



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



ACOMPANHAMENTO DA CONSTRUÇÃO DA SUBCONCESSÃO  
DO PINHAL INTERIOR / OBRAS DE ARTE

NANCI DE JESUS

(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Civil na Área de Especialização em Estruturas

Presidente Juri:

Cristina Ferreira Xavier de Brito Machado (Prof. Coordenadora do ISEL, Mestre)

Orientadores:

Armando Martins (Eq. Prof. Adjunto do ISEL, Licenciado)

António Azevedo (Eng.º Civil, MOTA-ENGIL)

Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques (Prof. Adjunto do ISEL, Doutor)

Arguente:

Luciano Carmo Jacinto (Prof. Adjunto do ISEL, Doutor)

Dezembro de 2012





## RESUMO

O presente relatório de estágio enquadra-se no âmbito do Trabalho Final de Mestrado, do curso de Engenharia Civil, Área de Especialização de Estruturas, ministrado no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

O Estágio foi realizado na empreitada de construção da Subconcessão Pinhal Interior, lote 7, IC8 – Proença-a-Nova / Perdigão (A23), obra adjudicada à Ascendi Pinhal Interior / Mota - Engil, Engenharia e Construção (MEEC), durante o semestre de verão de 2012.

Em termos objetivos, o estágio traduziu-se no acompanhamento da construção desta nova ligação rodoviária, em particular das obras de arte, onde se destaca a futura Ponte sobre o Rio Ocreza.

A Ponte sobre o Rio Ocreza (PROC), tem um desenvolvimento total de 420 m, com vãos de 110 m – 190 m – 120 m e uma altura máxima do tabuleiro ao leito do rio de 98 m. Em termos planimétricos a diretriz da rodovia traduz-se numa reta enquanto a rasante corresponde a uma curva côncava com 5500 m de raio.

A obra em questão será baseada no Processo Construtivo: Carros de Avanço em Aduelas Sucessivas moldadas *in situ*.

## PALAVRAS-CHAVE

Obra de arte, Ponte, Cofragem deslizante, Carros de avanço, Aduelas, Pré-esforço, Controlo de geometria.





## **ABSTRACT**

The present report refers to the Final Masters Work of the Civil Engineering Course – Structures Specialization Area, taught in Lisbon Superior Engineering Institute (ISEL).

The post-graduate training was performed in the construction task work developed by the Subconcessão Pinhal Interior, plot 7, IC8 – Proença-a-Nova / Perdigão (A23), building construction adjudicated (awarded) to Ascendi Pinhal Interior / Mota – Engil, Engineering & Construction (MEEC), during the summer semester of 2012.

Objectively, the post-graduate training fitting was the accompanying of this new road connection, particularly of the works of art, where the future bridge over Ocreza River is put in relief.

The Ocreza River Bridge (PROC) has a total length of 420 meters, with 110 m – 190 m – 120 m bays, and a maximum height from the roadway to the riverbed of 98 meters. In terms of planimetry, the roadway line of direction is a straight stretch, while the respective sweeping corresponds to a concave curve with a 5500 meters radius.

The construction will be based on the Constructive Process: form travellers with successive segments cast in place.

## **KEY-WORDS**

Works of art, Bridge, Sliding formwork, Form travellers, Segments, Prestressing, Geometry control.





## **AGRADECIMENTOS**

O estágio que deu origem ao presente relatório foi desenvolvido no Grupo Mota-Engil, sob a orientação do Engenheiro António Azevedo e acompanhamento, em particular, na pessoa do Engenheiro João Chalaça.

A concretização deste trabalho só foi possível com a oportunidade de estágio e com os meios postos à disposição pela MEEC, a quem expresso os meus sinceros agradecimentos.

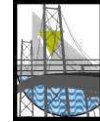
Um especial agradecimento ao Engenheiro António Azevedo que me acolheu em obra como estagiária e a toda a equipa com quem tive oportunidade de trabalhar. Um muito obrigado pelos conhecimentos transmitidos, por todo o apoio e confiança ao longo do estágio.

Agradeço ao Engenheiro Armando Martins por ter aceite ser meu orientador de estágio e por toda a disponibilidade, interesse e capacidade demonstrada na orientação deste relatório.

Por fim, não podia deixar de dirigir algumas palavras de agradecimento ao Bernardo Andrade: muito obrigada pela força, ajuda e confiança prestada em toda e mais alguma situação.

Obrigada a todos!





## ÍNDICE GERAL

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESUMO .....</b>                                | <b>i</b>   |
| <b>PALAVRAS-CHAVE .....</b>                        | <b>i</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                              | <b>ii</b>  |
| <b>KEY-WORDS.....</b>                              | <b>ii</b>  |
| <b>AGRADECIMENTOS .....</b>                        | <b>iii</b> |
| <b>ÍNDICE GERAL .....</b>                          | <b>iv</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>                      | <b>vii</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                         | <b>1</b>   |
| 1.1 Enquadramento do tema .....                    | 1          |
| 1.2 Objetivos .....                                | 2          |
| 1.3 Estrutura .....                                | 2          |
| 1.4 Trabalho desenvolvido no estágio .....         | 2          |
| <b>2. A SUBCONCESSÃO PINHAL INTERIOR.....</b>      | <b>4</b>   |
| 2.1 Enquadramento.....                             | 4          |
| 2.2 Traçado.....                                   | 6          |
| 2.2.1 Descrição Geral.....                         | 6          |
| 2.2.2 Características Geométricas do Traçado ..... | 8          |
| 2.2.2.1 Traçado em planta .....                    | 8          |
| 2.2.2.2 Traçado em Perfil Longitudinal .....       | 9          |
| 2.2.2.3 Perfil Transversal Tipo.....               | 10         |
| 2.3 Restabelecimentos.....                         | 12         |
| 2.4 Movimentação de Terras.....                    | 13         |
| 2.5 Obras de Arte.....                             | 14         |
| 2.5.1 Obras de Arte Correntes .....                | 14         |
| 2.5.1.1 Passagens Superiores .....                 | 16         |
| 2.5.1.2 Passagens Inferiores.....                  | 19         |
| 2.5.1.3 Passagens agrícolas .....                  | 27         |
| 2.5.2 Obras de Arte Especiais.....                 | 28         |
| 2.5.2.1 Viaduto da Ribeira de S. Gens .....        | 30         |



|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 2.5.2.2   | Ponte sobre o Rio Ocreza .....                        | 34         |
| 2.6       | Materiais e Equipamentos .....                        | 35         |
| 2.7       | Elementos pré-fabricados.....                         | 38         |
| <b>3.</b> | <b>CASO EM ESTUDO: PONTE SOBRE O RIO OCREZA .....</b> | <b>39</b>  |
| 3.1       | Enquadramento.....                                    | 39         |
| 3.2       | Caracterização .....                                  | 39         |
| 3.3       | Processos Construtivos.....                           | 42         |
| 3.4       | Contenção das Escavações .....                        | 48         |
| 3.5       | Infraestruturas .....                                 | 53         |
| 3.6       | Encontros.....  | 55         |
| 3.7       | Pilares .....   | 56         |
| 3.7.1     | Caracterização dos Pilares.....                       | 56         |
| 3.7.2     | Processo Construtivo .....                            | 58         |
| 3.8       | Tabuleiro .....                                       | 66         |
| 3.8.1     | Caracterização do Tabuleiro .....                     | 66         |
| 3.8.2     | Processo Construtivo do Tabuleiro.....                | 70         |
| 3.8.2.1   | Aduela Zero.....                                      | 72         |
| 3.8.2.2   | Carros de Avanço.....                                 | 77         |
| 3.9       | Pré-esforço.....                                      | 89         |
| 3.9.1     | Pré-esforço no Tabuleiro .....                        | 89         |
| 3.9.2     | Pré-esforço Exterior Eventual.....                    | 90         |
| 3.9.3     | Sistema de Equilíbrio Exterior .....                  | 90         |
| 3.10      | Monitorização Estrutural.....                         | 93         |
| 3.11      | Ensaio dos Betões.....                                | 98         |
| <b>4.</b> | <b>CONCLUSÕES .....</b>                               | <b>100</b> |
| <b>5.</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                | <b>102</b> |



## ANEXOS

- ANEXO A – Planta de Localização
- ANEXO B – Esboço Corográfico
- ANEXO C – Traçado – Planta e Perfil Longitudinal
- ANEXO D – Traçado – Perfis Transversais Tipo
- ANEXO E – PROC – Desenhos de Projeto
- ANEXO F – Pré-esforço
- ANEXO G – Exemplo de PTRE
- ANEXO H – Manual de Utilizador para o Sistema Strand Jack (excerto)
- ANEXO I – Instrumentação
- ANEXO J – Plano de Trabalho PROC (Tabuleiro)
- ANEXO K – Caracterização Fotográfica - PS
- ANEXO L – Caracterização Fotográfica – PI Tipo Matière
- ANEXO M – Caracterização Fotográfica – PI 13
- ANEXO N – Caracterização Fotográfica - PA
- ANEXO O – Caracterização Fotográfica – VRSG
- ANEXO P – Caracterização Fotográfica – PROC

## ÍNDICE DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro I – Traçado em Planta [3] .....                                   | 9  |
| Quadro II - Perfil Longitudinal – Trainéis [3] .....                     | 9  |
| Quadro III - Perfil Longitudinal – Curvas Verticais (Parábolas) [3]..... | 10 |
| Quadro IV - Características das OAC .....                                | 15 |
| Quadro V - Características das OAE .....                                 | 29 |
| Quadro VI – PROC - Características Gerais [11] – adaptado.....           | 41 |
| Quadro VII – Classes Mínimas de Resistência [8] .....                    | 98 |
| Quadro VIII – Classe de Exposição / Recobrimentos Nominais [8] .....     | 98 |





## ÍNDICE DE FIGURAS

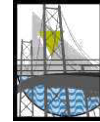
|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Localização do lanço do IC8 – Proença-a-Nova / Perdigão (A23) [2].....        | 5  |
| Figura 2 – Planta do traçado geral, Pinhal Interior - Lote 7 [3] – adaptado.....         | 7  |
| Figura 3 – Perfil Transversal Tipo – seção corrente [3].....                             | 11 |
| Figura 4 – Perfil Transversal Tipo – zona dos nós de ligação [3] .....                   | 11 |
| Figura 5 – PS – Solução geralmente adotada para as PS [13] – adaptado.....               | 16 |
| Figura 6 – PS – Encontros: gigantes (fustes).....  | 16 |
| Figura 7 – PS – Encontros: gigante tipo “batólito” .....                                 | 16 |
| Figura 8 – PS – Pilares .....  | 17 |
| Figura 9 – PS – Tabuleiro: colocação de vigas pré-fabricadas.....                        | 17 |
| Figura 10 – PS – Tabuleiro: colocação das pré-lajes .....                                | 17 |
| Figura 11 – PS – Tabuleiro betonado .....  | 18 |
| Figura 12 – PI – Nomenclatura geral das matériés com base [13].....                      | 19 |
| Figura 13 – PI – Nomenclatura geral das matériés com lintel e sapata exterior [13] ..... | 20 |
| Figura 14 – PI – Colocação dos elementos pré-fabricados das matériés .....               | 20 |
| Figura 15 – PI – Matiére finalizada e parcialmente aterrada .....                        | 21 |
| Figura 16 – PI 13 – Corte transversal do tabuleiro a meio vão. [14].....                 | 21 |
| Figura 17 – PI 13 – Planta de fundações [14] .....                                       | 22 |
| Figura 18 – PI 13 – Esquemática do sistema de cimbra ao solo e salva-taludes.....        | 23 |
| Figura 19 – PI 13 – Cimbra ao solo e recurso a salva-taludes .....                       | 24 |
| Figura 20 – PI 13 – Colocação dos perfis de apoio à cofragem sobre a via rodoviária..... | 24 |
| Figura 21 – PI 13 – Vista Geral do cimbra ao solo .....                                  | 25 |
| Figura 22 – PI 13 – Colocação da armadura do tabuleiro .....                             | 25 |
| Figura 23 – PI 13 – Limpeza do tabuleiro (armaduras e cofragem), antes da betonagem..... | 25 |
| Figura 24 – PI 13 – Betonagem do tabuleiro.....  | 26 |
| Figura 25 – PI 13 – Baixar cofragem e perfis de apoio à cofragem.....                    | 26 |
| Figura 26 – PI 13 – Vista geral.....   | 27 |
| Figura 27 – PA – Montagem / colocação das box-culvert .....                              | 27 |
| Figura 28 – PA – Nomenclatura geral das box-culvert [13] .....                           | 28 |
| Figura 29 – PA – Box-culvert já montada e aterrada.....                                  | 28 |
| Figura 30 – VRSG - Corte Longitudinal, pelo eixo do tabuleiro [9] .....                  | 30 |
| Figura 31 – VRSG - Alçado frontal do encontro esquerdo [9].....                          | 31 |
| Figura 32 – VRSG – Encontro visitável, vista interior .....                              | 31 |
| Figura 33 – VRSG – Pilares.....  | 32 |
| Figura 34 – VRSG – Viga travessa .....   | 32 |
| Figura 35 – VRSG – Perfil transversal tipo do tabuleiro [9] .....                        | 33 |



