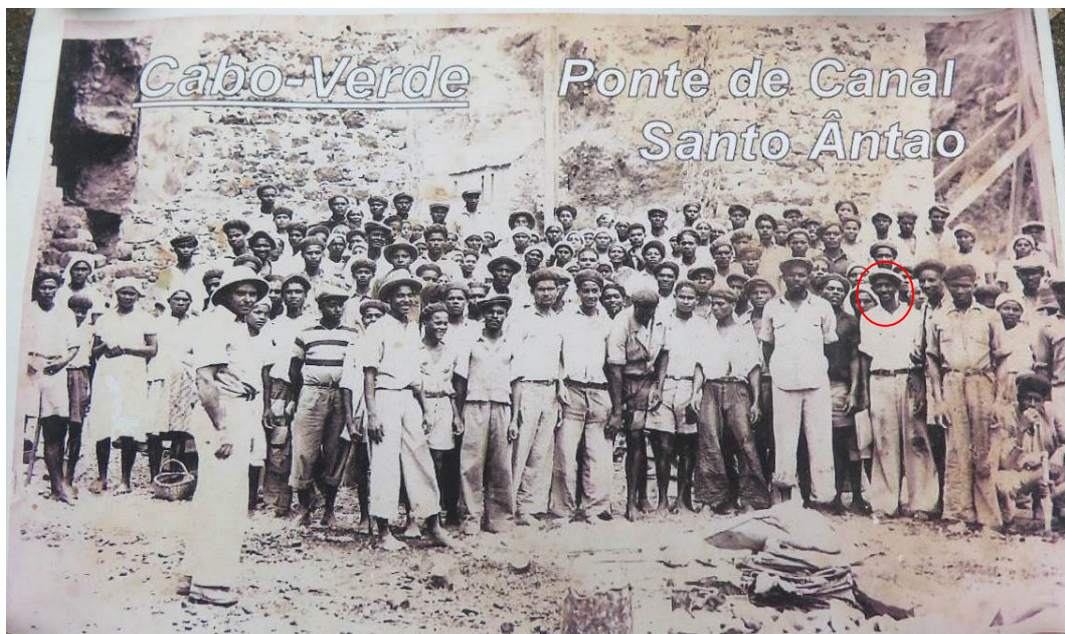


Figura 32 – Foto da equipa de obra no seu final. O círculo vermelho assinala o Sr. Adrião dos Santos



Figura 33 – Pedra de rala perto da ponte de canal



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



**GOVERNO DO
CABO VERDE**
A TERRA É PARA TODOS
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

03 TRABALHOS DE INSPEÇÃO E ENSAIOS

03.1 ASPETOS GERAIS

Os trabalhos de inspeção, ensaios e sondagens que se descrevem de seguida têm como objetivos validar os vãos e a geometria dos elementos estruturais, fornecer estimativas das propriedades mecânicas do betão utilizado em obra, possibilitar uma medição da profundidade de carbonatação do betão, avaliar o teor de cloretos no betão e detetar as armaduras nos montantes de betão armado (em número e em diâmetro).

Foram feitos vários ensaios e sondagens de diferente natureza e com objetivos distintos. Esses procedimentos, bem como as suas particularidades e resultados, são descritos nas secções seguintes.

De forma a facilitar a identificação da localização de sondagens, de ensaios e da ocorrência dos danos foram numerados os elementos estruturais da ponte tendo-se adotado a numeração da margem esquerda para a margem direita de acordo com a vista montante que se apresenta na Figura 34: A1 – Arco de betão; Mi – Montantes em betão; Pi – Pilares principais de alvenaria; Pai – Pilares de alvenaria que recebem o tabuleiro até aos encontros; Ei – Encontros; T – tabuleiro e um elemento não estrutural: GC – guarda corpos. Adotou-se o sentido crescente da margem esquerda para a margem direita.

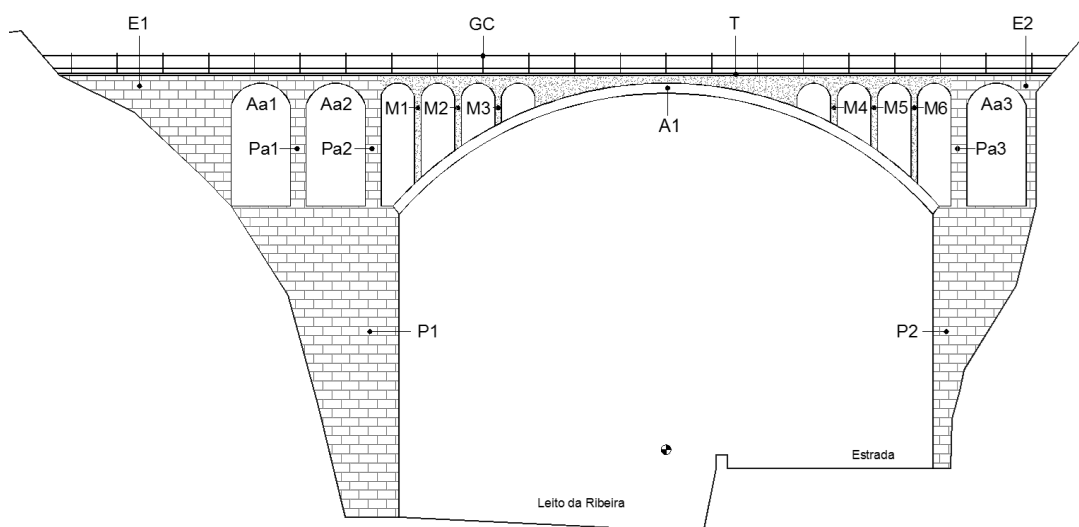


Figura 34 – Vista montante. Numeração dos elementos estruturais.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

03.2 VALIDAÇÃO DA GEOMETRIA CONSTANTE NO LEVANTAMENTO

Durante a inspeção a equipa do IC-FEUP e do ICV procedeu a uma validação da informação fornecida no levantamento arquitetónico em relação à respetiva geometria. Para isso foi feita a medição de alguns vãos e de algumas secções dos elementos estruturais.

As medições efetuadas por amostragem permitiram confirmar algumas das dimensões apresentadas no levantamento, bem como as dimensões referidas no relatório de 1956 relativamente às pedras de revestimento do arco bem como largura e altura do arco. Nas peças desenhadas D01 e D02 anexas ao presente relatório apresenta-se a geometria refinada dos elementos estruturais resultante do levantamento arquitetónico fornecido pelo IPC e das possíveis medições no local efetuadas pelo IC-FEUP.

03.3 ENSAIOS COM ESCLERÓMETRO

03.3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

O ensaio com esclerómetro de Schmidt é um método de ensaio não destrutivo que mede a dureza superficial do betão e permite obter resultados que podem ser correlacionados com a qualidade do betão endurecido e com a sua resistência à compressão, devendo realizar-se em superfícies de betão homogéneas. Este ensaio é particularmente destinado a betões recentes sendo, no entanto muito utilizado em betões mais antigos afetando-se os resultados com um fator de correção tendo em conta a carbonatação do betão.

O ensaio com esclerómetro de Schmidt foi realizado num único elemento de betão (montante M6), Figura 35, devido à impossibilidade de se aceder aos outros montantes. Assim foram feitos três ensaios nas três faces do montante ao qual foi possível aceder (E1, E2 e E3) e onde foi possível a execução dos ensaios uma vez que a face exposta do betão do montante se encontra bastante degradado com muitos inertes e vazios visíveis a olho nu e aparentemente com falta de ligante, Figura 36. Os ensaios foram efetuados de acordo com a norma NP EN 12504-2 (2012) utilizando-se um esclerómetro digital DigiSchmidt da Proceq, Figura 37.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



Figura 35 – Montante M6.



Figura 36 – Aspeto visual do betão do montante M6 cuja superfície não permite a execução de ensaio com esclerómetro.



Figura 37 – Esclerómetro digital DigiSchmidt

De acordo com a norma NP EN 12504-2 (2012), um ensaio de caracterização do índice esclerométrico requer um conjunto mínimo de 9 leituras em cada local de ensaio. No entanto, optou-se por realizar 12 leituras de modo a obter uma caracterização de cada local de ensaio com maior resolução.

03.3.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Atendendo à amostra reduzida de apenas três ensaios com o esclerómetro e aos valores obtidos que tornou nulo o 1º ensaio e os restantes dois com um coeficiente de variação acima dos 10%, os valores obtidos não permitem retirar qualquer tipo de conclusões nem relativo à sua uniformização nem tão pouco à classe de betão utilizada em obra. Face ao estado da superfície exposta do betão, era já expectável os resultados obtidos nos três ensaios efetuados.

Os valores do índice esclerométrico processados de acordo com a Norma NP EN 12504-2 (2012) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados dos ensaios com esclerómetro

Ensaio	Q
E1	40
E2	32
E3	55

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, verifica-se que os resultados do índice esclerométrico Q obtidos variam entre 32 e 55, apresentando um coeficiente de variação de cerca de 27.6%. A título indicativo, refere-se que valores do coeficiente de variação do índice esclerométrico acima de 10% não são considerados adequados. Importa referir que a grande dispersão observada nos resultados dos ensaios estará fundamentalmente relacionada com as condições das superfícies do betão pelo que não é possível retirar-se uma informação fiável relativamente à resistência do betão a partir destes ensaios. No entanto, a observação local do betão e a identificação da dureza sentida nas operações de picagem permitiram perceber que o betão apresenta uma dureza apreciável fazendo antever que não apresentará resistências muito baixas.

03.4 EXTRAÇÃO DE CAROTES

03.4.1 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

De modo a caracterizar a resistência à compressão do betão da estrutura com maior fiabilidade, previa-se a extração de 3 a 4 carotes de betão de diferentes elementos da estrutura com diâmetro Ø104 e comprimento 208mm (1:2). Os locais de extração das carotes em fase preliminar foram definidos tendo em conta dois critérios principais: não debilitar a estrutura e retirar amostras de diferentes elementos tendo-se assim escolhido os montantes de betão como zonas privilegiadas para a extração das carotes. Tal como aconteceu para os ensaios com o esclerómetro e devido a condicionamento da máquina elevatória só foi possível aceder a um único elemento de betão, o montante M6, Figura 38. Adicionalmente, dificuldades com a carotadeira e com as condições de operação, levaram à opção de retirada da carote com o diâmetro igual à altura (1:1) o que



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

não aconteceu pelo facto de a carote se ter partido na sua extração. O aproximar do final do dia e a indisponibilidade da bomba de água para o dia seguinte levou à decisão pelo corpo técnico em obra, de não se extraírem carotes nesta fase de inspeção considerando-se a possibilidade de, numa outra altura com diferentes meios de acesso e melhoria no equipamento, se retirarem as amostras de betão.



Figura 38 – Extração de carote no montante M6 de betão armado

De referir que antes da extração da carote procedeu-se à deteção das armaduras com o pacómetro sendo feita a respetiva marcação na face dos elementos estruturais no sentido de evitar o corte de armaduras. No entanto refere-se que o pacómetro, que funciona por princípios de indução magnética, só deteta armaduras se a camada de recobrimento tiver até cerca de 4cm. Na carote que se tentou retirar cortou-se um varão que possuía cerca de 5cm de recobrimento pelo que não foi possível a sua deteção, Figura 41 e Figura 42. Este varão não se encontrava ainda muito afetado pela corrosão e foi medido o seu diâmetro com paquímetro digital tendo as medições variado entre 12,91mm e 13,31mm, Figura 43. Atendendo à já existência de alguma corrosão na superfície do varão considera-se que este seria um varão de 1/2" uma vez que, pelo relatório de 1956 as armaduras do arco estão referenciadas em polegadas.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



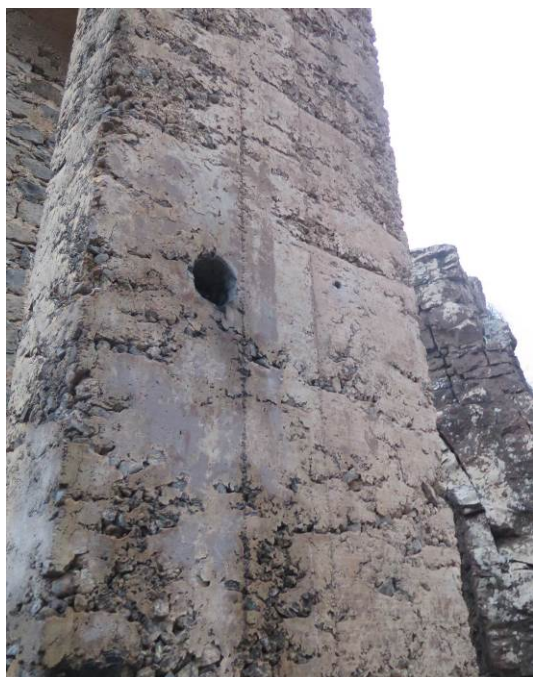


Figura 39 – Local de extração da carote C1 (M6).



Figura 40 – Interior da carote C1 com inerte de grande dimensão.



Figura 41 – Varão na carote C1.



Figura 42 – Carote C1: Betão e varão.



Figura 43 – Medição do varão na carote C1.

03.5 MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM CAROTE

Para a caracterização do estado de conservação do betão efetuou-se a medição da frente de carbonatação do betão através do teste com o indicador químico de fenolftaleína na única carote extraída. O contacto de uma superfície de betão, imediatamente após a sua perfuração, com uma solução de fenolftaleína produz uma coloração rosa forte no caso de um betão não carbonatado, não produzindo qualquer coloração no caso contrário.

A armadura, quando envolvida por betão carbonatado, pode sofrer corrosão como se estivesse exposta à atmosfera, isto é, encontra-se sem qualquer tipo de proteção, com a agravante do facto da armadura, no interior do betão, poder estar sujeita à presença de humidade por períodos de tempo bastante superiores.

A carbonatação do betão é inevitável, apesar do seu avanço ser mais lento em betões mais densos, a menos que alguma proteção seja aplicada de modo a impedir o acesso do dióxido de carbono. A frente de carbonatação poderá atingir vários centímetros de profundidade nos primeiros anos após a execução de um elemento em betão, progredindo posteriormente mais lentamente, já que os primeiros carbonatos formados travam a difusão do dióxido de carbono.

Na Figura 44 apresenta-se a fotografia de parte da carote C1 (uma vez que esta se fragmentou na sua retirada) após extração e aplicação de indicador de fenolftaleína para medição da



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

profundidade da frente de carbonatação, verificando-se que só uma pequena zona não está carbonatada.



Figura 44 – Pequena coloração rosa na carote C1.

Tal como seria de esperar, e face à porosidade observada na face exposta dos montantes de betão, a profundidade de carbonatação atinge neste caso os 4cm da camada de recobrimento.

03.6 AVALIAÇÃO DO TEOR DE CLORETOS

03.6.1 METODOLOGIA

Em estruturas existentes, a determinação da concentração do ião de cloreto no betão é essencial para avaliar a sua durabilidade potencial e para determinar se é necessário proceder à reparação do betão e/ou de armaduras devido à corrosão. O método utilizado permite determinar o teor solúvel em ácido de cloretos existentes no betão. Este ensaio é realizado sobre uma amostra de pó de betão recolhida da estrutura que é dissolvida numa solução ácida normalizada com a qual os iões de cloreto reagem electroquimicamente. Um eléctrodo específico de cloretos provido de um sensor de temperatura é introduzido na solução, medindo a reação eletroquímica. A tensão gerada pela concentração de cloretos é posteriormente convertida em percentagem de iões de cloreto, corrigindo ainda o efeito da temperatura. Os resultados do ensaio de teor de cloretos são geralmente expressos em percentagem de cloretos em relação à massa de cimento. No entanto, para estruturas existentes, dado ser mais difícil determinar de forma fiável a percentagem de cimento em betão endurecido, os resultados do ensaio de teor de cloretos são muitas vezes expressos em percentagem de cloretos em relação à massa de betão.

Os procedimentos de ensaio e de recolha das amostras foram baseados nas normas BS 1881-124:2015 [1] (que substitui a norma BS 1881 – Part 6) e AASHTO T 260-97 [2] assumindo algumas simplificações, tendo os ensaios sido realizados no Laboratório Nacional de Engenharia



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

Civil de Cabo Verde. Descrevem-se em seguida, de forma sumária, os procedimentos considerados:

- Em cada ensaio foram recolhidas amostras de pó de betão a 3 profundidades diferentes: i) desde a superfície da face exterior do recobrimento do elemento a ensaiar até 1cm de profundidade; ii) num troço entre os 1cm e os 2cm de profundidade; e iii) num troço entre os 2cm e os 3cm de profundidade. A recolha das amostras foi realizada pelo método de perfuração a seco que consiste na recolha do pó de betão endurecido proveniente da perfuração com um berbequim, utilizando uma broca com 16mm de diâmetro.
- A recolha do pó das amostras foi realizada de forma cuidada para saquetas plásticas hermeticamente fechadas e devidamente identificadas (com a identificação do número do ensaio e da profundidade a que foi recolhida cada amostra);
- Após a recolha das amostras à primeira profundidade, foi utilizada uma bomba de ar comprimido manual para limpeza do restante pó dos orifícios, de modo a não contaminar a amostra a recolher em seguida.

Os locais de recolha de amostras de betão para ensaio foram também no montante M6 e nas três faces acedíveis pelo já referido condicionamento de acesso, sendo os ensaios designados por CL1, CL2 e CL3, Figura 45. Em cada um dos três locais definidos foram recolhidas amostras em três profundidades, como já referido.



Figura 45 – Recolha de amostra para o teor de cloretos.

A análise dos resultados será efetuada no relatório final após a receção dos resultados laboratoriais.

03.7 DETEÇÃO DE ARMADURA

Por motivos de falta de acessibilidade aos montantes de betão armado só foi efetuada a deteção de armadura no montante M6. Foi utilizado o pacómetro Proceq Profometer 5 para determinar, de forma não destrutiva, a localização de varões de armadura longitudinal e transversal. Este equipamento utiliza o princípio da indução magnética para detetar materiais condutores, emitindo um sinal sonoro e gerando um sinal elétrico correlacionável com o diâmetro dos varões encontrados. Nos testes efetuados e na área que foi possível avaliar não foi possível detetar armadura transversal tendo-se detetado na armadura longitudinal unicamente um varão a meio da maior secção do montante.

03.8 ENSAIOS DE IDENTIFICAÇÃO DINÂMICA

Procedeu-se à realização de ensaios de identificação dinâmica da estrutura da Ponte de Canal tendo como principal objeto identificarem-se as frequências de vibração dos principais modos de vibração para permitir a calibração dos modelos numéricos a utilizar no estudo e avaliação da estrutura. Os ensaios a realizar bem como dos equipamentos a utilizar foram definidos com base num estudo preliminar baseado num modelo numérico elaborado com a informação disponível à data da preparação dos trabalhos de inspeção. Apresentam-se nas secções seguintes os aspetos principais relativos aos ensaios de identificação dinâmica levados a cabo no âmbito da inspeção técnica realizada nos dias 26 e 27 de agosto de 2019.

03.8.1 ESTUDO NUMÉRICO PRELIMINAR

Para a preparação dos ensaios de identificação dinâmica foi necessário identificar previamente os modos fundamentais da estrutura e as correspondentes frequências tendo-se para este fim elaborado um modelo numérico global da ponte.

No modelo numérico recorreu-se a elementos finitos de barra para simular o arco A1 de betão e a elementos finitos de casca para a simulação dos restantes elementos estruturais tendo-se definido a geometria com base no levantamento disponibilizado pelo ICV. Apresentam-se na Figura 46 e na Figura 47 imagens do modelo e na Figura 48 pode observar-se a discretização utilizada na malha de elementos finitos.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

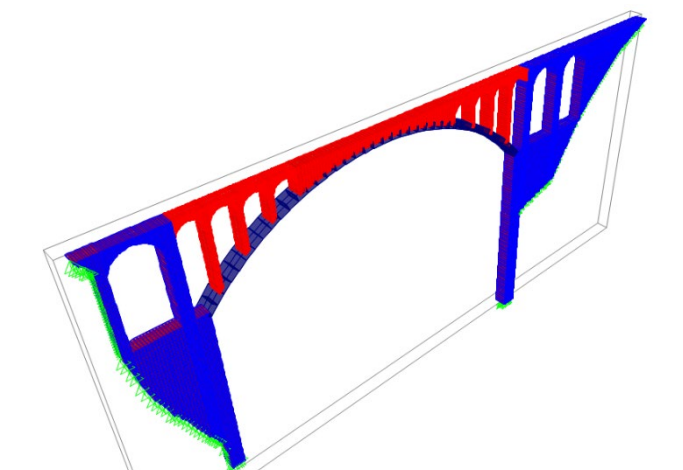


Figura 46 – Vista geral do modelo numérico da Ponte de Canal.

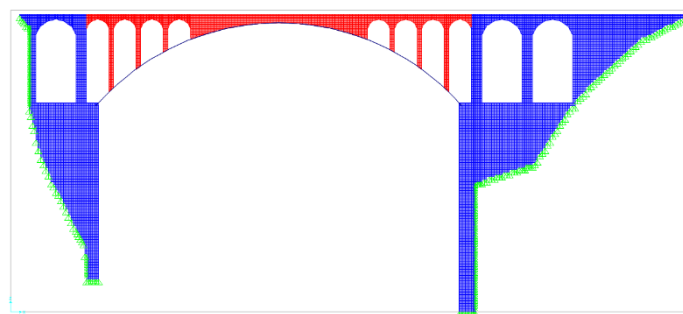


Figura 47 – Vista 2D do modelo numérico da Ponte de Canal.