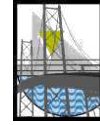
|  |    |
|--|----|
| Figura 36 – VRSG – Pormenor pré-lajes e vigas pré-fabricadas.....  | 33 |
| Figura 37 – VRSG – Faseamento construtivo .....  | 34 |
| Figura 38 – VRSG – Vista geral.....  | 34 |
| Figura 39 – Aparelhos de Apoio.....  | 35 |
| Figura 40 – Guarda de segurança e guarda-corpos.....   | 36 |
| Figura 41 – PROC – Traçado em Planta [8].....  | 40 |
| Figura 42 – PROC – Perfil Longitudinal [8] .....   | 40 |
| Figura 43 – PROC – Corte Longitudinal de toda a OA, pela diretriz [8].....   | 41 |
| Figura 44 – PROC – Modelos Globais de Tabuleiro Construído em Consolas por Avanços<br>Sucessivos: Diagrama de Momentos Fletores [15] ..... | 43 |
| Figura 45 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 1 [8] .....   | 44 |
| Figura 46 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 2 [8] .....   | 44 |
| Figura 47 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 3 [8] .....   | 45 |
| Figura 48 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 3 [8] .....   | 45 |
| Figura 49 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 4 [8] .....   | 46 |
| Figura 50 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 5 [8] .....   | 46 |
| Figura 51 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 6 [8] .....   | 47 |
| Figura 52 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 7 [8] .....   | 47 |
| Figura 53 – PROC – Escavação mecânica .....  | 48 |
| Figura 54 – PROC – Preparação de explosivos para fundações do P2 .....   | 49 |
| Figura 55 – PROC – Pregagens associadas a projeção de betão armado com fibras de<br>aço .....  | 49 |
| Figura 56 – PROC – Rede de aço, pregada no topo e na base do talude.....   | 50 |
| Figura 57 – PROC – Soluções mistas, com pregagens, betão projetado e rede .....  | 50 |
| Figura 58 – PROC – Resultado final da contenção de escavação do P1 .....   | 51 |
| Figura 59 – PROC – Resultado final da contenção de escavação do P2.....  | 52 |
| Figura 60 – PROC – Drenagem de taludes com tubos horizontais .....   | 52 |
| Figura 61 – PROC – Perspetiva das sapatas dos pilares [8].....   | 53 |
| Figura 62 – PROC – Sapatas dos pilares .....   | 53 |
| Figura 63 – PROC – Pré-esforço / sistema de equilíbrio exterior da sapata [8].....   | 54 |
| Figura 64 – PROC – Pré-esforço das sapatas dos pilares .....   | 54 |
| Figura 65 – PROC – Encontro E1 .....   | 55 |
| Figura 66 – PROC – Gigantes do encontro E2 .....   | 55 |
| Figura 67 – PROC – Seção dos pilares. ....   | 56 |
| Figura 68 – PROC – Diafragmas/septos dos pilares [8] – adaptado .....  | 57 |
| Figura 69 – PROC – Armaduras de espera para os septos do interior dos pilares.....   | 58 |
| Figura 70 – PROC – Amaciamento do topo do pilar [8] – adaptado .....   | 58 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 71 – PROC – Implantação e nivelamento geral da base de apoio da cofragem deslizante .....  | 59 |
| Figura 72 – PROC – Montagem e fixação dos painéis de cofragem com cerca de 1,20 m ....            | 59 |
| Figura 73 – PROC – Montagem dos cavaletes .....   | 59 |
| Figura 74 – PROC – Circuito hidráulico para ascensão de cofragem deslizante.....                  | 60 |
| Figura 75 – Esquemática explicativa do sistema de elevação da cofragem deslizante ....            | 60 |
| Figura 76 – PROC – Plataformas de trabalho da cofragem deslizante .....                           | 61 |
| Figura 77 – PROC – Cofragem deslizante e equipamento de apoio montado. Início do deslize .....    | 62 |
| Figura 78 – PROC – Subida de cofragem deslizante .....  | 63 |
| Figura 79 – PROC – Deslize do pilar .....   | 63 |
| Figura 80 – PROC – Talochamento dos pilares .....   | 64 |
| Figura 81 – PROC – Análise gráfica do trabalho de deslize, realizado por turnos, no P2 .....      | 65 |
| Figura 82 – PROC – Seção transversal do Tabuleiro [8] – adaptado .....                            | 66 |
| Figura 83 – PROC – Cortes transversais, seção de apoio e de vão do tabuleiro [8] .....            | 68 |
| Figura 84 – PROC – Distribuição das Aduelas no Tabuleiro (vão de 110 m) [8] .....                 | 69 |
| Figura 85 – PROC – Distribuição das Aduelas no Tabuleiro (vão central) [8] .....                  | 69 |
| Figura 86 – PROC – Distribuição das Aduelas no Tabuleiro (vão de 120 m) [8] .....                 | 69 |
| Figura 87 – PROC – Dimensionamento das Aduelas Zero – Seções Transversal e Longitudinal [8] ..... | 73 |
| Figura 88 – PROC – Dimensionamento das Aduelas Zero - Planta [8] .....                            | 73 |
| Figura 89 – PROC – Faseamento das Betonagens das Aduelas Zero [10].....                           | 74 |
| Figura 90 – PROC – Faseamento do Sistema de Cofragem para as AD00 [10] .....                      | 75 |
| Figura 91 – PROC – Anemômetro instalado no topo do CA.....  | 76 |
| Figura 92 – PROC – AD00 concluída .....   | 77 |
| Figura 93 – PROC – Carros de Avanço .....   | 78 |
| Figura 94 – PROC – Constituição dos CA [11].....  | 79 |
| Figura 95 – PROC – Estrutura Principal dos CA: pórticos, asnas e carril.....                      | 80 |
| Figura 96 – PROC – Sistemas Hidráulicos e Varões de Suspensão.....                                | 81 |
| Figura 97 – PROC – Pré-montagem ao nível do solo da cofragem de fundo e sua elevação .....        | 82 |
| Figura 98 – PROC – Pré-montagem ao nível do solo da cofragem exterior .....                       | 83 |
| Figura 99 – PROC – Plataformas de trabalho da cofragem exterior.....                              | 83 |
| Figura 100 – PROC – Cofragem interior .....   | 84 |
| Figura 101 – PROC – Colocação de armadura na laje inferior e almas [11] .....                     | 86 |
| Figura 102 – PROC – Ripagem da cofragem interior [11] .....                                       | 86 |
| Figura 103 – PROC – Subida, reposicionamento e montagem da cofragem interior [11].....            | 86 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 104 – PROC – Colocação de armadura e colocação de negativos na laje superior [11] .....                          | 86 |
| Figura 105 – PROC – Betonagem da laje inferior [11] .....   | 86 |
| Figura 106 – PROC Betonagem das almas e laje superior [11] .....  | 86 |
| Figura 107 – PROC – Libertação dos carris [11].....   | 87 |
| Figura 108 – PROC Movimentação dos carris [11] .....  | 87 |
| Figura 109 – PROC – Fixação e nivelamento dos carris [11].....  | 87 |
| Figura 110 – PROC Abertura da cofragem interior e aplicação de pré-esforço [11].....                                    | 87 |
| Figura 111 – PROC – Descofragem exterior / fundo [11] .....   | 87 |
| Figura 112 – PROC Libertação da ancoragem do CA ao tabuleiro após fixação ao carril [11].....                           | 87 |
| Figura 113 – PROC – Movimentação hidráulica do CA [11] .....  | 88 |
| Figura 114 – PROC – Fixação do CA ao tabuleiro após nivelamento hidráulico do mesmo [11].....                           | 88 |
| Figura 115 – PROC – Subida da cofragem exterior / fundo tendo em conta a cota da betonagem e as contraflechas [11]..... | 88 |
| Figura 116 – PROC – Descofragem interior [11] .....   | 88 |
| Figura 117 – PROC – Sistema de equilíbrio dos pilares. Pormenor [8].....  | 91 |
| Figura 118 – PROC – Sistema de Equilíbrio Exterior. Tirantes. ....  | 92 |
| Figura 119 – PROC – Apoio do tirante do sistema de equilíbrio exterior, no tabuleiro. ....                              | 92 |
| Figura 120 – PROC – Modelo numérico do programa TDV – Alçado e 3D [12].....   | 94 |
| Figura 121 – PROC – Sapatas, instrumentação [12].....   | 95 |
| Figura 122 – PROC – Topo dos pilares, instrumentação [12] .....   | 96 |
| Figura 123 – PROC – Aduelas de avanço, instrumentação. ....   | 96 |
| Figura 124 – PROC – Pontos para medição topográfica no tabuleiro .....  | 97 |



## **LISTA DE SIGLAS DE ABREVIATURAS**

AD00 – Aduela Zero

AD01A – Aduela 1 A – primeira aduela do vão central, junto ao pilar.

AD01B – Aduela 1 B – primeira aduela do lado do encontro, junto ao pilar.

AE – Autoestrada

CA – Carros de Avanços

EN – Estrada Nacional

EP – Estradas de Portugal

E1 – Encontro 1

E2 – Encontro 2

IC – Itinerário Complementar

ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

km – quilómetro(s)

km/h – quilómetro(s) por hora

kN – quilonewton(s)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

m – metro(s)

mm – milímetro(s)

m/h – metro(s) por hora

MEEC – Mota - Engil, Engenharia e Construção

OA – Obras de Arte

OAC – Obras de Arte Correntes

OAE – Obras de Arte Especiais

OE – Obras de Estradas

PA – Passagem Agrícola

PH – Passagem Hidráulica

PI – Passagem Inferior

PIE – Passagem Inferior Especial

PROC – Ponte sobre o Rio Ocreza

PS – Passagem Superior



PT – Plano de Trabalhos

PTQ – Plano de Trabalhos Quinzenais

PTRE – Procedimento para Trabalhos com Riscos Especiais

PTT – Perfil Transversal Tipo

P1 – Pilar 1

P2 – Pilar 2

ton – Tonelada(s)

VRSG – Viaduto Sobre a Ribeira S. Gens



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento do tema

Um dos fatores determinantes para o desenvolvimento de uma Região é sem dúvida a existência de boas Infraestruturas de Comunicação, em particular as que permitam a deslocação de pessoas e bens.

A subconcessão do Pinhal Interior, adjudicada à Ascendi, constitui um dos maiores projetos rodoviários desenvolvidos nos últimos anos em Portugal.

O contrato celebrado, traduzido num investimento de 1.244 milhões de euros, contempla a conceção, o projeto, a construção, o financiamento, a exploração e a conservação, por um período de 30 anos, numa extensão aproximada de 520,3 km, dos quais:

- 162,8 km a construir;
- 134,3 km a requalificar;
- 223,2 km em exploração.

Na referida Subconcessão enquadra-se o lote 7, IC8 – Proença-a-Nova / Perdigão (A23), no qual, à semelhança de outros projetos rodoviários se inclui não só a plataforma rodoviária, mas também diversas Obras de Arte (OA), como é o caso da nova Ponte sobre o Rio Ocreza (PROC), cujo acompanhamento se enquadra no presente estágio.

Pela sua extensão, geometria e processos construtivos (alguns complexos), a PROC será o caso em estudo deste relatório. Do desmonte das fundações executadas com recurso a meios explosivos, passando pela execução dos pilares com cofragem deslizante e tabuleiro executado através do método dos carros de avanço, esta OA potencializa um ótimo objeto de trabalho que será descrito e explicado mais adiante.



## 1.2 Objetivos

O presente relatório traduz assim o acompanhamento da execução da construção da Subconcessão Pinhal Interior, Lote 7, enquadrando-a e dando uma breve explicação no seu geral, mas com especial incidência na PROC.

A concessão será analisada no que toca ao seu traçado, movimentação de terras e OA.

## 1.3 Estrutura

O presente relatório contempla 4 capítulos, cujo conteúdo se sintetiza em seguida:

- Capítulo 1, INTRODUÇÃO – enquadra o tema, explica os objetivos, descreve a estrutura do documento e refere o trabalho desenvolvido no estágio;
- Capítulo 2, A SUBCONCESSÃO PINHAL INTERIOR – enquadra a subconcessão, descrevendo-a nas várias áreas que abrange: traçado geral, movimentação de terras e obras de arte;
- Capítulo 3, CASO EM ESTUDO: PONTE SOBRE O RIO OCREZA – descreve a OA e detalha a sua execução. Visa essencialmente o método construtivo;
- Capítulo 4, CONCLUSÕES.

## 1.4 Trabalho desenvolvido no estágio

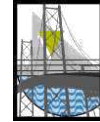
A integração na empreitada, devidamente acompanhada, em particular na pessoa do Eng.º António Azevedo e do Eng.º João Chalaça (Eng.º Adjunto de Obras de Arte Especiais), assentou nos seguintes princípios:

- Passagem por todos os gabinetes/áreas de trabalho da obra, para aprendizagem e compreensão do trabalho desenvolvido por cada setor (segurança, qualidade, ambiente, laboratório, armazém, medidor, preparador, topografia, preparador de aço, frente de estradas e frente de OA);
- Acompanhamento dos trabalhos de laboratório;



- Acompanhamento dos trabalhos de campo das OA;
- Controlo de betonagens/produção de todas as OA da concessão desde o início da obra até a atualidade;
- Estudo e pormenor do planeamento para a montagem dos carros de avanço (CA) e execução das aduelas 01A (AD01A) e aduelas 01B (AD01B) da PROC;
- Planeamento da receção do aço e dos acabamentos para as OA;
- Realização de *status* semanais e mensais da obra;
- Presença em algumas reuniões semanais de planeamento dos trabalhos a realizar com balizamento quinzenal (plano de trabalhos quinzenais - PTQ);
- Formação sobre explosivos: “Escavação com explosivos”, ministrada pelo Eng.º Pedro Bernardo, da Orica Mining Services;
- Acompanhamento dos trabalhos de desmonte com explosivos.





## 2. A SUBCONCESSÃO PINHAL INTERIOR

### 2.1 Enquadramento

“Atribuída no início de 2010 à Ascendi Pinhal Interior – Estradas do Pinhal Interior, S.A., através de um concurso público, a nova subconcessão do Pinhal Interior, constitui um dos maiores projetos rodoviários desenvolvidos nos últimos anos em Portugal.

O contrato celebrado integra a conceção, projeto, construção, financiamento, exploração e conservação, por um período de 30, sendo os seus principais eixos a A13/IC3 que liga Tomar a Coimbra e o IC8 ligando Pombal (A17/A1) a Vila Velha de Ródão (A23).