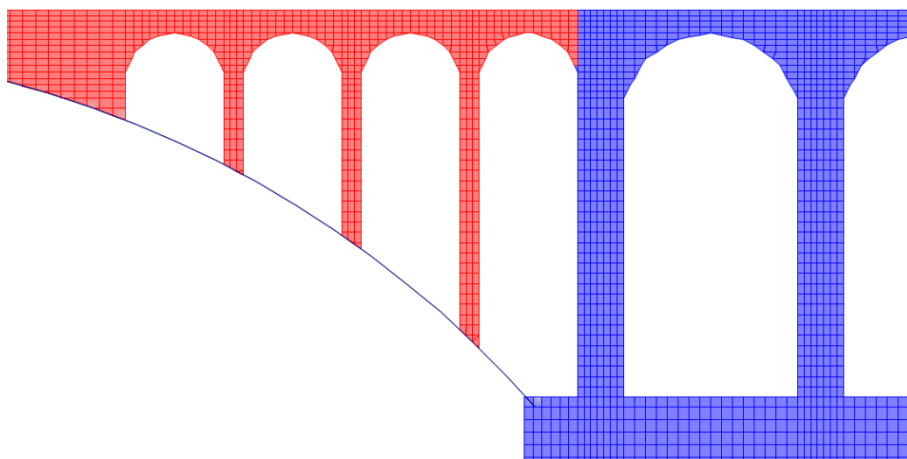
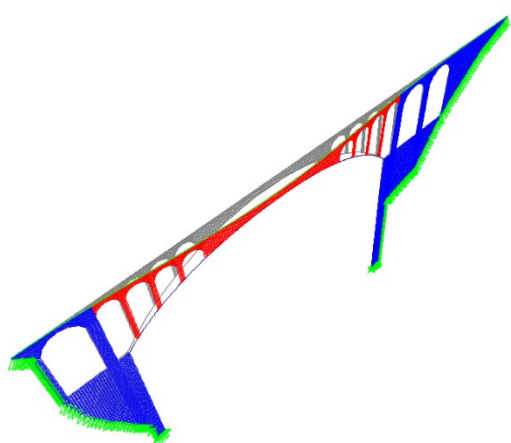


Figura 48 – Pormenor da malha de elementos finitos.

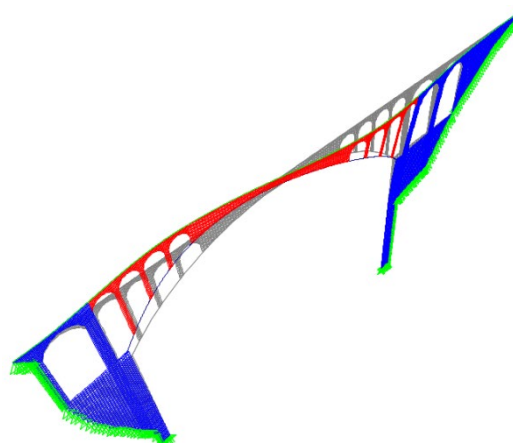
Neste estudo preliminar foi adotado o valor do módulo de elasticidade $E = 30\text{GPa}$ para os elementos de betão e o valor $E = 10\text{GPa}$ para os elementos de alvenaria de pedra, tendo-se obtido as frequências apresentadas na Tabela 2 correspondentes aos principais modos de vibração apresentados na Figura 49.

Tabela 2. Modos e frequências fundamentais de vibração.

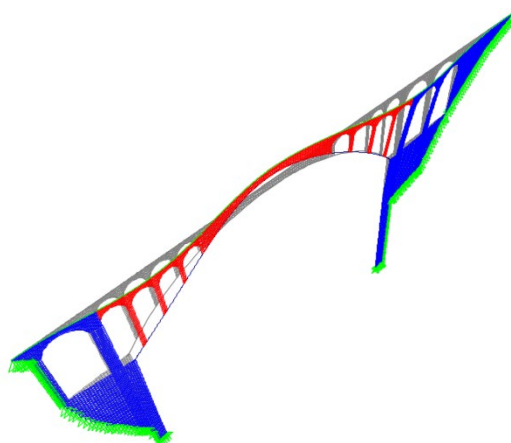
Modo	Tipo	Frequência (Hz)
1	1º Modo transversal	2.79
2	2º Modo transversal	6.33
3	3º Modo transversal	10.25
4	1º Modo vertical	13.53
5	4º Modo transversal	14.30
6	2º Modo vertical	16.11
7	5º Modo transversal	18.84
8	6º Modo transversal	21.73
9	3º Modo vertical	22.34



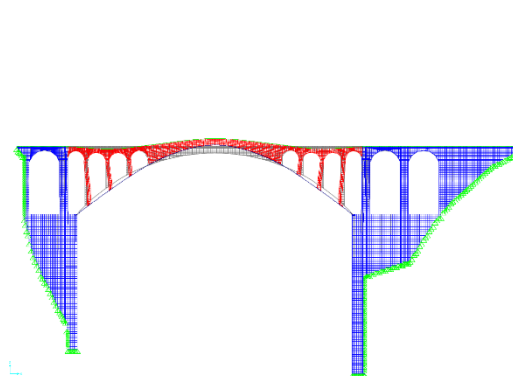
a) Modo 1 – 1º Modo Transversal



b) Modo 2 – 2º Modo Transversal



c) Modo 3 – 3º Modo Transversal



d) Modo 4 – 1º Modo Vertical



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

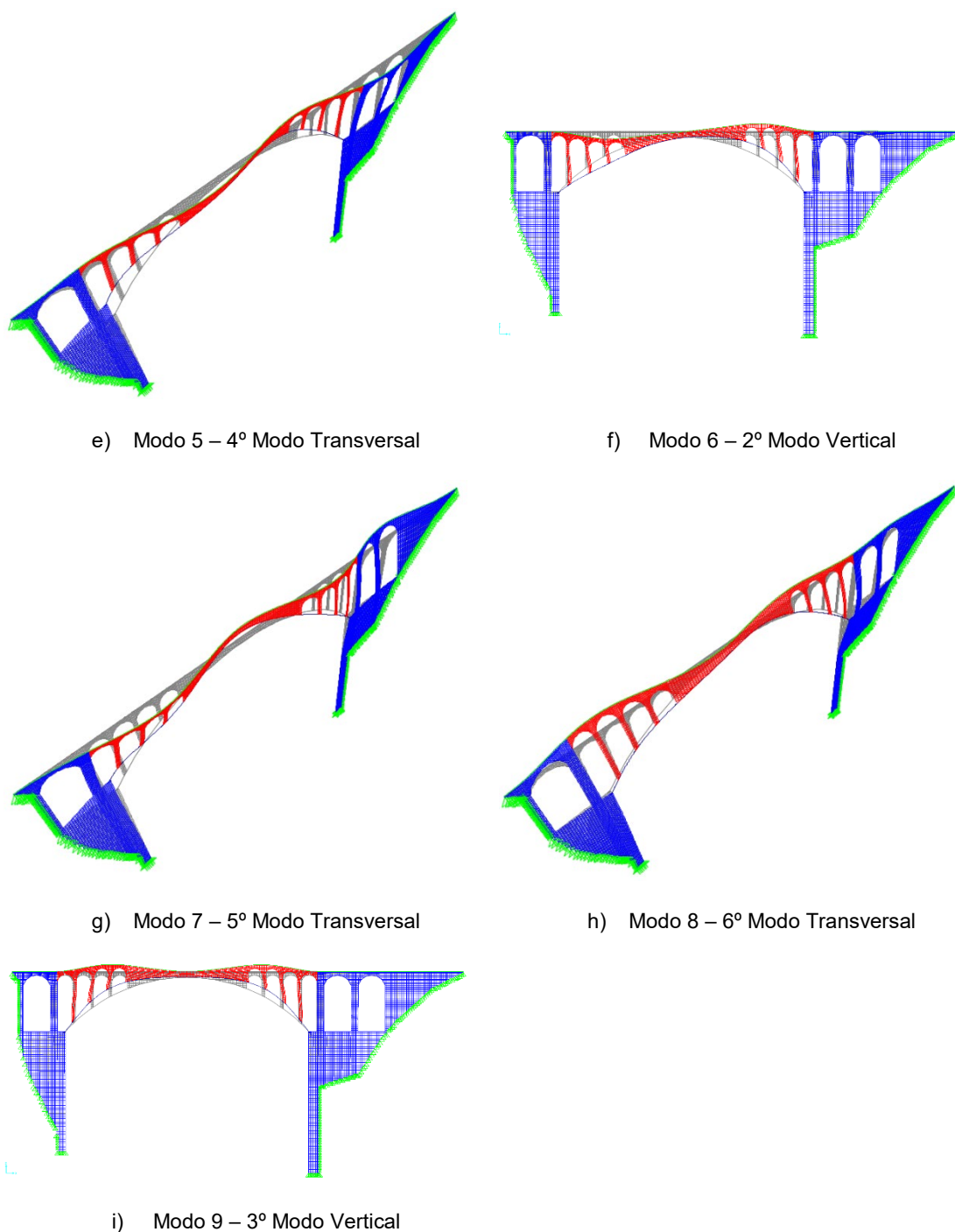


Figura 49 – Configuração dos modos fundamentais de vibração.

03.8.2 ENSAIOS DINÂMICOS

Os ensaios de identificação dinâmica foram realizados com equipamento do Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LESE),



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



**GOVERNO DO
CABO
VERDE**
A TERRA É PARA TODOS
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

transportado para o local. Dada a impossibilidade de se transportar mais do que um sismógrafo, os ensaios foram realizados com recurso a um único Macro-Sismógrafo da marca Geosig, modelo GSR 18 que possui acelerómetros em três direções ortogonais, possibilitando o registo de acelerações e a sua posterior transferência para um computador. Com este sismógrafo foi possível fazer a identificação das frequências fundamentais de vibração da estrutura não sendo naturalmente possível fazer-se a identificação modal, para o que seriam precisos pelo menos dois sismógrafos sincronizados.



Figura 50 – Sismógrafo Geosig - modelo GSR-18 do laboratório LESE.

Foi estabelecido um protocolo de ensaio definindo-se pontos de posicionamento do sismógrafo estrategicamente localizados de forma a permitir correlacionar as frequências registadas com os modos de vibração identificados no estudo numérico.

Procedeu-se a duas séries de registos de vibração ambiental, a primeira correspondendo aos pontos A, B, C e D e a segunda aos pontos D, E, F, e G assinalados Figura 51. Para cada série de registo foi definido um período de aquisição de 60s em cada posicionamento do sismógrafo e intervalos de 10m para permitir a colocação do sismógrafo nos vários pontos. Os ensaios envolveram o registo de vibrações em 8 posições do sismógrafo a partir das quais foi possível identificar frequências nas três direções ortogonais, a saber: *i)* X direção longitudinal da ponte; *ii)* Y direção transversal da ponte e *iii)* Z direção vertical.

O sismógrafo foi posicionado sobre a pedra de revestimento do tabuleiro (Figura 52) tendo-se tido o cuidado de verificar que esta pedra estava completamente solidária com a estrutura da ponte.

Os resultados dos registos efetuados e a sua análise serão apresentados em conjunto com os estudos de avaliação em documento próprio do projeto de reabilitação que será elaborado pelo IC-FEUP.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



**GOVERNO DO
CABO VERDE**
A TERRA É PARA TODOS
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

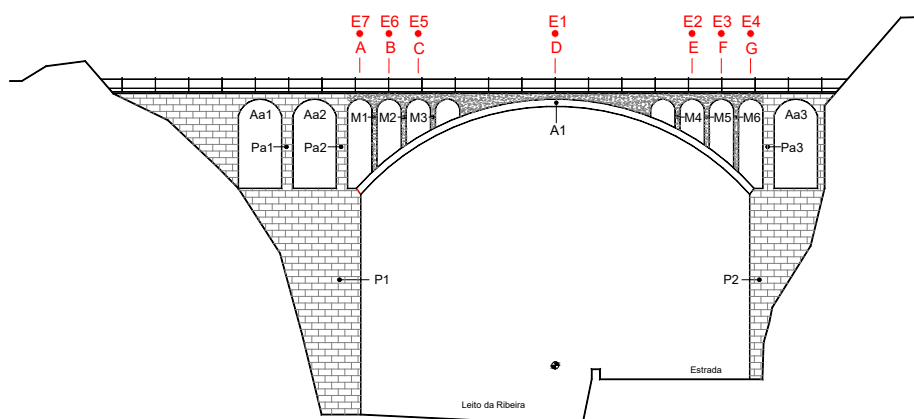


Figura 51 – Localização dos pontos de registo de vibrações.