Esta subconcessão irá impactar positivamente a qualidade de vida de mais de 415 mil pessoas e reduzir os tempos de percurso em mais de 40% entre sedes de Concelho, favorecendo, de igual modo, a acessibilidade aos concelhos do Interior Centro, melhorando as deslocações Norte / Sul.” [1]

A construir, destaca-se o lanço sobre o qual se refere o presente relatório, denominado por IC8 - Proença-A-Nova / Perdigão (A23), que corresponde ao lanço do IC8 entre o Nó do Montinho, no concelho de Proença-a-Nova, e a A23, no concelho de Vila Velha de Ródão, relativo ao Lote 7, e que foi atribuído ao Grupo Mota-Engil, Engenharia e Construção (MECC).

“O IC8, quando completo permitirá a ligação entre o IP1/A1 e o IP2/A23. Este itinerário integra-se, conforme definido no Plano Rodoviário Nacional, na Rede Nacional Auto-estradas entre o IP1 e o IC2 em Pombal, inserindo-se na Rede Nacional Complementar no troço inserido na Subconcessão do Pinhal Interior, entre Pombal e Castelo Branco (IP2/A23).

Desta forma, o presente troço do IC8, com cerca de 16,2 km de extensão, desenvolve-se entre o Nó do Montinho (existente e integrado no Lanço IC8: Sertã /



Proença-a-Nova), na proximidade da Proença-a-Nova, e o Nó de Perdígão com a A23 (existente e a reformular), no concelho de Vila Velha de Ródão.” [2]

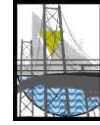
Na Figura 1, apresenta-se a localização do IC8, sendo que no Anexo A pode ser observada a Planta de Localização e no Anexo B o Esboço Corográfico.



**Figura 1 – Localização do lanço do IC8 – Proença-a-Nova / Perdígão (A23) [2]**

O lanço IC8, com uma extensão de cerca de 16 km, inserido numa zona com orografia desfavorável, caracteriza-se no essencial por:

- Volume relativo de escavação: 1.865.000 m<sup>3</sup>;
- Volume de solos para execução de aterros: 1.668.000 m<sup>3</sup>;
- Volume de terras sobrantes para transporte a vazadouro: 197.000 m<sup>3</sup>;
- 20 OAC;
- 2 OAE;
- 2.540.000 ton de aço;
- 24.200 m<sup>3</sup> de betão estrutural;
- 100 Passagens Hidráulicas (PH).



## 2.2 Traçado

### 2.2.1 Descrição Geral

“A zona de implantação do traçado tem uma orografia ondulada na zona inicial, até cerca do km 10+000, predominando as áreas de pinhal. Nesta zona ocorrem a maioria dos aglomerados populacionais e das áreas agrícolas no traçado em estudo. Na restante área atravessada, entre o km 10+000 e o final do lanço, a orografia é mais acidentada, dominando as áreas florestais, com manchas de olival nas encostas do vale do rio Ocreza.

O lanço em estudo desenvolve-se de um modo geral com orientação Noroeste - Sudeste, entre Proença-a-Nova e Peral e posteriormente com orientação Poente - Nascente, entre Peral e o Nó de Perdigão.

Nos primeiros 600 m, aproximadamente, o traçado em estudo sobrepõe-se grosso modo à EN241 existente, pelo que se prevê o restabelecimento da EN241 através do Restabelecimento 1, desenvolvendo-se depois até ao seu final sempre a sul da EN241.” [2]

O traçado contempla o nó de Pedra do Altar, com geometria em “diamante” e os nós de Perdigão e da A23, ambos com geometria em “trompete”. Foram ainda previstos 20 restabelecimentos através de obras de arte. Estas passagens asseguram a reposição das ligações existentes e afetadas pela nova rodovia.

Tendo como referência a planta do Traçado Geral, apresentada na Figura 2, a qual pode ser observada com maior detalhe no Anexo C, procede-se em seguida à descrição sintetizada do traçado do Lote 7.

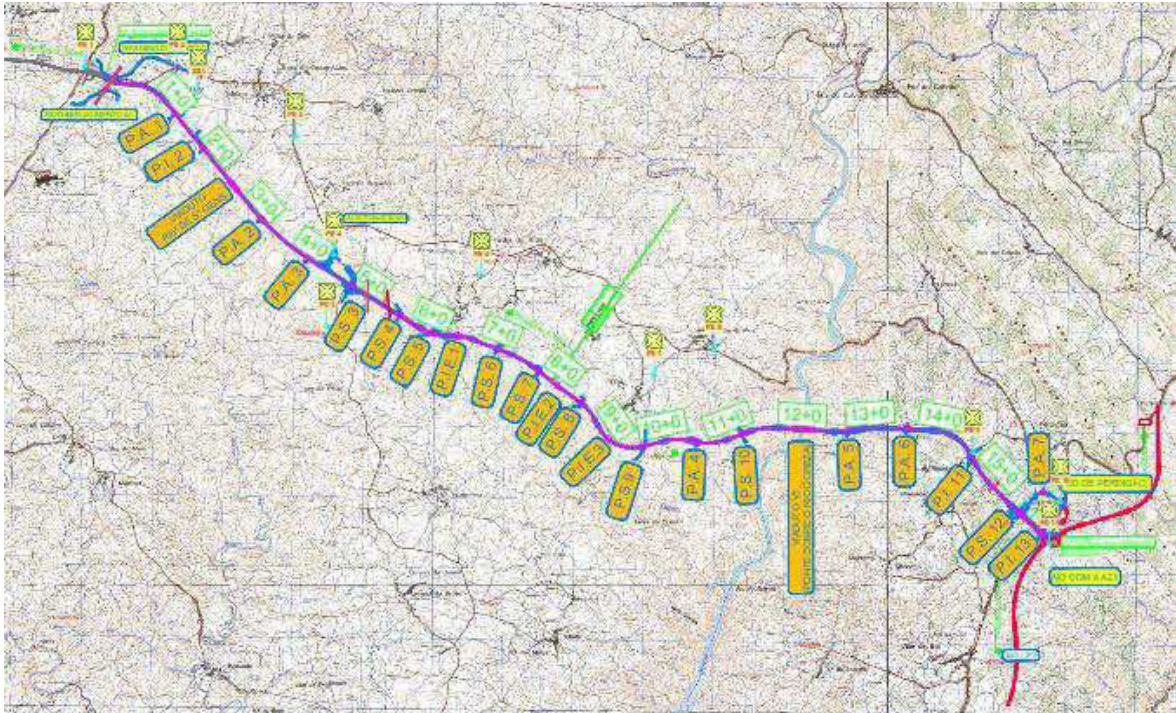


Figura 2 – Planta do traçado geral, Pinhal Interior - Lote 7 [3] – adaptado

Sensivelmente ao km 2+500, o traçado transpõe a ribeira de S. Gens em viaduto (Viaduto Sobre a Ribeira S. Gens - VRSG) e entre os km 4+200 e 4+400 localiza-se o Nó de Pedra do Altar, que apresenta uma geometria do tipo “diamante”. Este Nó estabelece a articulação com a rede viária local através da EN351 e garante a acessibilidade às povoações locais.

Entre o Nó de Pedra do Altar e o Rio Ocreza são intercetadas e restabelecidas diversas vias existentes. O traçado transpõe a ribeira do Estevês ao km 6+485, um afluente dessa mesma ribeira ao km 8+073 e a ribeira do Peral ao km 9+142.

Após a travessia da ribeira do Peral, o traçado assume uma orientação Oeste – Este até à proximidade da travessia do rio Ocreza próximo do km 12+000. O atravessamento do rio Ocreza, é assegurado pela construção da designada PROC. Esta será desenvolvida num único alinhamento reto em planta, e apresenta uma parábola em perfil longitudinal. Vence um vão de cerca de 420 m verificando-se um elevado desnível entre o tabuleiro da obra de arte e as cotas do terreno natural (aproximadamente 98 m). O traçado continua a desenvolver-se para nascente agora sobre a influência de uma orografia mais acidentada.



O Nó de Perdigão com a EN23 (antigo IP2) localiza-se entre o km 15+500 e o km 15+700, e apresenta uma geometria do tipo “trompette”.

O traçado termina ao km 16+201, no atual nó com a A23, que será reformulado, sendo eliminados os ramos atuais localizados a poente da Autoestrada (AE) e reformulados os ramos que asseguram a saída e a entrada entre a A23 e o IC8 nos sentidos A23 (norte) – Proença-a-Nova e Proença-a-Nova – A23 (sul).

## 2.2.2 Características Geométricas do Traçado

“Tendo em vista a obtenção de um traçado globalmente homogéneo e integrado na orografia da região atravessada adotaram-se características geométricas em planta e em perfil longitudinal superiores aos valores de referência da Norma de Traçado da EP para a velocidade de base de 80 km/h com verificação dos valores dos raios verticais para a velocidade de tráfego de 100 km/h. Apenas para efeitos de perspetivar a grandeza dos raios associados à geometria do traçado em planta é de referir que as curvas em planta apresentam raios superiores ou iguais ao mínimo normal constante no quadro VII da Norma de Traçado para a velocidade de base de 90km/h.” [3]

Procede-se em seguida à descrição das principais características geométricas relativas ao IC8 – Lanço Proença-a-Nova / Perdigão (Lote 7), concretamente traçado em planta e perfil longitudinal (trainéis e curvas verticais).

### 2.2.2.1 Traçado em planta

Fruto da orografia local e das diversas condicionantes, conforme se pode observar no Quadro I, o traçado tem um comportamento sinuoso significativo, sendo que a percentagem de traçado em reta é inferior a 47% do total do traçado, não havendo no entanto curvas com raio inferior a 550 metros.



Quadro I – Traçado em Planta [3]

| PLANTA             |     |                    |       |              |       |              |       |
|--------------------|-----|--------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| $420 \leq R < 550$ |     | $550 \leq R < 700$ |       | $R \geq 700$ |       | Rectas       |       |
| Extensão (m)       | (%) | Extensão (m)       | (%)   | Extensão (m) | (%)   | Extensão (m) | (%)   |
|                    |     | 2976,68            | 18,60 | 5518,46      | 34,49 | 7504,86      | 46,91 |

### 2.2.2.2 Traçado em Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal reflete igualmente as características orográficas da zona, sendo que a extensão do traçado associado a trainéis é de 62.59% e os restantes 37.41% referem-se a curvas de concordância (parábolas) entre os referidos trainéis.

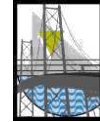
Os trainéis com inclinação superior a 5% e inferior a 5,5% correspondem a aproximadamente 9,18% da extensão do traçado, como se verifica no Quadro II. Contudo, tal como referido na Norma de Traçado, para trainéis com inclinação superior a 4%, está prevista a introdução de vias para veículos lentos.

Quadro II - Perfil Longitudinal – Trainéis [3]

| PERFIL LONGITUDINAL - TRANEIS ( 62,59%) |       |                    |      |                      |      |
|---|-------|--------------------|------|----------------------|------|
| $0\% < I \leq 4\%$                      |       | $4\% < I \leq 5\%$ |      | $5\% < I \leq 5,5\%$ |      |
| Extensão (m)                            | (%)   | Extensão (m)       | (%)  | Extensão (m)         | (%)  |
| 8259,49                                 | 51,62 | 286,18             | 1,79 | 1468,85              | 9,18 |

Em termos gerais e conforme se pode observar no Quadro III, verifica-se que as parábolas convexas apresentam raios superiores a 12500 m (raio mínimo normal apontado na Norma de Traçado da Estradas de Portugal (EP) para a velocidade de 100km/h). Exceção para as parábolas ao km 0+650 e ao km 14+300, com raios convexas de 10000m e 12000 m respetivamente, perfazendo cerca de 9,02% da extensão total do perfil longitudinal.

Estas parábolas apresentam valores que requerem uma análise “personalizada” e de carácter excecional pois são condicionadas pelas características geométricas atuais dos



traçados já lá existentes, isto é, são zonas onde o traçado em estudo sobrepõe-se de grosso modo à EN241 e ao nó terminal (A23), já existente.

**Quadro III - Perfil Longitudinal – Curvas Verticais (Parábolas) [3]**

| <b>PERFIL LONGITUDINAL - PARÁBOLAS</b> |      |                             |      |                  |       |                                   |      |                           |      |                 |      |
|--|------|-----------------------------|------|------------------|-------|-----------------------------------|------|---------------------------|------|-----------------|------|
| <b>Parábolas Convexas (28,51%)</b>     |      |                             |      |                  |       | <b>Parábolas Concavas (8,90%)</b> |      |                           |      |                 |      |
| <b>10000 ≤ R &lt; 12500</b>            |      | <b>12500 ≤ R &lt; 16000</b> |      | <b>R ≥ 16000</b> |       | <b>4500 ≤ R &lt; 5500</b>         |      | <b>5500 ≤ R &lt; 7000</b> |      | <b>R ≥ 7000</b> |      |
| Extensão (m)                           | (%)  | Extensão (m)                | (%)  | Extensão (m)     | (%)   | Extensão (m)                      | (%)  | Extensão (m)              | (%)  | Extensão (m)    | (%)  |
| 1442,57                                | 9,02 | 1234,79                     | 7,72 | 1884,92          | 11,78 | 0,00                              | 0,00 | 1188,71                   | 7,43 | 234,50          | 1,47 |

As parábolas côncavas apresentam sempre raios com valor igual ou superior a 5 500 m (raio mínimo apontado na Norma de Traçado da EP para a velocidade de 100km/h). Deste modo, refere-se que, de um modo geral, as concordâncias verticais se enquadram no preconizado na Norma de Traçado para a velocidade de base de 80km/h (velocidade de tráfego de 100 km/h).

### 2.2.2.3 Perfil Transversal Tipo

O perfil transversal tipo (PTT) adotado para o itinerário em estudo, face aos níveis de tráfego estimados, é de 1 x 2 vias na seção corrente e 2 x 1 via na zona dos nós de ligação.

Na seção corrente (1 x 2 vias), conforme se ilustra na Figura 3, e pode ser observado com maior detalhe no Anexo D, considera uma largura de 7,5 m, englobando uma faixa de rodagem com duas vias, uma em cada sentido com 3,75 m de largura, a que crescem duas bermas exteriores de 2,5 m de largura totalmente pavimentadas. Totalizando assim uma largura de plataforma medida entre limites exteriores das bermas pavimentadas de 12,5 m.

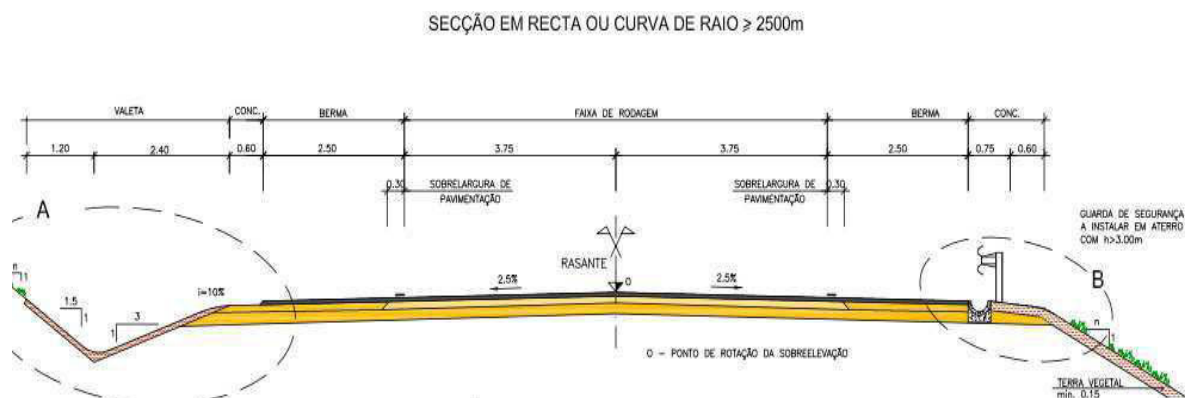


Figura 3 – Perfil Transversal Tipo – seção corrente [3]

Sempre que a inclinação dos trainéis tornar necessário, está prevista a introdução, no sentido ascendente, de uma via adicional para veículos lentos, sendo que esta via terá uma largura de 3,5 m, procedendo-se a uma redução da largura da berma adjacente para 1,5 m, o que conduz a uma largura da plataforma de 15 metros.

Na zona dos nós de ligação o PTT será alargado, correspondendo a um perfil de 2 x 1 via com duas faixas de rodagem de 4 m de largura com separador central rígido tipo de 0,6 m, bermas interiores de 1 m e bermas exteriores de 2,5 m, como se pode verificar na Figura 4 e observar com maior detalhe no Anexo D. Nestas zonas prevêm-se ainda vias adicionais de aceleração ou de abrandamento, associadas aos ramos unidireccionais do nó, de acordo com o preconizado na Norma de Intersecções da ex-JAE. Estas vias apresentam 3,5 m de largura, mantendo-se as bermas exteriores com 2,5 m de largura.

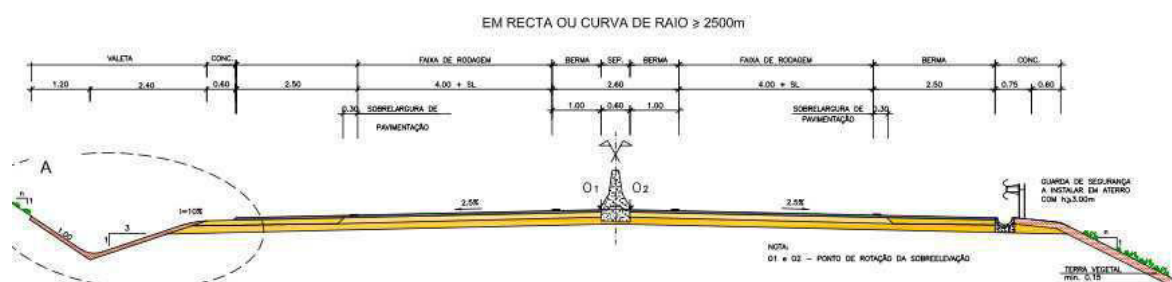


Figura 4 – Perfil Transversal Tipo – zona dos nós de ligação [3]



### 2.3 Restabelecimentos

Os cruzamentos de nível entre duas vias devem ser evitados, principalmente quando se cruzam Caminhos-de-Ferro, Itinerários Principais ou Itinerários Complementares sendo os mesmos interditos no caso das Autoestradas e de linhas ferroviárias novas.

Perante uma situação de conflito, é necessário restabelecer as vias intersectadas pelo (novo) traçado em estudo. A via intersectada designa-se por restabelecimento.

Numa PS o restabelecimento passa sobre a via principal, enquanto numa PI o restabelecimento passa sob a via principal. A hierarquia das vias é, por ordem decrescente: Caminhos-de-Ferro, Auto-Estradas, Itinerários Principais, Itinerários Complementares, Estradas Nacionais, Estradas Municipais e Caminhos Rurais.

“Para além dos nós de ligação, de modo a minimizar a perturbação decorrente da construção do IC8 com a conseqüente interrupção das vias existentes, foram considerados 20 restabelecimentos que garantem as acessibilidades pré-existentes. Complementarmente foram previstos um total de 25 serventias e caminhos paralelos que restabelecem a rede de caminhos agrícolas afetados pela passagem do IC8.” [2]



## 2.4 Movimentação de Terras

Relativamente à movimentação de terras, inicialmente previa-se um equilíbrio de terras.

No entanto, após alteração/otimização de projeto que consistiu na alteração de três viadutos para três PIE (Passagens Inferiores Especiais) e na alteração da drenagem longitudinal dos PTT das vias, verifica-se que o balanço global resulta num excesso de terras de cerca de 200.000 m<sup>3</sup> que será necessário conduzir a vazadouros.

Embora a alteração dos três viadutos para PIE tenha vindo a aumentar a quantidade de terras que era preciso para aterro, o aumento da largura da valeta dos PTT fez com que a porção de terras a escavar ao longo da extensão da obra fosse superior a esse valor, resultando assim num excesso de terras que não serão aproveitadas/utilizadas pela obra.

Assim, a movimentação de terras consiste em:

- 1.865.000 m<sup>3</sup> de terras de escavação, das quais 520.000 m<sup>3</sup> serão com recurso a explosivos;
- 1.668.000 m<sup>3</sup> de terras de aterro.

A diferença entre estes dois valores (197.000 m<sup>3</sup>) representa a quantidade de terras a transportar para vazadouro.



## 2.5 Obras de Arte

Tal como descrito anteriormente, a intervenção considera:

- 20 OAC;
- 2 OAE.

### 2.5.1 Obras de Arte Correntes

Obras de Arte Correntes (OAC) são, essencialmente, Passagens Superiores (PS) e Inferiores (PI) de pequeno porte e destinadas ao desnível de cruzamentos de vias (Restabelecimentos).

Na zona a intervencionar, das vinte OAC, dezanove são pré-fabricadas e apenas uma é betonada *in situ*. Em termos de tipologia destas OAC, tem-se a seguinte distribuição:

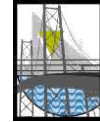
- 9 PS;
- 3 PI;
- 5 PA;
- 3 PIE.

As Passagens Agrícolas (PA) são OAC que se destinam principalmente a garantir a comunicação entre ambos os lados da plena via, servindo assim de ligação/continuidade de serventias ou caminhos de acesso agrícolas.

As Passagens Inferiores Especiais (PIE) são nada mais que PI que adquiriram esta denominação de PIE por terem vindo substituir viadutos que estavam, inicialmente, projetados para esse local.

Na fase do Estudo Prévio foi prevista a construção de mais 3 viadutos para além do que está formalizado (VRSG), no entanto o projeto foi otimizado e no lugar desses 3 viadutos foram projetadas 3 PIE que serão mais à frente caracterizadas.

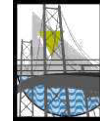
No Quadro IV apresenta-se o resumo das características principais de cada OAC.



Quadro IV - Características das OAC

| Identificação OAC | Localização (km plena via) | Processo Construtivo                          | Tipo de Obra (esquema) | Fundações (m)            | Altura (m) | Desenv. (m) |
|-------------------|----------------------------|---|------------------------|--------------------------|------------|-------------|
| PS 1              | 0+652.370                  | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(3.0x3.3x1.0) | 7.09       | 67.11       |
| PI 2              | 1+840.000                  | matière c/base                                |                        | -                        | 6.51       | 20.00       |
| PS 3              | 4+749.971                  | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(2.7x3.0x0.9) | 6.46       | 43.60       |
| PS 4              | 5+557.477                  | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(2.6x2.6x0.9) | 6.20       | 42.00       |
| PS 5              | 6+043.792                  | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(3.2x3.5x1.0) | 6.58       | 61.47       |
| PS 6              | 7+400.000                  | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(2.4x2.6x0.9) | 7.03       | 40.50       |
| PS 8              | 8+499.999                  | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(2.4x2.6x0.9) | 6.61       | 39.50       |
| PS 9              | 9+690.602                  | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(3.1x3.8x1.0) | 5.96       | 76.64       |
| PS 10             | 10+775.522                 | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(2.6x2.8x0.9) | 6.46       | 40.00       |
| PI 11             | 14+637.345                 | matière c/base                                |                        | -                        | 6.51       | 20.00       |
| PS 12             | 15+660.371                 | vigas pré-fabricadas                          |                        | sapatas<br>(2.9x3.3x1.0) | 5.74       | 47.60       |
| PI 13             | 16+082.564                 | betonagem "in situ"<br>com aux cimbre ao solo |                        | sapatas<br>(3.2x4.0x0.9) | 6.35       | 39.65       |
| PA 2              | 3+220.000                  | matière c/base                                |                        | -                        | 5.45       | 22.50       |
| PA 3              | 3+785.920                  | box-culvert                                   |                        | -                        | 5.00       | 36.00       |
| PA 5              | 12+656.296                 | box-culvert                                   |                        | -                        | 5.00       | 30.00       |
| PA 6              | 13+496.656                 | box-culvert                                   |                        | -                        | 5.00       | 32.00       |
| PA 7              | 0+616.937                  | box-culvert                                   |                        | -                        | 5.00       | 32.00       |
| PIE 1             | 6+486.024                  | matière c/lintel e<br>sapata exterior         |                        | -                        | 8.23       | 35.00       |
| PIE 2             | 8+072.831                  | matière c/lintel e<br>sapata exterior         |                        | -                        | 7.54       | 90.00       |
| PIE 3             | 9+141.970                  | matière c/lintel e<br>sapata exterior         |                        | -                        | 7.54       | 50.00       |

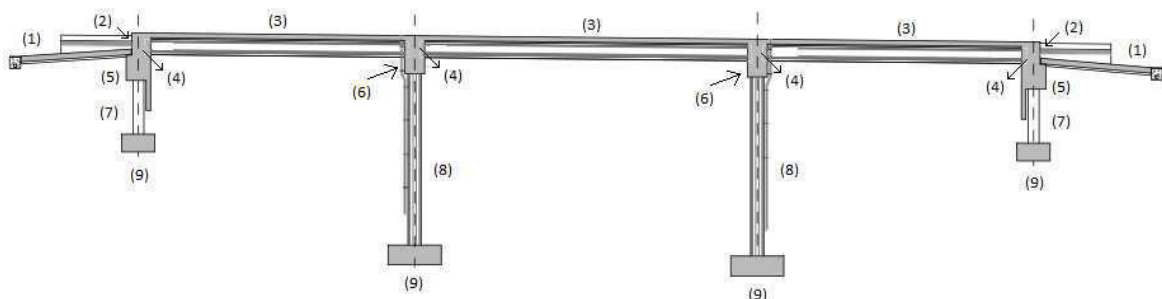
Nos anexos K, L, M, N, O e P apresentam-se caracterizações fotográficas das várias OA.



### 2.5.1.1 Passagens Superiores

As Passagens Superiores (PS) consistem em obras com um desenvolvimento modesto e cujo tabuleiro, regra geral é betonado numa única fase.

As soluções adotadas, conforme se pode observar na Figura 5, correspondem usualmente a um pórtico constituído por um tabuleiro ligado aos encontros (dois) e apoiado em dois alinhamentos de pilares, solução que foi utilizada para todas as PS.



- |                       |                   |             |
|-----------------------|-------------------|-------------|
| (1) Laje de transição | (4) Viga carlinga | (7) Gigante |
| (2) Muro Testa        | (5) Viga estribo  | (8) Pilar   |
| (3) Tabuleiro         | (6) Viga travessa | (9) Sapata  |

Figura 5 – PS – Solução geralmente adotada para as PS [13] – adaptado

- a) Encontros (Figura 6 e Figura 7) perdidos ou aparentes, com um ou vários gigantes, assentes em fundações diretas ou indiretas dependendo das exigências do solo de fundação naquela zona (betonagem *in situ*).



Figura 6 – PS – Encontros: gigantes (fustes)



Figura 7 – PS – Encontros: gigante tipo "batólito"



- b) Pilares de seção circular, assentes em fundações diretas (betonagem *in situ*).  
(Figura 8).



Figura 8 – PS – Pilares

- c) Tabuleiro composto por vigas (Figura 9) e pré-lajes (Figura 10) pré-fabricadas, onde posteriormente será betonada a “laje de compressão” (laje do tabuleiro - Figura 11).



Figura 9 – PS – Tabuleiro: colocação de vigas pré-fabricadas



Figura 10 – PS – Tabuleiro: colocação das pré-lajes



**Figura 11 – PS – Tabuleiro betonado**

A ligação dos pilares ao tabuleiro é variável, existindo OAC com ligações monolíticas e outras com aparelhos de apoio.