Figura 52 – Posicionamento do sismógrafo num dos pontos de registo.

03.9 SONDAGENS SEMI-DESTRUTIVAS

03.9.1 METODOLOGIA

Para validação da constituição material dos encontros, dos pilares principais e pilares de apoio do tabuleiro, aparentemente em alvenaria, foram feitas três sondagens semi-destrutivas (S1, S2 e S3), em cada um destes elementos. Foi posta a hipótese destes elementos possuírem estrutura exterior de alvenaria (a funcionar como cofragem perdida) e enchimento de betão armado. O procedimento foi semelhante nas três sondagens: foi retirada de forma cuidada uma pedra de média dimensão do aparelho de revestimento e feita uma sondagem no interior desta zona por picagem manual ou por carotagem.

03.9.2 OBSERVAÇÃO *IN SITU*

A sondagem S1 foi feita no pilar Pa3, pilar de alvenaria de suporte do tabuleiro, a sondagem S2 foi feita no pilar P2 na face paralela à estrada e a sondagem S3 no encontro E2 a cota alta. Estas sondagens permitiram confirmar que estes elementos são integralmente em alvenaria de pedra, Figura 53 a Figura 58.



Figura 53 – Sondagem S1 em Pa2.



Figura 54 – Sondagem S1 com 23cm de profundidade em alvenaria de pedra.



Figura 55 – Sondagem S2 na base de P1.



Figura 56 – Sondagem S2 com 30cm de profundidade em alvenaria de pedra.



Figura 57 – Sondagem S3 no encontro E2.



Figura 58 – Sondagem S3 com 34cm de profundidade em alvenaria de pedra.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

03.10 ENSAIOS ÀS ARGAMASSAS E À COMPOSIÇÃO DO BETÃO

De forma a caracterizar-se o betão e a argamassa do ponto de vista material tendo em vista a compatibilidade material na reabilitação da estrutura foram recolhidas amostras de betão e de argamassas para se efetuarem os respetivos ensaios no Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Cabo Verde.

As amostras de betão para ensaio foram as partes desintegradas da carote C1 e 2 pedaços de betão encontrados no leito da ribeira no alinhamento do arco A1. Neste local foram também recolhidas amostras de argamassa, que pela configuração e geometria, se deduz poder pertencer a uma argamassa posterior à obra e usada na tentativa de recolocar as pedras de revestimento do arco que, entretanto, caíram. Refira-se que, pelo observado no relatório de 1956, a betonagem do arco A1 foi feita diretamente contra estas pedras que funcionaram lateralmente assim como cofragem do arco. Foram ainda recolhidas amostras de argamassa das sondagens no pilar P2 e encontro E2. Estes ensaios poderão averiguar da existência de pozolanas na composição dos ligantes da argamassa e do betão.

O local de recolha das argamassas e betão do leito da ribeira é o indicado por A1, A2 e A3 na Figura 59. Da Figura 60 à Figura 64 apresentam-se imagens das amostras recolhidas.

A análise crítica do resultado destes ensaios será feita no relatório final após a receção dos resultados dos ensaios.

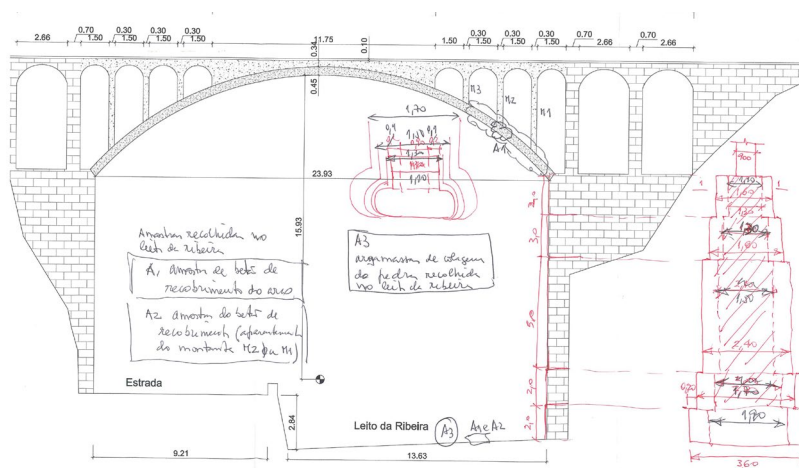


Figura 59 – Inspeção com indicação do local de recolha das amostras.



Figura 60 – Amostra de argamassas recolhidas no leito da ribeira.



Figura 61 – Pormenor das argamassas da figura anterior.

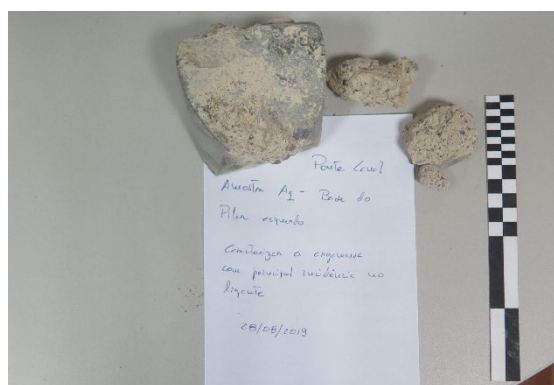


Figura 62 – Amostra de argamassas da base do pilar P2.



Figura 63 – Amostra de betão dos montantes M1 ou M2.



Figura 64 – Amostra de betão do recobrimento do arco A1.

04 MAPAS DE DANO

Neste capítulo são apresentados os principais danos encontrados nos elementos da ponte durante a inspeção realizada em Agosto de 2019. A metodologia da inspeção foi a seguinte: observação da estrutura do lado montante com registo do número do elemento e danos observáveis indexados. Observação dos elementos do lado jusante para idêntico procedimento aos elementos já referenciados. Aproximação à estrutura para melhor observação através do meio elevatório disponível ou aproveitando a topografia do terreno. Para facilitar a comparação de medidas utilizaram-se, em algumas fotografias, uma régua normalizada, utilizada para medir aberturas de junta ou apenas para dar escala às fotografias, Figura 65. A régua é constituída por 10 divisões de 0,5cm, 5 divisões de 1cm e 2 divisões de 5cm.

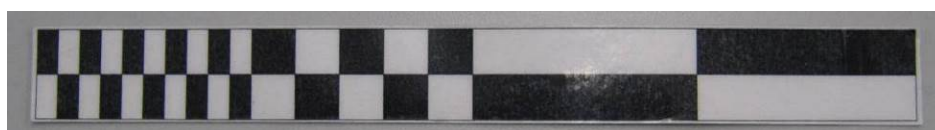


Figura 65 – Régua tipo usada na inspeção

De forma a melhor referenciar o local de ocorrência dos danos utiliza-se no Mapa de Dados a numeração dos elementos estruturais da ponte de acordo com a Figura 34.

Os danos observados foram numerados de D1 a D8, de acordo com a descrição que será feita em cada mapa de dano que se apresenta seguidamente. Em cada mapa, o dano é descrito de forma pormenorizada sendo, sempre que possível, identificadas as causas que lhe deram origem e apresentadas fotografias de registo.

Os danos observados foram os seguintes:

- D1 – Corrosão de armaduras e delaminação do betão;
- D2 – Fissuração / Fraturas nos elementos estruturais de betão;
- D3 – Degradação do betão por erosão/lavagem do ligante;
- D4 – Deficiente enchimento/acabamento do extradorso do arco de betão;
- D5 – Destacamento das pedras de recobrimento das faces laterais do arco;
- D6 – Deformação fora do plano da estrutura do arco;
- D7 – Perda de material pétreo em pilar de alvenaria;
- D8 – Degradação generalizada do guarda corpos.

Apesar de não estar elencado no mapa de danos, por não ter sido possível visualizar diretamente, adiciona-se um outro possível dano: o de infraescavação no pilar P1 referido pelo Sr. Presidente da Câmara da Ribeira Grande Sr. Eng. Orlando Delgado. Segundo indicações no local quando há chuvas o caudal é muito grande e, tendo a ribeira visto reduzida a sua secção pela introdução da estrada, a velocidade de escoamento é muito maior. Este facto aliado às



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

irregularidades observadas na margem junto ao pilar pode levar à ocorrência de turbulências junto ao pilar favorecendo fenómenos de infraescavação. O Sr. Eng. Roberto Cruz da empresa SCI - Spencer Construções & Imobiliária Lda que forneceu o equipamento e respetivos manobreadores para a inspeção técnica referiu que já tinha sido efetuado um recalçamento do pilar com a introdução de betão junto à base com a reposição à superfície de pedras e gravilha junto ao pilar. Note-se que tendo em conta o anteriormente referido pelo Sr. Adrião, trabalhador da obra, as fundações dos pilares são em estacaria de madeira pelo que, a ser assim, a infraescavação na base do pilar terá um impacto mais reduzido no comportamento da estrutura.



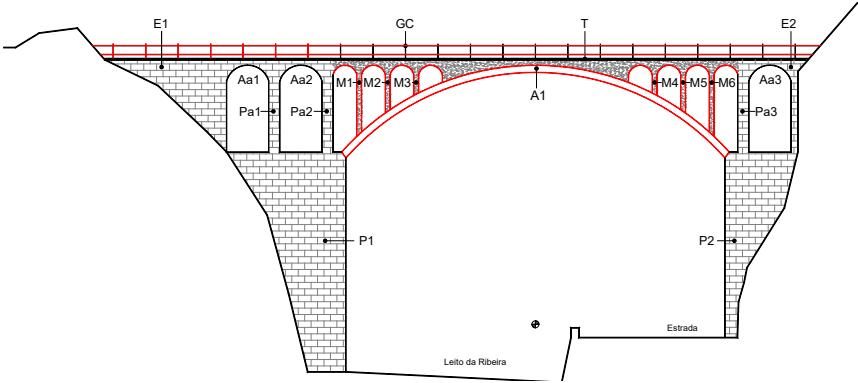


**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

MAPA DE DANOS		Tipo:	D1
TIPO DE DANO: Corrosão de armaduras e delaminação do betão			
Local de ocorrência: A1; M1; M2; M3; M4; M5; M6 e GC			
			
Descrição/Causas:			
<p>De uma forma simplificada, pode dizer-se que a corrosão é o resultado de fenómenos eletroquímicos que transformam o ferro em hidróxido de ferro (vulgarmente conhecido por ferrugem). A ação combinada da humidade, do oxigénio e de agentes agressivos, que penetram no betão, leva à destruição da película “passivante” que protege a armadura. Os produtos resultantes da oxidação poderão ocupar um volume 6 a 8 vezes superior ao do metal original originando elevadas pressões que levam à fissuração e delaminação do betão envolvente.</p> <p>Este dano encontra-se disseminado por toda a estrutura de betão armado tendo maior incidência no arco A1 e nos montantes M5 e M6 onde se verifica não só a corrosão das armaduras, mas também já a delaminação do betão. Verifica-se também esta ocorrência no guarda corpos. Alerta-se para o facto de a queda de pedaços de betão na via pública poder provocar danos pessoais e/ou materiais. Como causa deste dano aponta-se a deficiente camada de recobrimento, o envelhecimento dos materiais com a quase inexistência de ligante no betão em algumas zonas assim como a carbonatação do betão.</p>			
Registo fotográfico:			
			
Figura 66 – Corrosão de armaduras e delaminação do betão no arco A1.		Figura 67 – Corrosão de armaduras e perda do revestimento em pedra no arco A1 (face jusante).	