Os acabamentos, são transversais a quase todas as obras, e não serão motivo de análise no presente relatório.

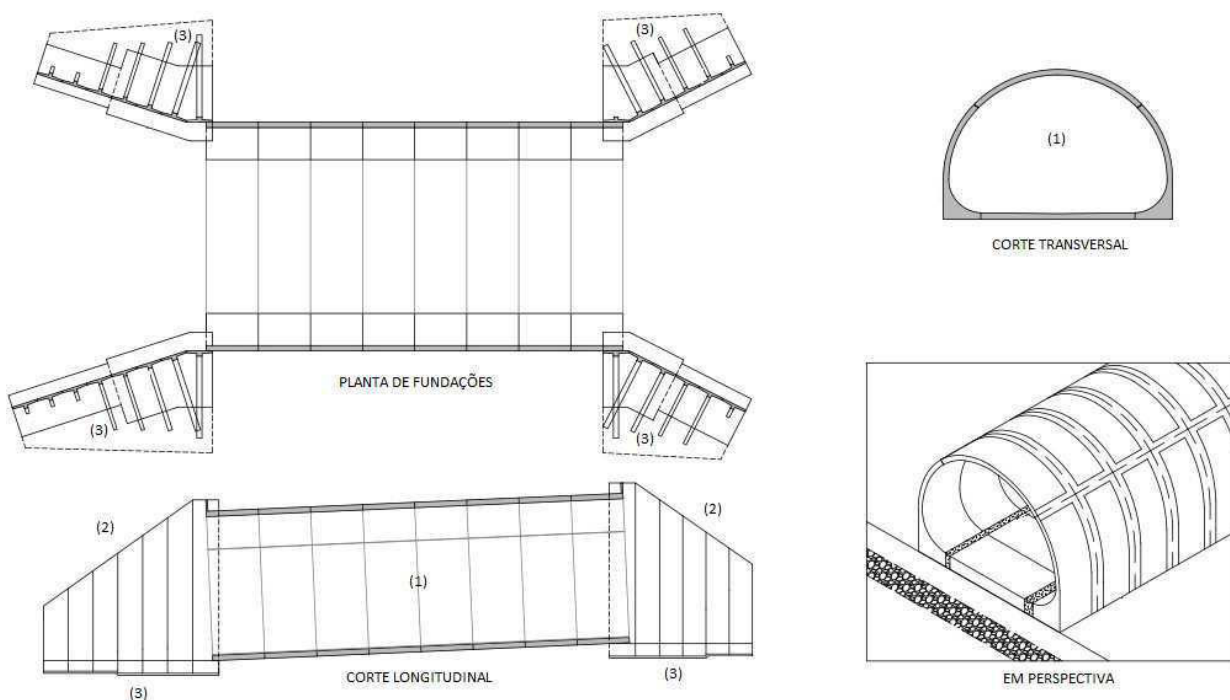


### 2.5.1.2 Passagens Inferiores

As Passagens Inferiores (PI) apresentam, normalmente, vãos pequenos.

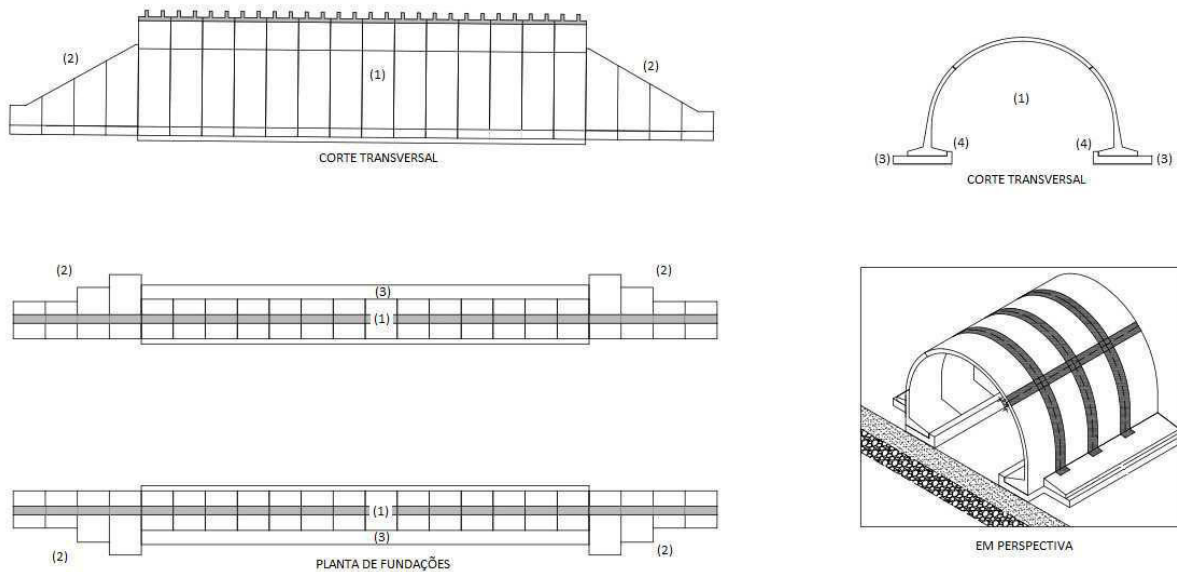
As soluções adotadas são geralmente simples e pré-fabricadas, sendo o recurso a *matières* com base (Figura 12) ou com lintel e sapata exterior (Figura 13) o mais utilizado nesta obra.

Estes pórticos pré-fabricados assentam, no caso das *matières* com base, diretamente sobre o solo (após o devido tratamento do mesmo, normalmente sobre uma camada bem compactada) ou sobre ensoleiramento geral, e, no caso das *matières* com lintel e sapata exterior, sobre as referidas sapatas “exteriores”.



- (1) *Matière* com base
- (2) Muro ala
- (3) Sapata muro ala

Figura 12 – PI – Nomenclatura geral das *matières* com base [13]



- |   |                     |
|---|---------------------|
| (1) <i>Matière</i> com lintel e sapata exterior | (3) Sapata exterior |
| (2) Muro ala                                    | (4) Lintel          |

Figura 13 – PI – Nomenclatura geral das *matières* com lintel e sapata exterior [13]

As estruturas tipo *matière* com base foram utilizadas na PI 2 e PI 11 e as estruturas tipo *matière* com lintel e sapata exterior na PIE 1, PIE 2 e PIE 3.

Após colocação dos elementos pré-fabricados (Figura 14), as *matières* são aterradas (Figura 15).



Figura 14 – PI – Colocação dos elementos pré-fabricados das *matières*



Figura 15 – PI – *Matière* finalizada e parcialmente aterrada

Caso de exceção é o da PI 13 que, tendo em conta a hierarquia das vias, é uma PI constituída por um tabuleiro ligado aos encontros e apoiado em dois alinhamentos de pilares.

Constata-se que a PI 13 é uma obra repleta de particularidades quer em geometria, quer nos processos construtivos que a distinguem das restantes OAC, devendo-se esta situação no essencial ao facto de esta obra integrar a reformulação dos ramos que asseguram a saída e a entrada entre a A23 e o IC8 nos sentidos A23 (norte) – Proença-a-Nova e Proença-a-Nova – A23 (sul).

No que se refere à geometria do tabuleiro, para além de apresentar uma largura variável, tem igualmente a particularidade de apresentar viés, uma inclinação “lateral” e um desnível entre os ramos de ligação (Figura 16 e Figura 17).

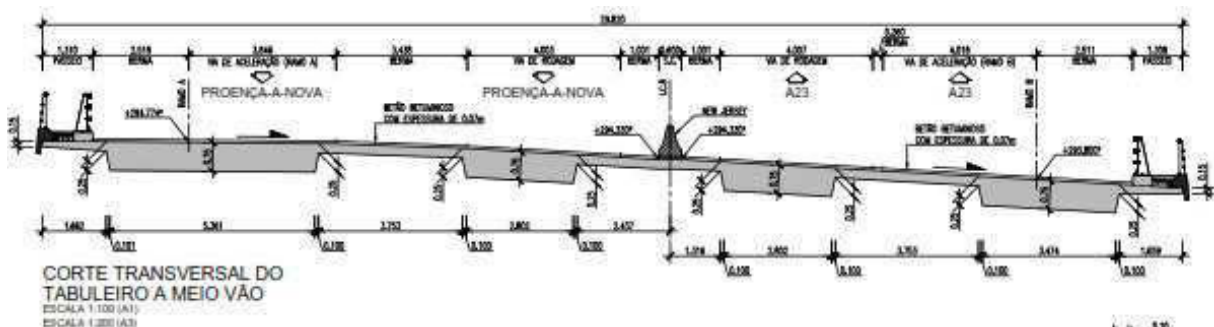


Figura 16 – PI 13 – Corte transversal do tabuleiro a meio vão. [14]

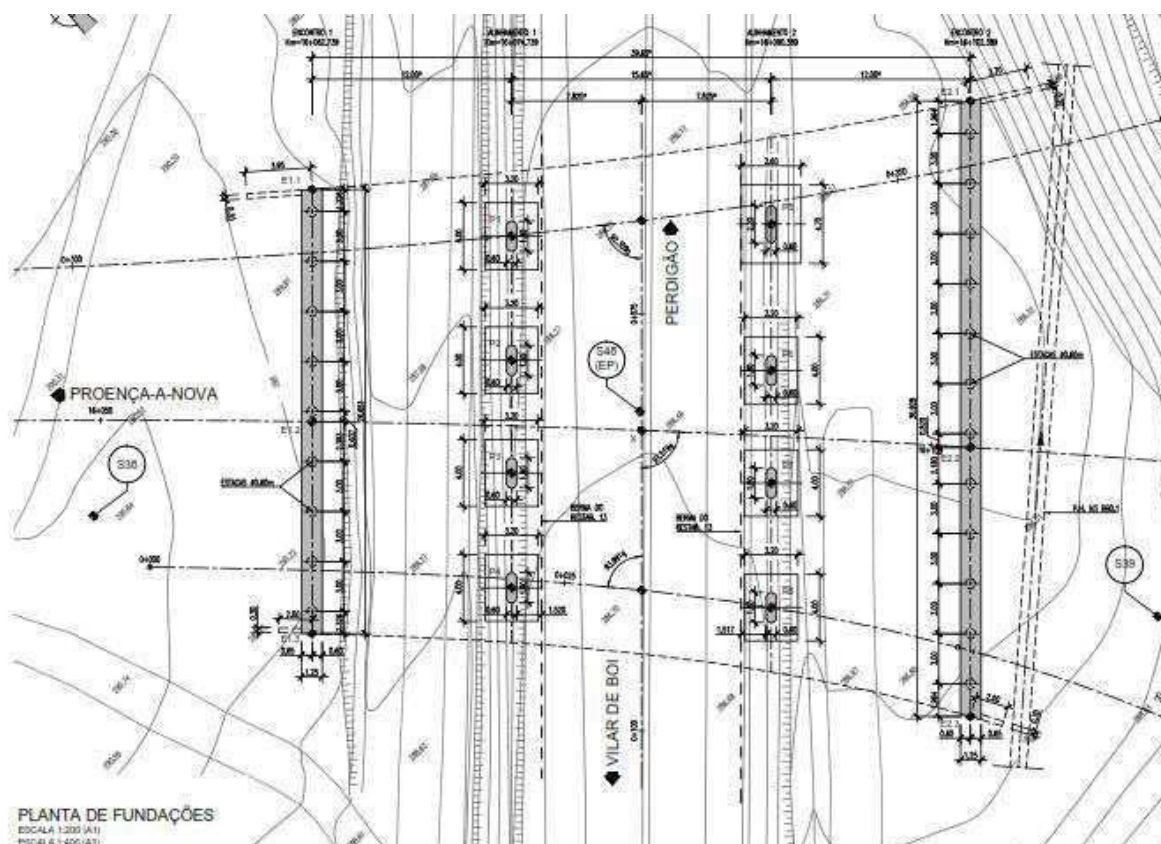


Figura 17 – PI 13 – Planta de fundações [14]

De acordo com estudos realizados, nomeadamente o Relatório Geológico e Geotécnico relativo à zona de implantação da OA, as fundações devem ser diretas nos apoios dos alinhamentos dos pilares, e indiretas nos encontros (estacas com diâmetro  $\phi 600$  mm, afastadas 3 m ao eixo, o que perfaz nove estacas no encontro 1 e outras doze estacas no encontro 2), garantindo assim um processo construtivo mais seguro.

Esta PI é constituída por uma solução em betão armado, em laje nervurada, *in situ* sendo que em termos de modelação de vãos, apresenta três vãos de  $12,00 + 15,65 + 12,00$  m.

Transversalmente a obra é constituída por quatro alinhamentos de nervuras, em betão armado, sendo que dada a geometria da obra em planta, as nervuras de extremidade apresentam largura variável. As nervuras internas têm largura constante, permitindo assim manter fixos os vãos transversais das lajes entre nervuras.

Os encontros recebem as cargas do tabuleiro através de aparelhos de apoio deslizantes.