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

Registo fotográfico (cont.):



Figura 68 – Corrosão de armaduras e delaminação do betão no montante de betão M1



Figura 69 – Corrosão de armaduras nos arcos que encimam o montante M4 junto ao tabuleiro.



Figura 70 – Amostra de betão recolhida na ribeira e que se pressupõe ser do Arco A1.



Figura 71 – Amostra de betão recolhida na ribeira e que se pressupõe ser do Montante M5.

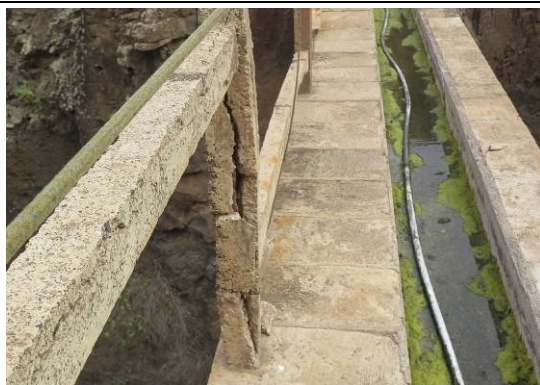


Figura 72 – Delaminação de betão no guarda corpos.



Figura 73 – Delaminação de betão no guarda corpos já com desprendimento de betão.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

MAPA DE DANOS		Tipo:	D2
TIPO DE DANO: Fissuração / Fraturas nos elementos estruturais de betão			
Local de ocorrência: A1; M1; M2; M3; M4; M5 e M6			
			
Descrição/Causas:			
<p>De acordo com ² por fracturação entende-se uma superfície de rotura que divide o objeto em partes distintas, podendo implicar o afastamento recíproco das partes fraturadas. Por fissuração considera-se o caso particular da fratura em que pelo menos uma das extremidades não atinja o contorno do objeto em questão.</p> <p>Verifica-se a fissuração em alguns montantes e arcos entre montantes sendo que em alguns deles observa-se já a fracturação. Considera-se que este dano tem origem na corrosão das armaduras. Assinala-se ainda a fissuração entre as pedras de forra e o Arco A1, uma vez que estes foram betonados juntos e a fissuração que dá origem ao destacamento entre estes elementos é devida à corrosão das armaduras.</p>			
Registo fotográfico:			
			
Figura 74 – Fracturação no Montante M2 (face montante).		Figura 75 – Fissuração acentuada no arco de betão de M1 (face montante).	

² “Materiais pétreos e similares. Terminologia das formas de alteração e degradação” Henriques et al, LNEC, 2004

Registo fotográfico (cont.):



Figura 76 – Fissuração no topo do Montante M1 (face jusante).



Figura 77 – Fissura entre o arco A1 e as pedras de forra com destacamento destas (face montante).



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

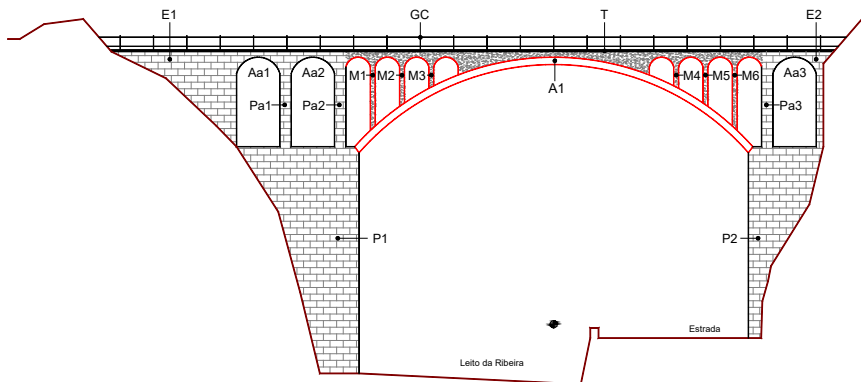




U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

MAPA DE DANOS		Tipo:	D3
TIPO DE DANO: <i>Degradação do betão por erosão/lavagem do ligante</i>			
Local de ocorrência A1; M1; M2; M3; M4; M5 e M6			
			
Descrição/Causas:			
<p>Exposição intensa dos inertes do betão por perda/erosão do ligante.</p> <p>Este dano encontra-se disseminado por toda a estrutura de betão armado tendo maior incidência no arco A1 e nos montantes M1, M5 e M6 onde se verifica não só a corrosão das armaduras, mas também já a delaminação do betão.</p> <p>Como causa deste dano aponta-se a deficiente camada de recobrimento, o envelhecimento dos materiais com a quase inexistência de ligante no betão em algumas zonas assim como a carbonatação do betão.</p>			
Registo fotográfico:			
			
Figura 78 – Degradação do betão com perda de ligante no Montante M6.		Figura 79 – Degradação do betão com perda de ligante no Montante M1.	



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

Registo fotográfico (cont.):



Figura 80 – Degradação do betão com perda de ligante no intradorso do Arco A1.



Figura 81 – Degradação do betão com perda de ligante no intradorso de arco de montante M3.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

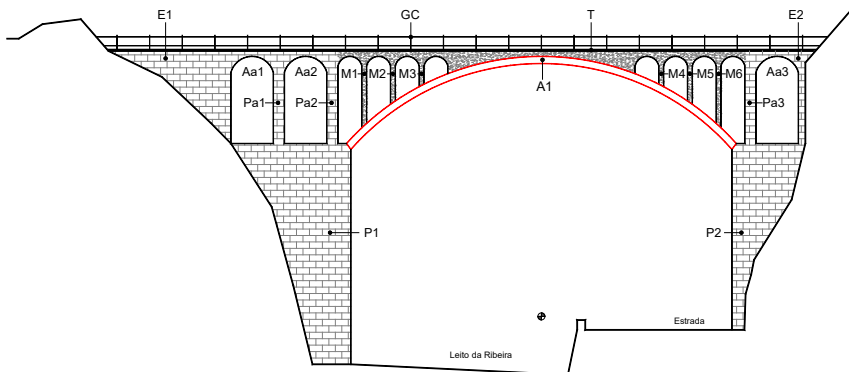




U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

MAPA DE DANOS		Tipo:	D4
TIPO DE DANO: <i>Deficiente enchimento/acabamento do extradorso do arco de betão</i>			
Local de ocorrência: A1			
			
Descrição/Causas:			
<p>Verifica-se a deficiente regularização e acabamento do extradorso do arco A1, particularmente no seu lado direito, situando-se a cota do extradorso do arco abaixo das pedras laterais de forra entre 5cm a 10cm. Como já referido e segundo o relatório de 1956, o arco de betão armado tem altura variável com 0,80m nas nascenças e 0,50m no seu fecho. As pedras têm altura de 0,80m na nascença do arco na margem direita e vão acompanhando a variação de secção do arco no seu desenvolvimento. Ainda no relatório de 1956 é referido ao lado de uma fotografia da betonagem do arco que a regularização da betonagem do arco seria feita posteriormente. A inspeção visual mostra que no lado direito do eixo da ponte esta regularização não foi feita sendo que, do que foi possível observar do lado esquerdo a superfície apresenta-se mais regularizada do que no lado direito, mas a cota mais baixa que as pedras laterais de forra.</p> <p>A falta de regularização do extradorso do arco até à altura das pedras é importante porque potencia a acumulação e infiltração de água durante os períodos de pluviosidade induzindo a dissolução do ligante e potenciando a corrosão das armaduras.</p>			
Registo fotográfico:			
			
<p>Figura 82 – Intradorso do arco A1 junto ao arranque do montante M1 no arco A1.</p>		<p>Figura 83 – Intradorso do arco A1 do lado esquerdo na zona de inexistência de pedras de forra do arco.</p>	



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



Registo fotográfico (cont.):



Figura 84 – Irregularidade do intradorso do arco A1 entre os montantes M5 e M6.



Figura 85 – Acumulação, aparentemente de inerte do betão, junto ao arranque do montante M6.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

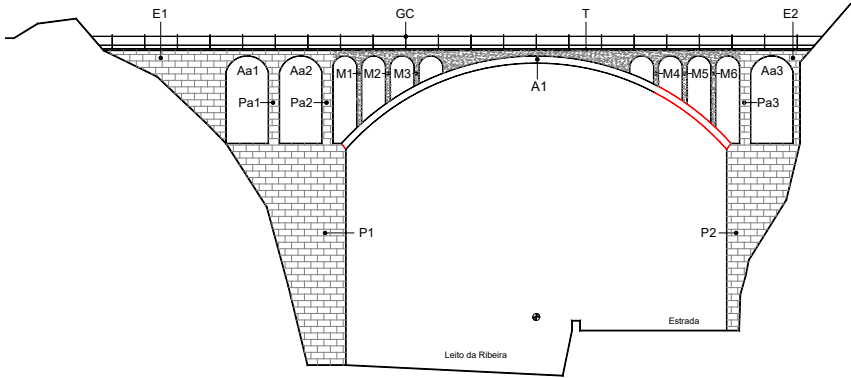




U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

MAPA DE DANOS		Tipo:	D5
TIPO DE DANO: Destacamento das pedras de recobrimento das faces laterais do arco			
Local de ocorrência: A1			
			
Descrição/Causas:			
<p>Na face jusante do arco A1, junto à margem esquerda, verifica-se a perda das pedras laterais de fora do arco. Do que foi possível observar no registo fotográfico da betonagem do arco de 1956, a betonagem do arco foi feita contra estas pedras que assim serviram lateralmente de cofragem perdida do arco e, simultaneamente garantiam uma melhor aderência entre o betão e a pedra uma vez que a sua face interior possui alguma irregularidade. O fenómeno da corrosão das armaduras e a sua consequente expansão gerou tensões internas na interface betão/pedra destacando estes elementos da estrutura. Refere-se que parte das pedras da estrutura foram recuperadas do leito da ribeira e guardadas junto ao pilar P1.</p> <p>Aconselha-se a sua retirada para um local mais alto (ou um local de guarda temporário) para evitar que estas sejam levadas por alguma enxurrada uma vez que se aproxima a época das chuvas.</p>			
Registo fotográfico:			
			
Figura 86 – Perda de pedras de fora do arco A1 no lado de jusante.		Figura 87 – Pormenor da figura anterior.	



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

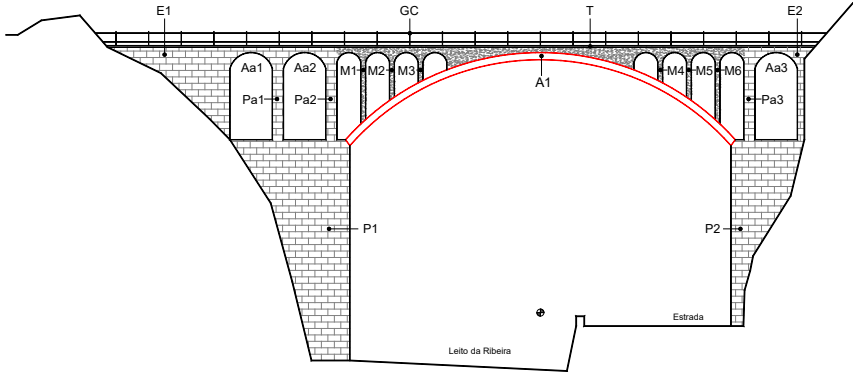




U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

MAPA DE DANOS		Tipo:	D6
TIPO DE DANO: <i>Deformação fora do plano da estrutura do arco</i>			
Local de ocorrência: A1			
			
Descrição/Causas:			
<p>A observação do arco A1 por debaixo indicia uma ligeira deformação para fora do plano do arco em particular na sua zona central. No entanto, numa cuidada observação do tabuleiro e do próprio canal não se verifica a existência de deformação fora do plano destes elementos nem danos associáveis a esta anomalia como fissuração, fraturas ou pedras partidas do revestimento do tabuleiro. Assim considera-se que este dano pode ter ocorrido na fase construtiva, não tendo tido influência no comportamento da estrutura ao longo do tempo.</p>			
Registo fotográfico:			
			
Figura 88 – Ligeira deformação fora do plano do arco A1.		Figura 89 – Inexistência de deformação ou danos no tabuleiro e no canal.	



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

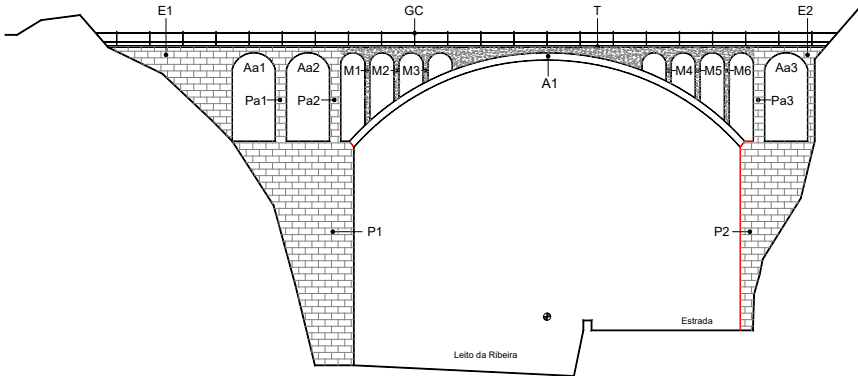


U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

MAPA DE DANOS		Tipo:	D7
TIPO DE DANO: <i>Perda de material pétreo em pilar de alvenaria</i>			
Local de ocorrência: P2			
			
Descrição/Causas:			
<p>Verifica-se a perda de material pétreo no pilar de alvenaria P2 na sua face jusante. Considera-se como causa o escoamento das águas junto ao encontro E2 em jusante e que aparentemente irá contra a estrutura. A perda de material inicial potencia a degradação da zona envolvente com perda de mais material pétreo e de argamassa. Considera-se necessário e urgente a reposição deste material de acordo com o existente e com argamassa compatível executada com cal e pozolana.</p>			
Registo fotográfico:			
			
Figura 90 – Perda de material no pilar P2.		Figura 91 – Pormenor da perda de material.	



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

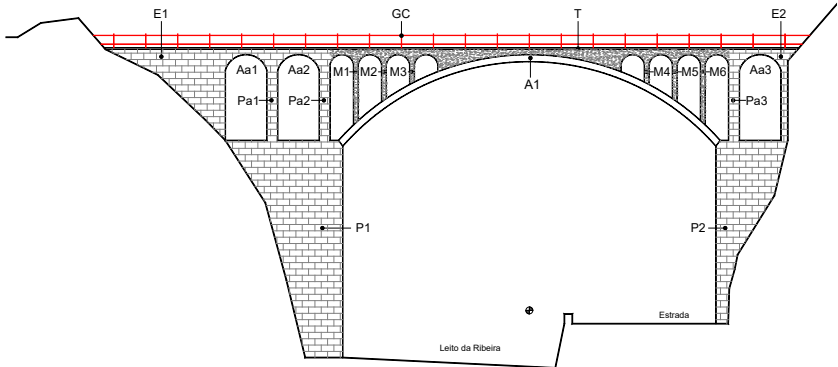






U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



MAPA DE DANOS		Tipo:	D8
TIPO DE DANO: <i>Degradação generalizada do guarda corpos</i>			
Local de ocorrência: GC			
			
Descrição/Causas:			
<p>O guarda corpos é executado por elementos esbeltos de secção quadrangular de argamassa armada que têm corrosão de armaduras e consequente delaminação de betão. Em alguns locais está já em avançado estado de degradação. Verifica-se ainda num dos troços na zona de transição da zona curva para a zona reta, a deformação para fora do plano das guardas horizontais. Este facto poderá estar associado a eventuais deformações de origem térmica nesta zona de transição.</p>			
Registo fotográfico:			
			
Figura 92 – Degradação generalizada do GC.		Figura 93 – Pormenor de fissuração e da perda de material.	
			
Figura 94 – Deformação fora do plano de peça inferior do GC na transição da zona curva.		Figura 95 – Zona de curva de transição do GC.	



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



**GOVERNO DO
CABO VERDE**
A TRANSFORMAR A PAISAGEM
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

Apresenta-se de seguida na Tabela 3 um resumo dos danos registados por elemento estrutural sendo que a Tabela 4 apresenta a intensidade com que o dano se manifesta nos diferentes elementos estruturais.

Refere-se ainda, adicionalmente, que se considera a possibilidade da existência da infraescavação do pilar P1 apesar de esta não ter sido observada no local.

Tabela 3. Danos observados por elemento estrutural

Elemento	Dano registado
A1	D1; D2; D3; D4; D5 e D6
M1	D1; D2 e D3
M2	D1; D2 e D3
M3	D1; D2 e D3
M4	D1; D2 e D3
M5	D1; D2 e D3
M6	D1; D2 e D3
P2	D7
GC	D1; D8

Tabela 4. Intensidade do dano por elemento estrutural

TIPO DE DANO	MANIFESTAÇÃO NO ELEMENTO																			
	A1	E1	E2	P1	P2	Aa1	Aa2	Aa3	Pa1	Pa2	Pa3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	T	GC	
D1 – Corrosão de armaduras e delaminação do betão	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
D2 – Fissuração / Fraturas nos elementos estruturais de betão	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
D3 – Degradação do betão por erosão/lavagem do ligante	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
D4 – Deficiente enchimento/acabamento do extradorso do arco de betão	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
D5 – Destacamento das pedras de recobrimento das faces laterais do arco	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
D6 – Deformação fora do plano da estrutura do arco	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
D7 – Perda de material pétreo em pilar de alvenaria	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
D8 – Degradação generalizada do guarda corpos.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
● – Intenso ● – Moderado ● – Ligeiro ● – Sem dano																				

Como se pode verificar pelas Tabela 3 e Tabela 4, os danos incidem maioritariamente e com maior intensidade nos elementos de betão armado.



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



**GOVERNO DO
CABO VERDE**
A TERRA É PARA TODOS
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

05 NOTAS E RECOMENDAÇÕES FINAIS

O presente relatório de inspeção foi desenvolvido pelo Instituto da Construção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (IC-FEUP), e tem por objeto a superestrutura da Ponte Canal, situada na Ilha de Santo Antão em Cabo Verde, não se tendo inspecionado as fundações. A inspeção foi efetuada no enquadramento do protocolo de colaboração entre o ICV, o IPC e o IC. A equipa do IC-FEUP em campo foi constituída pelos professores Nelson Vila Pouca e Xavier Romão e pela engenheira Esmeralda Paupério, a equipa do ICV constituída pelos engenheiros Henri Gomes e Christopher Oliveira e a equipa do IPC foi constituída pelos engenheiros Anildo Moreira e Louvualo Ribeiro.

A primeira visita à Ponte Canal decorreu em Junho de 2019 e a inspeção técnica na última semana de Agosto de 2019. Na inspeção técnica teve-se o auxílio de uma máquina elevatória Manitou, sendo que o braço da máquina se manifestou pequeno face à altura da ponte. Assim, para a execução de ensaios, só foi possível aceder ao montante M6 em betão.

Assim, após a inspeção, considera-se que a ponte canal deverá ser objeto de intervenção fazendo-se as seguintes considerações:

- De forma geral a ponte não apresenta danos graves como fraturas/fissuras muito pronunciadas ou deformações que comprometam a curto prazo o seu desempenho estrutural;
- Toda a estrutura em alvenaria de pedra (pilares P1, P2, Pa1, Pa2 e Pa3 assim como os encontros E1 e E2) encontram-se de forma geral em boas condições de conservação, sendo só necessário a reposição de material pontual no pilar P1 a jusante;
- A estrutura de betão armado (arco A1 e montantes de betão Mi) encontra-se bastante degradada e apresenta danos devidos ao envelhecimento do material associados à lavagem/erosão do ligante do betão e à corrosão de armaduras com delaminação de betão;
- O arco principal (A1) apresenta corrosão de armadura e perda das pedras de forra lateral tendo, no entanto, todas as condições para ser reabilitado;
- Os montantes em betão armado sobre o arco (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) são os elementos onde se verifica maior degradação material. Nas atuais condições destes elementos a sua reabilitação afigura-se extremamente difícil não permitindo garantir de forma segura as necessárias condições de durabilidade;
- O tabuleiro e o canal embutido não apresentam sinais de dano estrutural como deformações ou fissuras/fraturas admitindo-se, no entanto, que seja necessária uma



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**



U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



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

PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE

impermeabilização do leito do canal para diminuir a possibilidade de infiltração de água na estrutura;

- O guarda corpos (GC) apresenta degradação severa em alguns locais, sendo, no entanto, um elemento relevante do ponto de vista arquitetónico da ponte.
- Apesar de não ter sido observada a infraescavação do pilar P1 admite-se que face às irregularidades da rocha nas imediações possa haver fenómenos de turbilhão na proximidade do pilar que promovam esta infraescavação.

Assim, para o projeto de reabilitação, aconselha-se:

- A substituição dos montantes de betão (M1, M2, M3, M4, M5 e M6) por novos elementos em betão;
- A reabilitação do arco A1;
- A reabilitação do guarda-corpos (GC);
- A execução de um muro com pregagem à rocha lateral que promova um melhor escoamento hidráulico junto ao pilar P1.

O projeto de reabilitação deverá atender ao conceito de autenticidade e integridade da estrutura patrimonial e ser assente em critérios de compatibilidade na substituição de material.

Poderá ser avaliada posteriormente e em sede de projeto (com a tutela e o município) a possibilidade de um futuro acesso pedonal ao cimo da estrutura devendo, para isto, serem garantidas as necessárias condições de segurança.