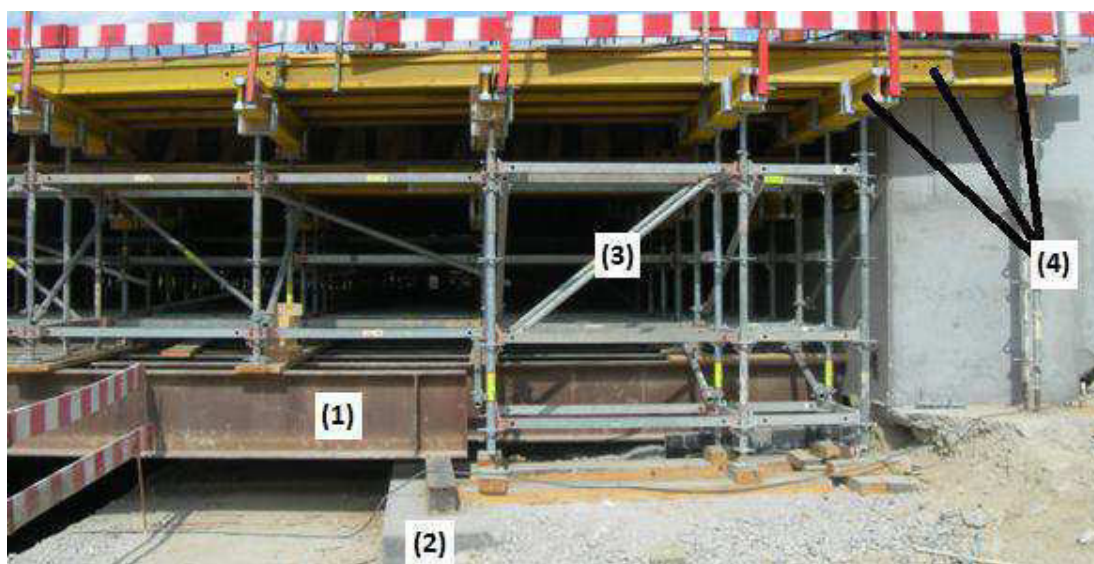


A obra possui quatro pilares por alinhamento de apoio, em forma retangular arredondada. A ligação entre os pilares e o tabuleiro é monolítica, não sendo necessária qualquer carlinga no alinhamento dos pilares. Os pilares estão centrados com as nervuras do tabuleiro, existindo assim dois alinhamentos de pilares.

Quanto ao processo construtivo adotado, esta obra em muito se assemelha às PS já referidas anteriormente, com exceção da execução do tabuleiro.

O tabuleiro é betonado *in situ* e a sua cofragem é constituída por contraplacado com 21 mm, vigas secundárias que apoiam em vigas duplas primárias que por sua vez apoiam nos cabeçais do sistema de cimbra ao solo, como demonstrado na Figura 18.

Devido às rigorosas características da zona de implantação desta obra, recorreu-se à utilização de salva-taludes (Figura 19). A solução, composta por torres de escoramento assentes sobre perfis metálicos colocados sobre os mesmos ou sobre maciços de betão, permite vencer as dificuldades apresentadas pela topografia do terreno e pela geologia do solo.



- |                     |  |
|---------------------|--|
| (1) Salva-taludes   | (3) Cimbra   |
| (2) Maciço de betão | (4) Cofragem: contraplacado, viga secundária e viga dupla primária |

**Figura 18 – PI 13 – Esquematização do sistema de cimbra ao solo e salva-taludes**



**Figura 19 – PI 13 – Cimbra ao solo e recurso a salva-taludes**

A via rodoviária que passa sob a PI 13 manteve-se em funcionamento e só em raras situações foi interrompida e desviado o respetivo trânsito.

Nesse vão, os cimbres da cofragem do tabuleiro foram apoiados em perfis metálicos (Figura 20), dispensando assim o cimbra ao solo entre os dois alinhamentos dos pilares, o que permitiu a normal utilização da via.



**Figura 20 – PI 13 – Colocação dos perfis de apoio à cofragem sobre a via rodoviária**

A interrupção da via e o desvio de tráfego apenas foi necessário aquando da colocação dos referidos perfis e cofragem dessa zona, durante a betonagem do tabuleiro (por uma questão de segurança preventiva) e quando foi necessário baixar e remover a cofragem e os perfis de suporte da mesma.



Após cofragem do tabuleiro, procedeu-se à sua armação, limpeza e posterior betonagem, como se ilustra na Figura 21, Figura 22 e Figura 23.



**Figura 21 – PI 13 – Vista Geral do cimbreiro ao solo**



**Figura 22 – PI 13 – Colocação da armadura do tabuleiro**



**Figura 23 – PI 13 – Limpeza do tabuleiro (armaduras e cofragem), antes da betonagem**



Para betonar um elemento desta dimensão (cerca de 650 m<sup>3</sup>) numa única fase e com os condicionamentos já anteriormente referidos (tráfego na via sob a OA), recorreu-se a duas auto-betoneiras e duas gruas de apoio à lança das auto-betoneiras (Figura 24). Assim, e iniciando a betonagem por volta das 5h00 da madrugada (por forma a causar o mínimo transtorno na via que teve de ser interrompida e desviado o trânsito), conseguiu-se betonar o elemento por completo até, sensivelmente, às 18h30, altura em que foi possível reabrir o tráfego rodoviário.



**Figura 24 – PI 13 – Betonagem do tabuleiro**

Após betonagem do tabuleiro, procedeu-se à inversão de algumas atividades que haviam sido feitas, isto é: baixar cofragem e retirar os perfis de apoio à cofragem entre os dois alinhamentos de pilares (Figura 25).



**Figura 25 – PI 13 – Baixar cofragem e perfis de apoio à cofragem**

Estruturalmente a OA fica assim construída (Figura 26), seguindo-se os acabamentos que não são motivo de análise e estudo deste relatório.

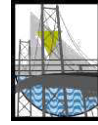


Figura 26 – PI 13 – Vista geral

### 2.5.1.3 Passagens agrícolas

As Passagens Agrícolas (PA), à semelhança das PI, apresentam, normalmente, vãos pequenos e as soluções adotadas costumam ser semelhantes ou até as mesmas.

Nesta obra recorreu-se a estruturas tipo *matière* com base e *box-culvert*. As estruturas tipo *matière* com base são as mesmas que as usadas nas PI.

As estruturas tipo *box-culvert* (Figura 27 e Figura 28) são estruturas semelhantes às *matières* mas com seção transversal quadrática.



Figura 27 – PA – Montagem / colocação das *box-culvert*

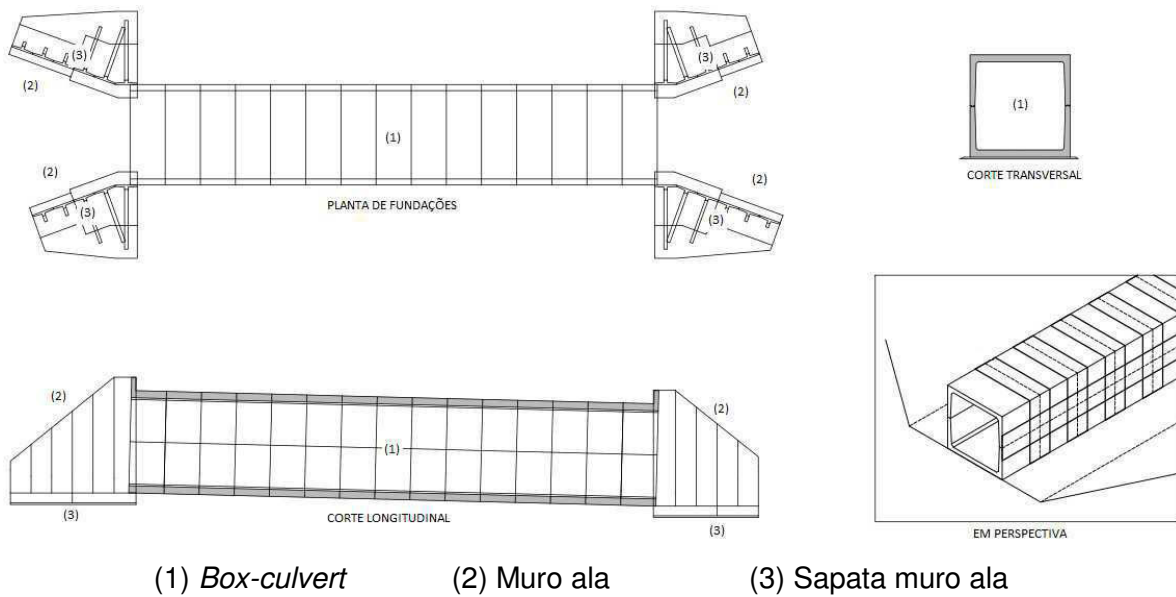


Figura 28 – PA – Nomenclatura geral das *box-culvert* [13]

A colocação dos módulos pré-fabricados das *box-culvert* e o posterior aterro (Figura 29) desenvolve-se do mesmo modo que as *matières*.



Figura 29 – PA – *Box-culvert* já montada e aterrada

## 2.5.2 Obras de Arte Especiais

Usualmente, as pontes e os viadutos são chamadas de OAE.

“Uma estrutura é chamada de Ponte, quando ela é constituída com a finalidade de vencer obstáculos como um rio ou um braço de mar (...) constituindo um elemento de um sistema viário.” [4]



Denomina-se Viaduto quando o obstáculo a transpor é um vale ou outra via.

A composição estrutural de uma OAE divide-se em:

- Infraestrutura;
- Mesoestrutura;
- Superestrutura.

É usual considerar que as fundações de uma OAE, que têm a sua definição a partir do tipo de solo sobre o qual estão apoiadas, constituem a infraestrutura. Esta é constituída por blocos de estacas, sapatas, etc.

A mesoestrutura de uma OAE basicamente é composta pelos pilares, bem como pelos blocos apoiados no solo nas extremidades do tabuleiro (encontros). Dependendo da composição estrutural da obra, podem fazer parte da mesoestrutura as vigas travessa, que ficam apoiadas sobre os pilares, e as vigas estribo, que ficam apoiadas nos encontros.

A superestrutura da OAE é representada pelos componentes que formam o tabuleiro, sendo este considerado como área útil da ponte ou viaduto.

Nesta obra existem duas OAE:

- Viaduto da Ribeira de S. Gens (VRSG);
- Ponte sobre o Rio Ocreza (PROC).

Apresenta-se no Quadro V, o resumo das características principais de cada OAE.

**Quadro V - Características das OAE**

| Identificação OAE | PK inicial | PK final | Largura tabuleiro | Comprimento tabuleiro (m) | Vão máximo (m) | Altura máxima ao solo (m) | Processo Construtivo                                       | Tipo de Obra (esquema) |
|-------------------|------------|----------|-------------------|---------------------------|----------------|---------------------------|--|------------------------|
| VRSG              | 2+392      | 2+576    | 15.42             | 184                       | 28             | 13.72                     | vigas pré-fabricadas                                       |                        |
| PROC              | 11+850     | 12+270   | 15.30             | 420                       | 190            | 98                        | pilares - cofragem deslizante tabuleiro - carros de avanço |                        |



### 2.5.2.1 Viaduto da Ribeira de S. Gens

A execução do VRSG advém da necessidade de transpor o vale onde se insere a Ribeira de S. Gens, sendo a máxima altura entre a rasante e o solo de, aproximadamente, 14 m.

Em termos de traçado, esta obra desenvolve-se, em planta, segundo um alinhamento reto e, em perfil longitudinal, insere-se numa curva côncava de raio 7000 m.

Com uma estrutura única, este viaduto contém uma faixa de rodagem com dois sentidos.

O perfil transversal na zona da obra considera:

- Uma via com 3,75 m em cada sentido;
- Duas bermas direitas com 2,50 m;
- Dois passadiços direitos com 1,30 m de largura (largura útil de 0,65 m), até à extremidade.

A solução construtiva adotada para a execução desta obra traduz-se na utilização de vigas pré-fabricadas de betão armado pré-esforçado, de modo a evitar a utilização de cimbres ao solo e a minimizar os impactos ambientais durante a construção.

A escolha das vigas “I” resultou das dificuldades de acesso na zona, procurando-se assim adotar elementos leves que facilitem o transporte e elevação. Este facto, aliado á tipologia da seção transversal, conduziu a que o tabuleiro seja constituído por sete tramos (Figura 30) com 22 m + 28 m x 5 + 22 m, o que perfaz um comprimento total de 184 m.

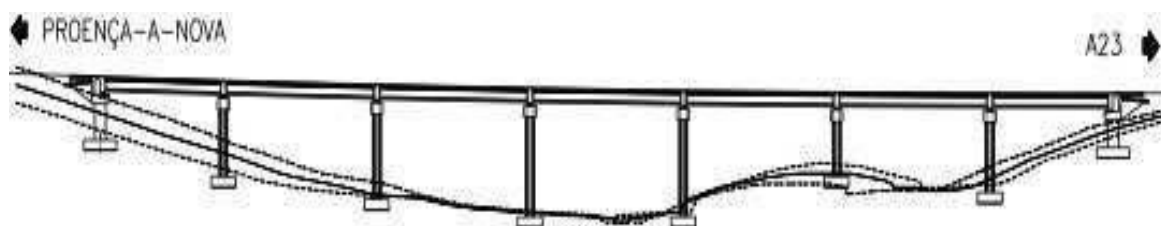


Figura 30 – VRSG - Corte Longitudinal, pelo eixo do tabuleiro [9]



Ambos os encontros da obra são do tipo perdido e fundados diretamente através de sapatas de geometria desnivelada (Figura 31), para reduzir o volume de escavação em terrenos de boa qualidade.