Porto, 30 de setembro de 2019



Nelson Vila Pouca
Prof. Auxiliar – FEUP
Diretor do Núcleo de Reabilitação



Xavier Romão
Prof. Auxiliar – FEUP



Esmeralda Paupério
Eng. Civil – IC



António Arêde
Prof. Associado – FEUP
Diretor do Laboratório LESE



Humberto Varum
Prof. Catedrático – FEUP
Presidente do IC



**INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO**

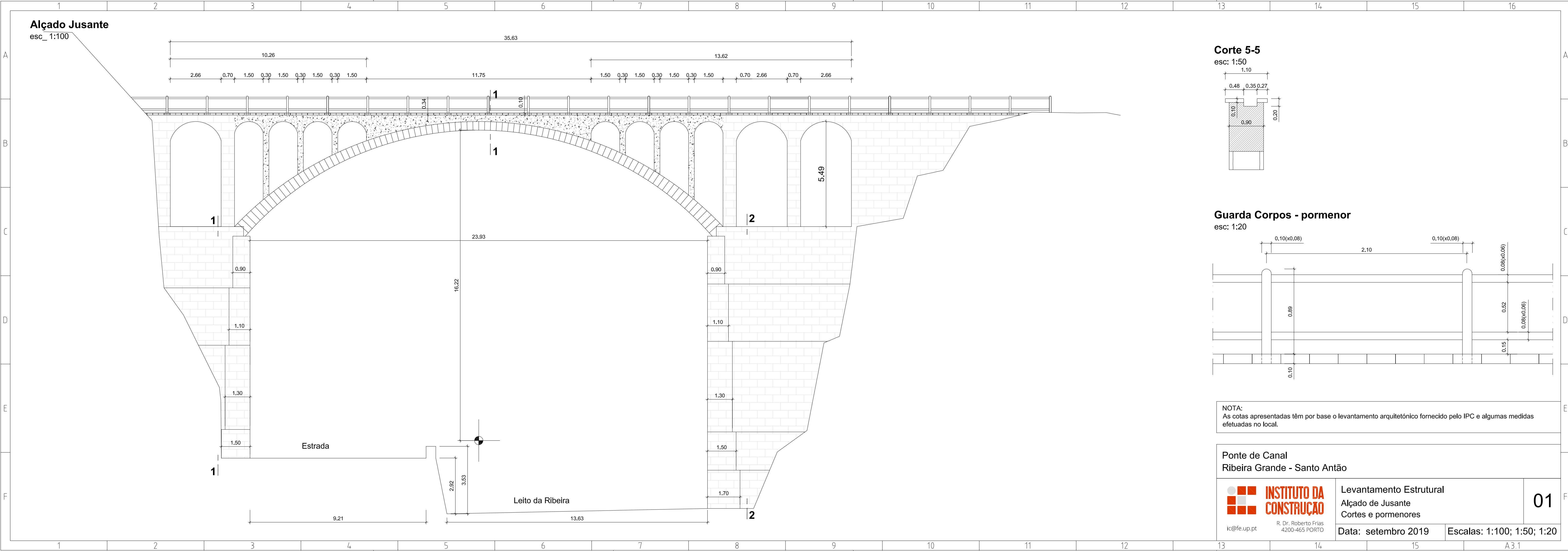


U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

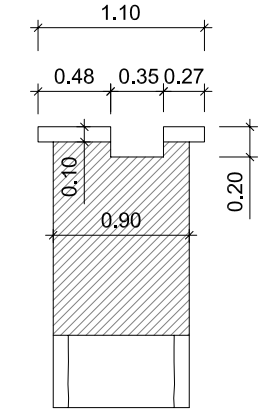


**GOVERNO DO
CABO VERDE**
A TERRA E O MAR
MINISTÉRIO DAS
INFRA-ESTRUTURAS, ORDENAMENTO
DO TERRITÓRIO E HABITAÇÃO

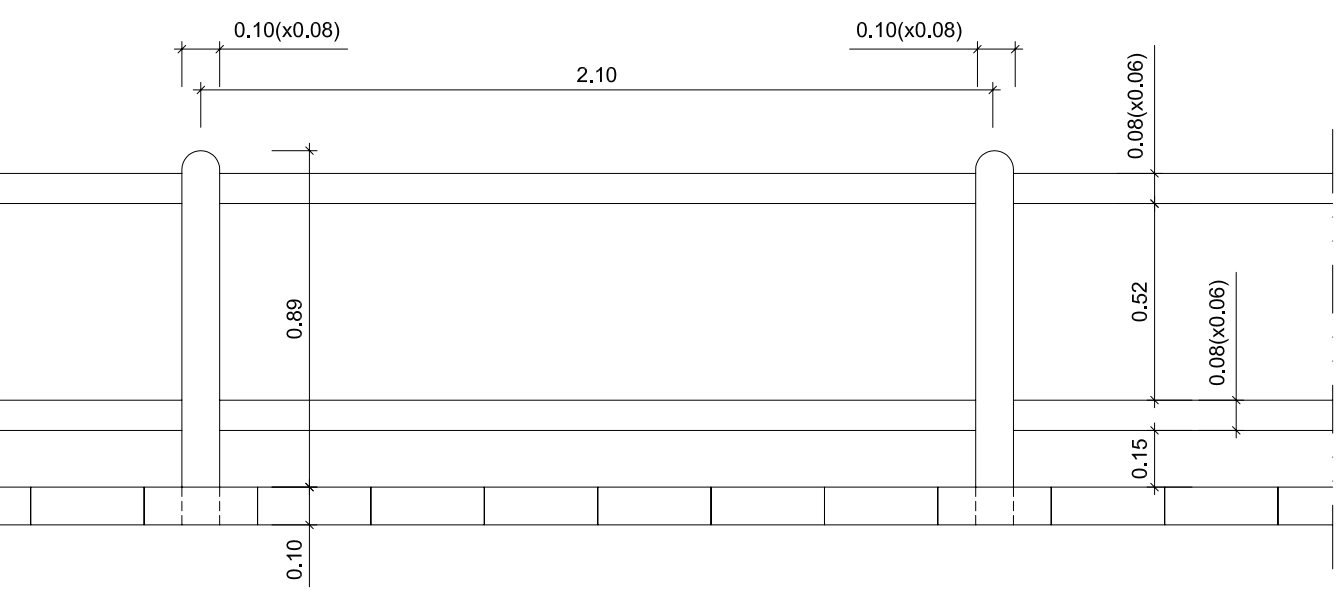
PONTE DE CANAL – SANTO ANTÃO – CABO VERDE



Corte 5-5
esc: 1:50



Guarda Corps - pormenor
esc: 1:20



NOTA:
As cotas apresentadas têm por base o levantamento arquitetónico fornecido pelo IPC e algumas medidas efetuadas no local.

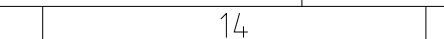
Ponte de Canal Ribeira Grande - Santo Antão	
 ic@fe.up.pt R. Dr. Roberto Frias 4200-465 PORTO	Levantamento Estrutural Alçado de Jusante Cortes e pormenores
	01
Data: setembro 2019	Escala: 1:100; 1:50; 1:20

esc_ 1:100

--	--



	1
--	---



15		
----	--	--



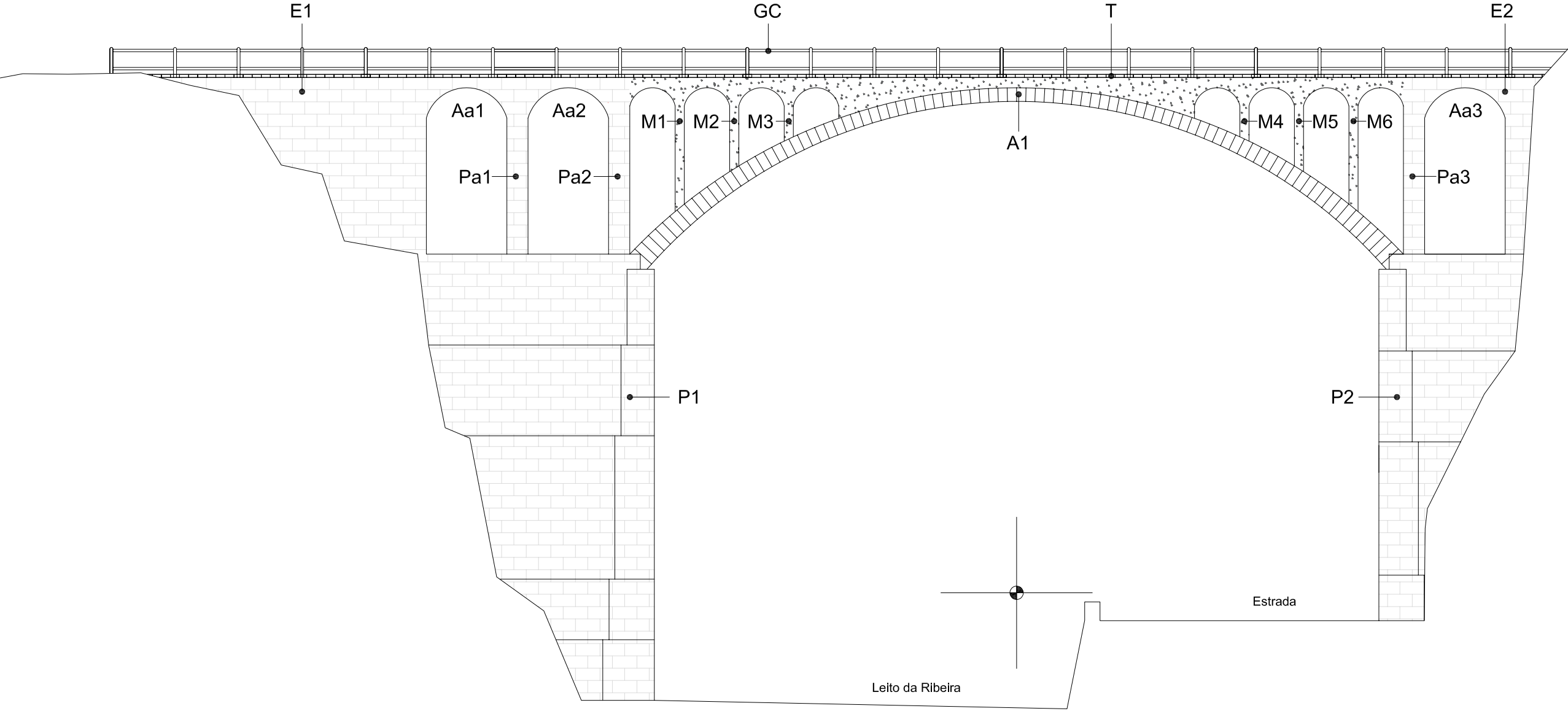
13	14	15	A3.1
----	----	----	------

13	14
----	----

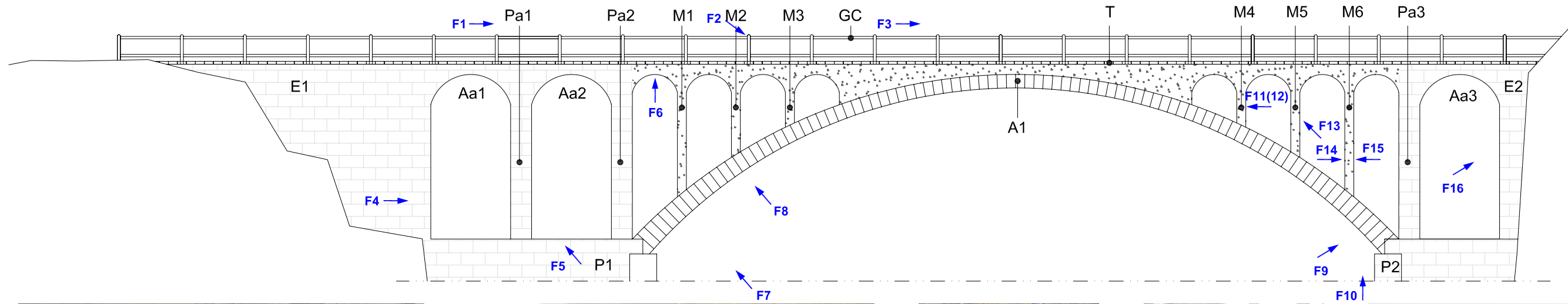
13	14
----	----

	15
--	----

	A3.1
--	------



TIPO DE DANO	MANIFESTAÇÃO NO ELEMENTO																		
	A1	E1	E2	P1	P2	Aa1	Aa2	Aa3	Pa1	Pa2	Pa3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	T	GC
D1 – Corrosão de armaduras e delaminação do betão	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D2 – Fissuração / Fraturas nos elementos estruturais de betão	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D3 – Degradação do betão por erosão/lavagem do ligante	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D4 – Deficiente enchimento/acabamento do extradorso do arco de betão	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D5 – Destacamento das pedras de recobrimento das faces laterais do arco	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D6 – Deformação fora do plano da estrutura do arco	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D7 – Perda de material pétreo em pilar de alvenaria	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D8 – Degradação generalizada do guarda corpos.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
● – Intenso ● – Moderado ● – Ligeiro ● – Sem dano																			