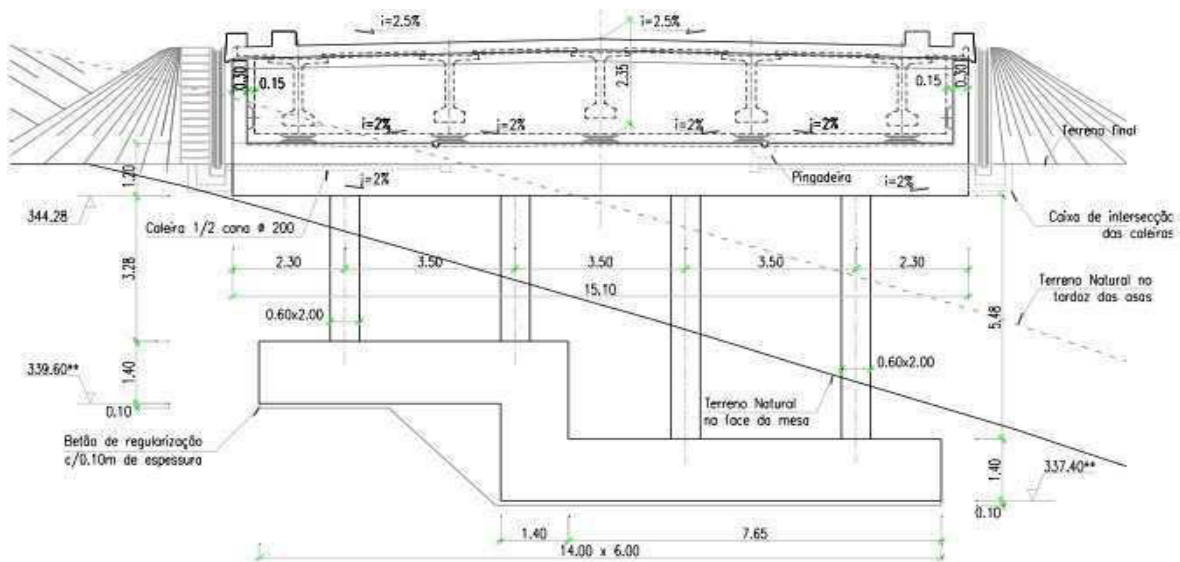


Figura 31 – VRSG - Alçado frontal do encontro esquerdo [9]

Os encontros são visitáveis (Figura 32) para facilitar a manutenção dos batentes e dos aparelhos de apoio.

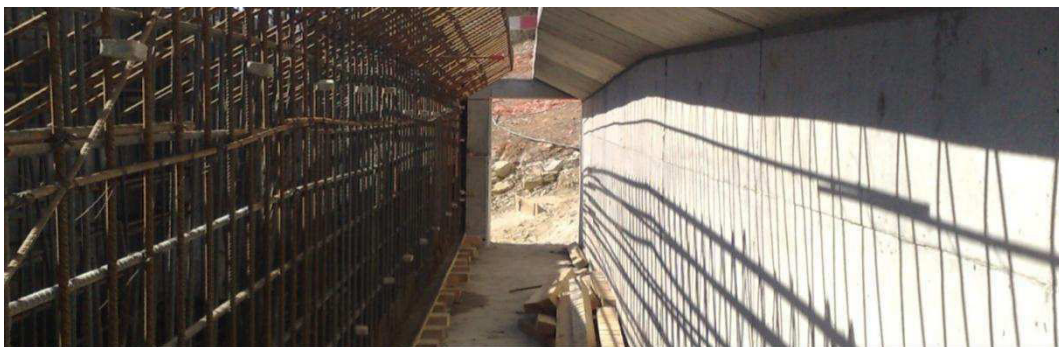


Figura 32 – VRSG – Encontro visitável, vista interior

Os apoios intermédios são materializados por pilares com seção circular constante em altura e fundados diretamente por sapatas. Existem seis alinhamentos de pilares, cada um constituído por dois pilares (Figura 33).



**Figura 33 – VRSG – Pilares**

A ligação entre tabuleiro e os pilares é feita através de aparelhos de apoio do tipo pot (móveis e fixos). No topo dos pilares existem vigas travessa (Figura 34) para “acomodar” o tabuleiro.



**Figura 34 – VRSG – Viga travessa**

Tendo em consideração as condicionantes rodoviárias, a seção transversal do tabuleiro, de largura total de plataforma de 15,10 m, consiste numa laje vigada composta por cinco vigas pré-fabricadas, tal como mostra a Figura 35. As vigas do tabuleiro são de seção constante ao longo de toda a sua extensão.

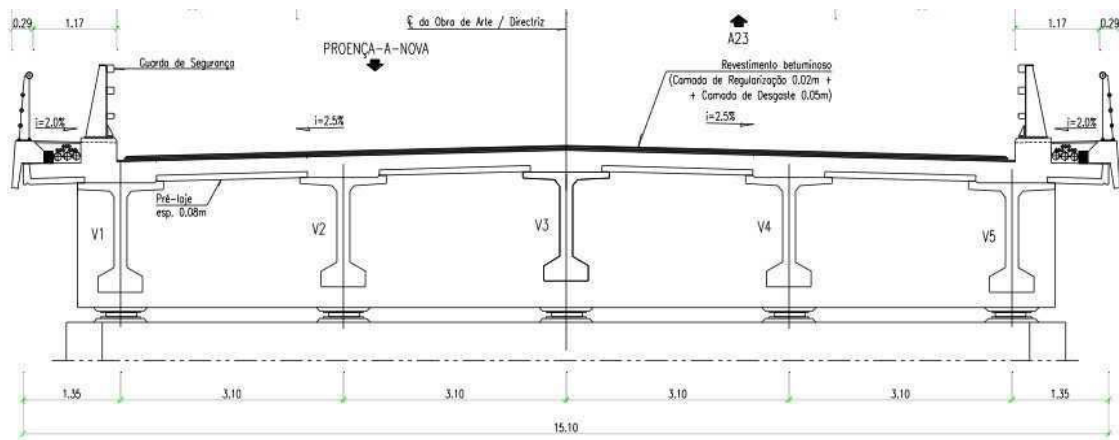
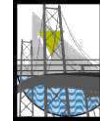


Figura 35 – VRSG – Perfil transversal tipo do tabuleiro [9]

A laje do tabuleiro é executada com recurso a pré-lajes treliçadas colaborantes assentes nas vigas pré-fabricadas, já mencionadas (Figura 36).



(1) Pré-lajes

(2) Vigas pré-fabricadas

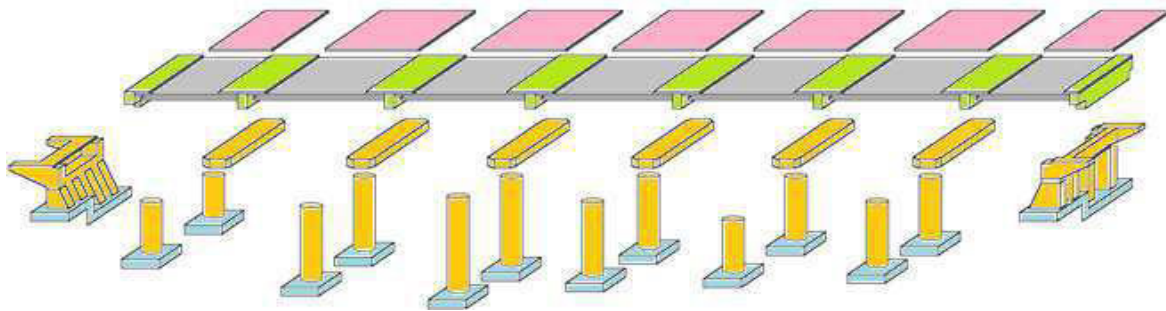
Figura 36 – VRSG – Pormenor pré-lajes e vigas pré-fabricadas






Em síntese, o VRSG é um viaduto que em muito se assemelha às PS construídas nesta obra, mas com dimensões muito superiores e que contempla:

- Encontros do tipo perdidos, com quatro gigantes cada, assentes em fundações diretas desniveladas (betonagem *in situ*);
- Pilares de secção circular, seis alinhamentos com dois pilares cada, assentes em fundações diretas (betonagem *in situ*);
- Tabuleiro composto por vigas tipo “I” e pré-lajes colaborantes, pré-fabricadas, onde posteriormente será betonada a “laje de compressão”.



O Faseamento Construtivo assume algum destaque, sendo que o mesmo assenta nas seguintes etapas, conforme se ilustra na Figura 37.



-  1ª Fase – execução das sapatas de fundação
-  2ª Fase – execução dos encontros e pilares
-  3ª Fase – colocação das vigas pré-fabricadas e das pré-lajes sobre as vigas
-  4ª Fase – betonagem das carlingas e posteriormente da laje do tabuleiro na zona sobre a carlinga
-  5ª Fase – betonagem da restante extensão da laje do tabuleiro

**Figura 37 – VRSB – Faseamento construtivo**

Após concluída a 5ª fase, o VRSB fica com a aparência que se pode observar na Figura 38, ficando a faltar a execução dos acabamentos e a colocação da camada betuminosa.



**Figura 38 – VRSB – Vista geral**

### 2.5.2.2 Ponte sobre o Rio Ocreza

A Ponte sobre o Rio Ocreza (PROC) será objeto de uma análise detalhada no capítulo seguinte.



## 2.6 Materiais e Equipamentos

Para além dos equipamentos descritos anteriormente, foram também utilizados os seguintes:

- Aparelhos de Apoio: Os aparelhos de apoio são elementos fundamentais à movimentação natural existente em algumas estruturas. São necessários para atender às condições de estabilidade e movimentação previstas em projetos ao longo da vida útil das estruturas. Os aparelhos de apoio a utilizar nos encontros desta obra são do tipo "Pot" móveis com guiamento (Figura 39).



Figura 39 – Aparelhos de Apoio.

- Batentes: Os batentes são limitadores de curso. A sua função básica é a de proteger peças de choques entre elas. Nesta obra são instalados batentes em neoprene nos encontros para proteção contra o embate do tabuleiro.
- Juntas de dilatação: As juntas de dilatação podem ser definidas como sendo uma separação entre duas partes de uma estrutura para que estas partes possam movimentar-se, uma em relação à outra, sem que haja qualquer transmissão de esforço entre elas. Permitem o movimento longitudinal entre o tabuleiro e os encontros. Em obra, as juntas de dilatação usadas são em neoprene.
- Guardas de Segurança rodoviárias para embate de veículos e guarda-corpos metálicos (Figura 40):



“Sob a óptica do engenheiro rodoviário, uma guarda de segurança previne que um veículo saia da plataforma e que atinja um objecto fixo ou um terreno que seja considerado mais perigoso que a própria barreira.” [16]

Do mesmo modo, pode-se considerar que um guarda-corpos previne que um indivíduo saia do passeio e que atinja um objeto fixo ou um terreno que seja considerado perigoso. De um modo geral, os guarda-corpos são utilizados em passagens superiores e previnem o risco de queda para fora da OA. A preocupação com a leveza e a beleza das estruturas faz com que seja frequente que a proteção oferecida seja mais psicológica do que real.



a) guarda de segurança rodoviária;

b) guarda-corpos

**Figura 40 – Guarda de segurança e guarda-corpos**

- Vigas de bordadura (ou cornijas) pré-fabricadas de betão;
- Sumidouros com tubos de descarga;
- Caixas para passagem de cabos nos encontros e ao longo do tabuleiro.



Embora possa ser considerado um excesso de prevenção, o planeamento de atividades assente num sistema de redundância ou na reserva de “recursos físicos” já provou, nesta obra, ser uma mais-valia aquando da ocorrência das falhas pela parte dos subempreiteiros ou aquando da falha técnica dos equipamentos. Como exemplos, tem-se:

- “Materiais em stock” acomodados no armazém do estaleiro a que se teve de recorrer para remediar falhas de subempreiteiros;
- Caso específico da atividade dos pilares da PROC (desenvolvimento em altura - cofragem deslizante - trabalho desenvolvido 24 sobre 24 horas) em que se contratou uma equipa de assistência técnica para a grua, para que caso esta tivesse alguma avaria, o que se sucedeu, durante o período de apoio aos trabalhos de deslize, houvesse maneira de solucionar o problema de imediato e sem grande interferência/atraso nos trabalhos;
- Gerador extra na(s) plataforma(s) de trabalho dos pilares da PROC para eventual reforço ou substituição do equipamento em uso, sem que com isso afetasse os trabalhos a decorrer, nesta atividade considerada crítica;
- Balde de betonagem de reserva nas imediações da(s) plataforma(s) de trabalho dos pilares da PROC sempre que ocorria uma betonagem de aduela(s). Este sistema de redundância, infelizmente, foi usado algumas vezes por motivo de avaria do sistema de elevação do betão para o topo dos pilares e conseqüentemente para a(s) aduela(s) a betonar. Assim, enquanto se fazia a devida reparação à bomba de betão ou ao sistema de tubagens para elevação, a betonagem em causa procedia com recurso ao balde de betonagem auxiliado pela grua (nas primeiras aduelas, enquanto a grua conseguia alcançar o local a betonar).



## 2.7 Elementos pré-fabricados

Nas Passagens Superiores as fundações, encontros e pilares são moldados e betonados *in situ*, enquanto toda a estrutura referente ao tabuleiro é executada com vigas e pré-lajes pré-fabricadas e pré-esforçadas. O processo construtivo das Passagens Inferiores e das Passagens Agrícolas são semelhantes, tratando-se de estruturas tipo *matières* ou *box-culvert* pré-fabricadas, resultando a sua construção na montagem destas estruturas peça-a-peça e posterior aterro. Caso de exceção é o da PI 13 que, de entre todas as Obras de Arte Correntes, é a única que é executada toda ela pelo método construtivo tradicional – moldagem e betonagem *in situ*.

O facto de se ter recorrido a elementos pré-fabricados e das OAC terem quase todas os mesmos processos construtivos simplificou o planeamento de trabalhos e tornou a sua conclusão menos demorada. No caso particular da PI 13, isso não foi possível devido a esta obra integrar a reformulação dos ramos que asseguram a saída e a entrada entre a A23 e o IC8, sendo estes condicionados ao traçado geométrico atual já lá existente, e às características geométricas da própria obra (apresenta uma largura variável, em viés, com uma inclinação “lateral” e um desnível entre os ramos de ligação).





### **3. CASO EM ESTUDO: PONTE SOBRE O RIO OCREZA**

#### **3.1 Enquadramento**

A construção de pontes e viadutos pode ser realizada de diversas formas, em função do tipo de solução preconizada em projeto.

Podem ser usados carros de avanços em aduelas sucessivas, vigas de lançamento, cimbres ao solo, elementos pré-fabricados, entre outros métodos.