F16: Alvenarias com muito boa qualidade



F1: Vista geral do canal



F2: Corrosão de armaduras e delaminação do betão



F3: Corrosão de armaduras e delaminação do betão



F4: Apoios do cimbres dos arcos



F5: Arranque de A1 em P1



F6: Arco entre Pa2 e M1



F7: P1 e E1 vista montante



F8: Vista jusante da ligação entre estrutura de betão e estrutura de alvenaria



F9: Pilar P1 vista jusante



F10: Inspeção e ensaios em M5 e M6



F11: Montante M6



F12: Montante M4



F13: Montante M5



F14: Extração da carote C1 em M6



F15: Pormenor do betão em M6

Desenho de Inspeção

Ponte de Canal
Ribeira Grande - Santo Antão

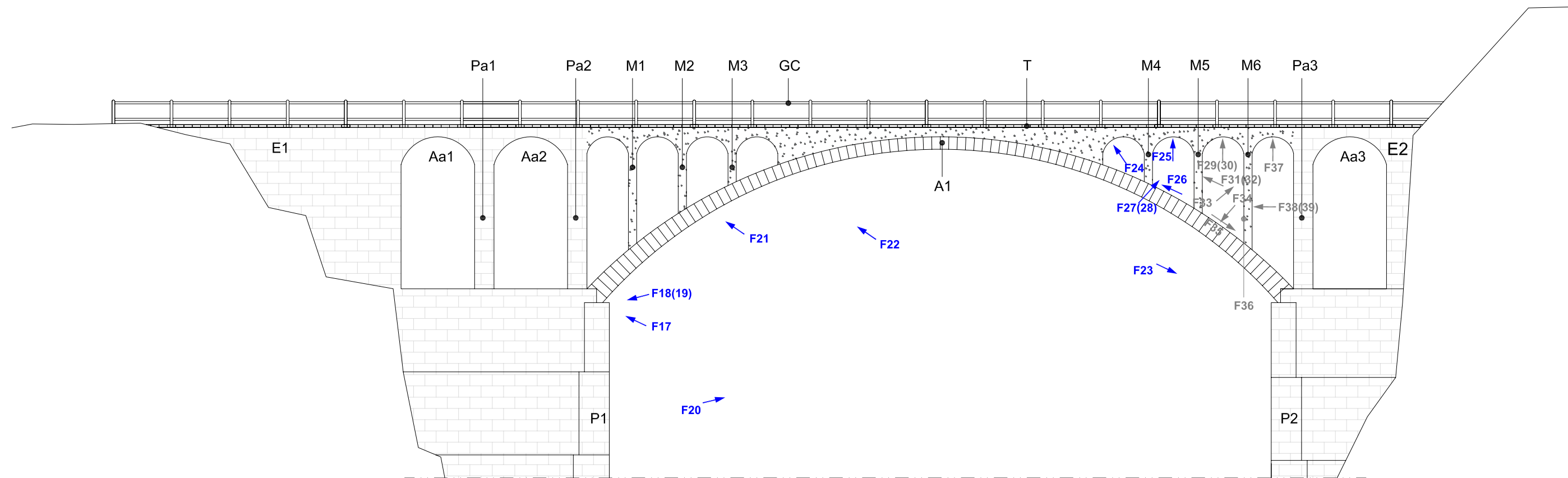
Levantamento fotográfico



INSTITUTO DA
CONSTRUÇÃO

Di 2

Data: setembro 2019



F17: Arranque de A1 em P1



F18: Intradorso de A1



F19: Intradorso de A1



F20: Vista geral jusante



F21: Intradorso de A1



F22: Intradorso de A1



F23:



F24: pormenor do betão no arco



F25: Pormenor do betão entre M4 e M5



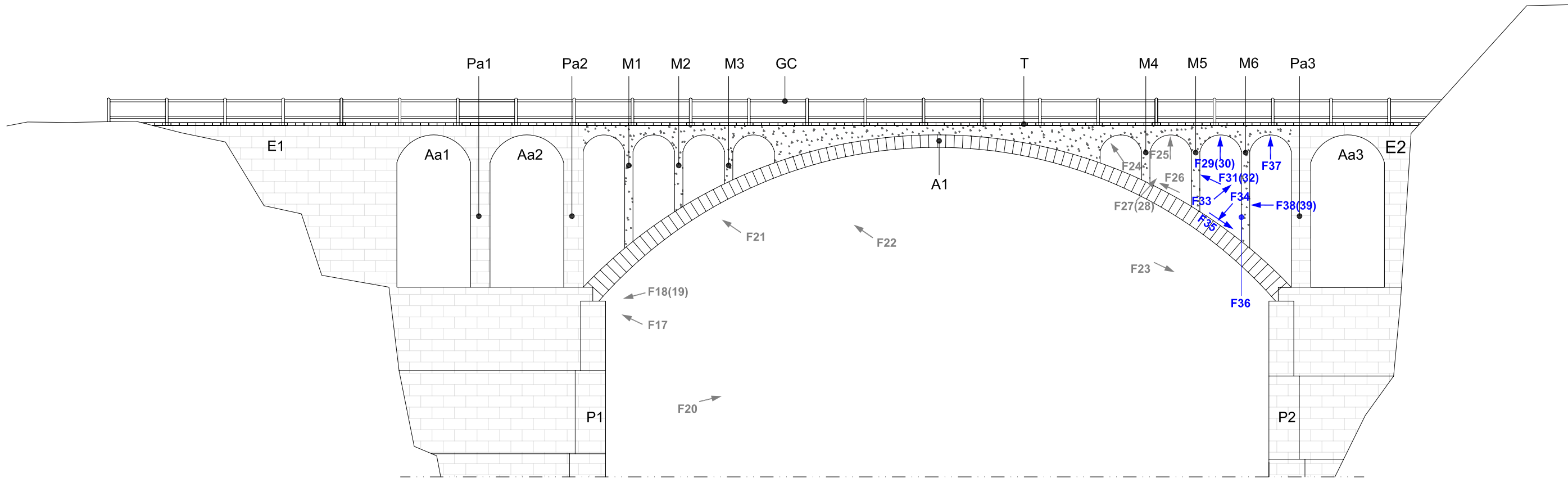
F26: Montante M4



F27: Pormenor do betão entre M4 e M5



F28: Pormenor do betão entre M4 e M5 no fecho do arco



F29: Arco entre M5 e M6



F30: Pormenor do arco entre M5 e M6



F31: Montante M5



F32: Montante M5



F33: Montante M6



F34: Extradorso do arco



F35: Extradorso do arco junto a M6



F36: Extração de carote - M6



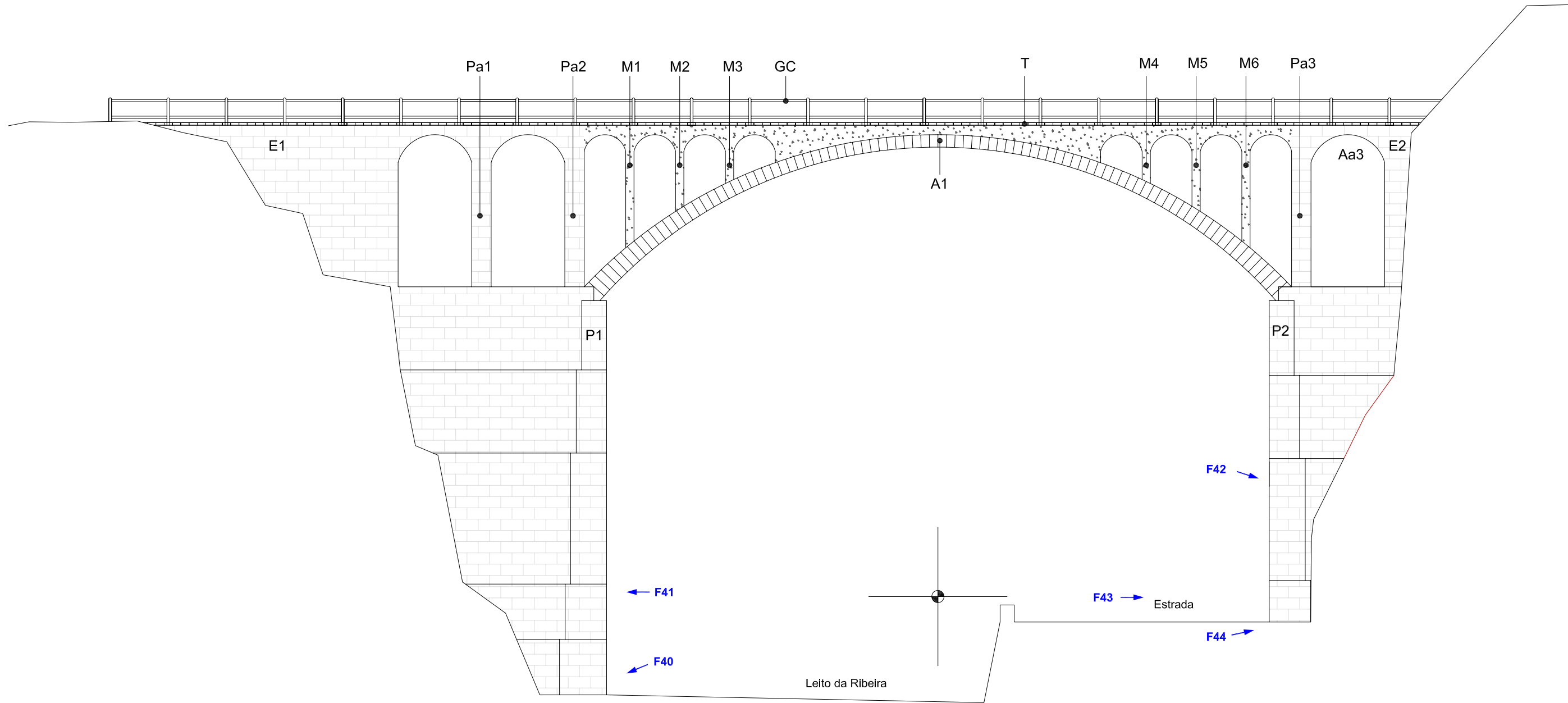
F37: Arco entre M6 e Pa3



F38: M6: betão armado.
Corrosão da armadura vertical



F39: M6: betão armado.
Corrosão da armadura vertical



F40: Pilar P1 - vista frente-jusante



F41: Pilar P1



F42: Pilar P1 - Vista Jusante



F43: Pilar P2



F44: Pilar P2 - vista jusante