“O método construtivo adotado para a execução de uma ponte será influenciado por diversos fatores, como: o comprimento da obra; a altura do escoramento; regime e profundidade do rio; a velocidade do rio; a capacidade de suporte do terreno de fundação, que definirá o custo financeiro da infraestrutura; disponibilidade de equipamento da empresa que executará o projeto; o cronograma físico da obra; além da economia.” [5]

Devido à elevada altura a que se desenvolve a rasante na zona central da ponte (cerca de 98 m), a solução construtiva preconizada no projeto é uma solução com tabuleiro construído por avanços sucessivos em consolas simétricas.

Para os dois pilares, de configuração idêntica, optou-se por uma solução em que a cofragem é deslizante.

Para a infraestrutura, apresentam-se soluções de fundações diretas.

#### **3.2 Caracterização**

A PROC localiza-se no lanço do IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23), Lote 7, atualmente em construção, desenvolvendo-se entre o km 11+850.000 e o km 12+270.000.

As encostas do vale onde se implanta a ponte apresentam uma pendente muito acentuada. A ponte desenvolve-se a uma altura da ordem dos 98 m do leito do Rio Ocreza, possui uma largura de 15,30 m e um desenvolvimento de 420 m, com modelação de vãos 110 m + 190 m + 120 m.



A diretriz do traçado é um alinhamento reto (Figura 41) e o perfil longitudinal é uma curva côncava de 5500 m de raio (Figura 42).



Figura 41 – PROC – Traçado em Planta [8]

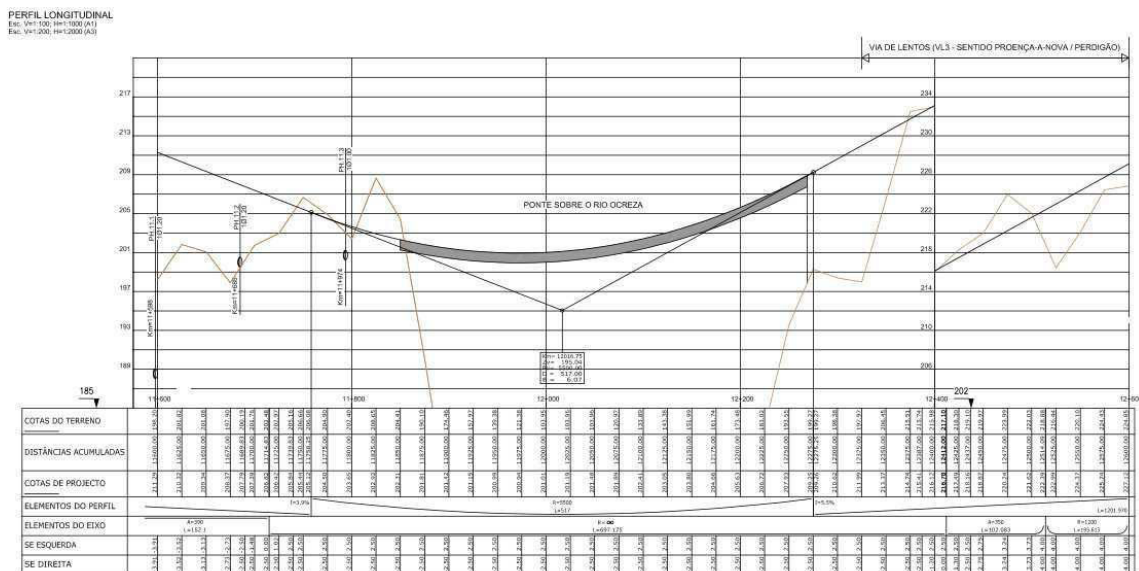
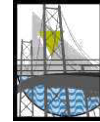


Figura 42 – PROC – Perfil Longitudinal [8]

A infraestrutura (fundação) é composta por sapatas de betão armado, sendo a mesoestrutura formada por dois pilares e dois encontros. Os pilares são iguais nas dimensões, variando apenas a altura. Os encontros são do tipo perdidos, um com cinco gigantes e outro com uma estrutura única, correntemente denominada em obra por “batólito”.

A superestrutura é formada por aduelas do tipo caixão, betonadas *in situ*, sendo adotado como método executivo o sistema de carros de avanços sucessivos.

No Quadro VI, apresenta-se as características gerais desta OA



Quadro VI – PROC - Características Gerais [11] – adaptado

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Seção em viga caixa         |  |
| Nº de vãos                  | 3  |
| Comprimento dos vãos (m)    | 110 + 190 + 120  |
| Ligação ao pilar            | Monolítica   |
| Alturas dos pilares (m)     | 63,50 e 44,50  |
| Nº de aduelas de avanço     | 22   |
| Comprimento das aduelas (m) | Aduela 0 = 9,00<br>Aduela 1 e 2 = 3,35<br>Aduela 3 a 8 = 3,50<br>Aduela 9 a 17 = 4,00<br>Aduela 18 a 22 = 5,00 |

Na Figura 43 apresenta-se o corte longitudinal desta OA.

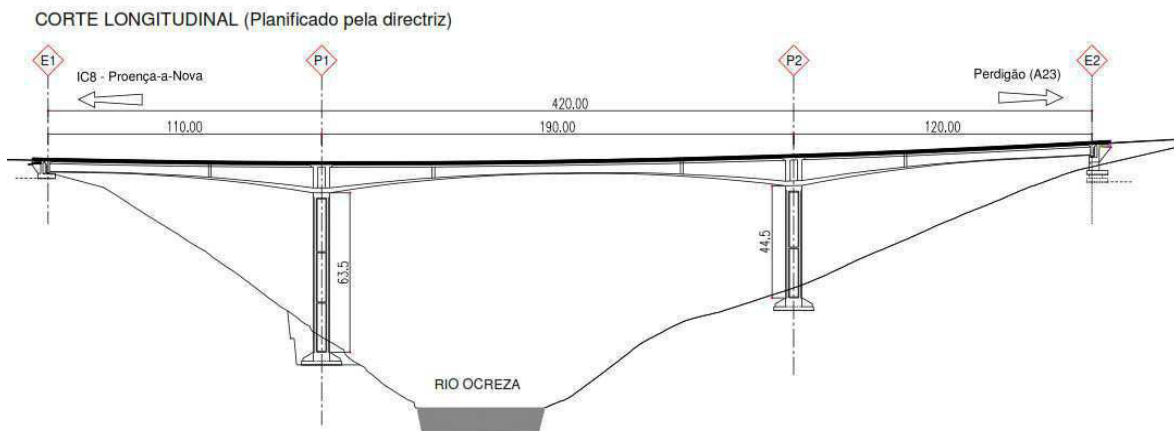
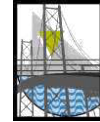


Figura 43 – PROC – Corte Longitudinal de toda a OA, pela directriz [8]



### 3.3 Processos Construtivos

Na construção dos encontros e sapatas os processos construtivos utilizados foram os correntes, em obras de arte.

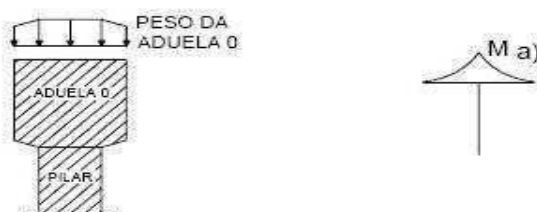
Para os pilares, utilizou-se cofragem deslizante, que, face à sua altura, se considera apropriado, tornando mais rápida a sua execução.

A construção do tabuleiro será realizada pelo método dos avanços sucessivos.

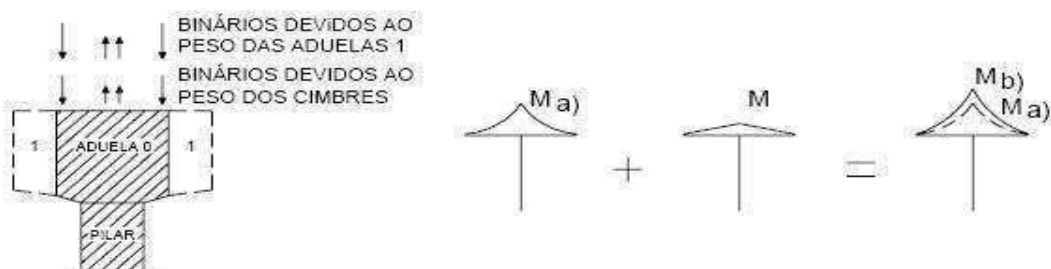
O comprimento estabelecido para os vãos laterais e central da obra permite ainda minimizar a adoção de cimbra ao solo durante a execução do tabuleiro. Do lado Poente (encontro E1) está prevista a utilização de cimbra ao solo em 11,80 m de desenvolvimento, e no lado Nascente (encontro E2) em 21,80 m.

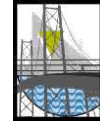
O faseamento construtivo adotado, pretende limitar o diferencial de momentos fletores entre os vãos laterais e o vão central (como demonstrado na Figura 44), em resultado da ligação monolítica e, conseqüentemente, da rigidez do pilar.

a ) Entrada em carga da aduela nº 0

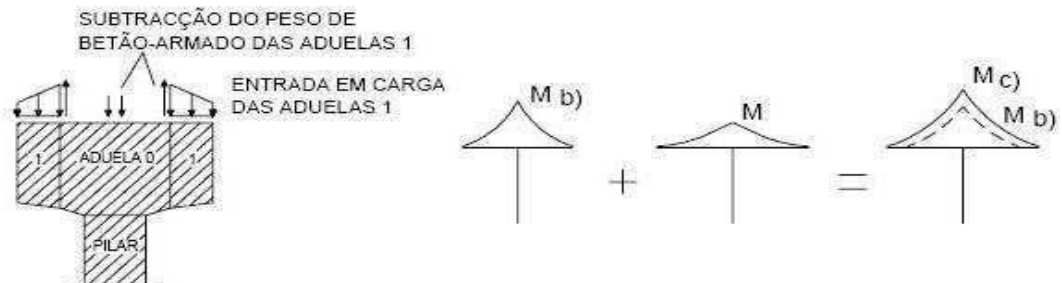


b ) Colocação do cimbra na aduela 0 e betonagem das aduelas 1





c) Entrada em cargas das aduelas 1



d) Avanço dos cimbrês para a aduela 1 e betonagem das aduelas 2

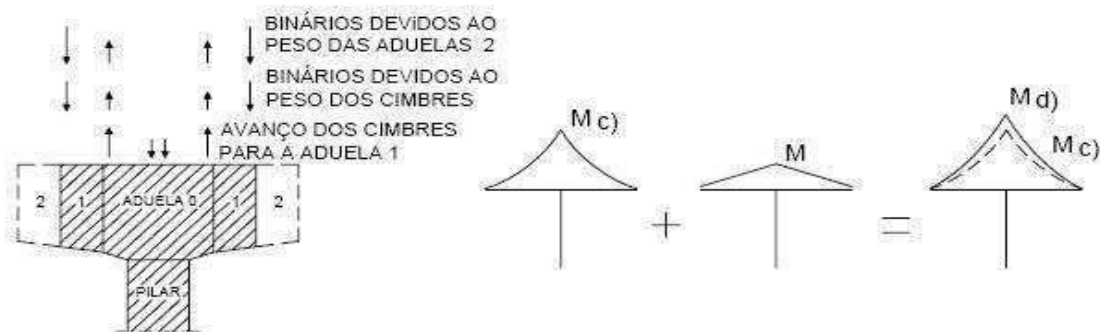


Figura 44 – PROC – Modelos Globais de Tabuleiro Construído em Consolas por Avanços Sucessivos: Diagrama de Momentos Fletores [15]

Na fase construtiva do tabuleiro, ainda que a estrutura seja executada a partir de cada um dos pilares em “T”, previu-se a utilização de um sistema de equilíbrio exterior, concretizado através de cabos de pré-esforço vertical.

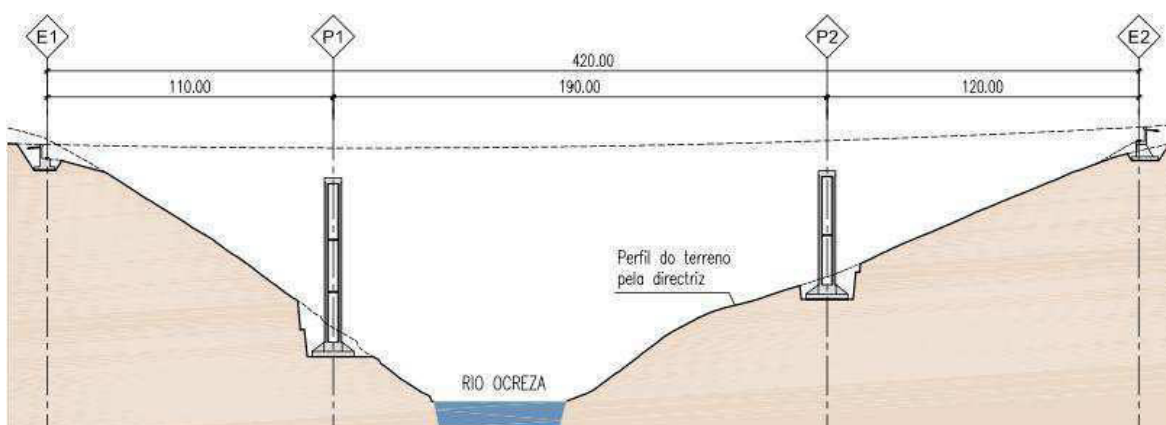
Assim, a estabilidade global da estrutura, é garantida por este sistema exterior de pré-esforço e através da sapata, cujas dimensões garantem a estabilização estrutural ao derrubamento, durante a fase construtiva. Para aumentar o nível de segurança ao derrubamento, encheu-se totalmente a sapata com o aterro proveniente da própria escavação.



Para esta solução, a PROC é realizada de acordo com o seguinte faseamento construtivo:

**Fase 1** (Figura 45):

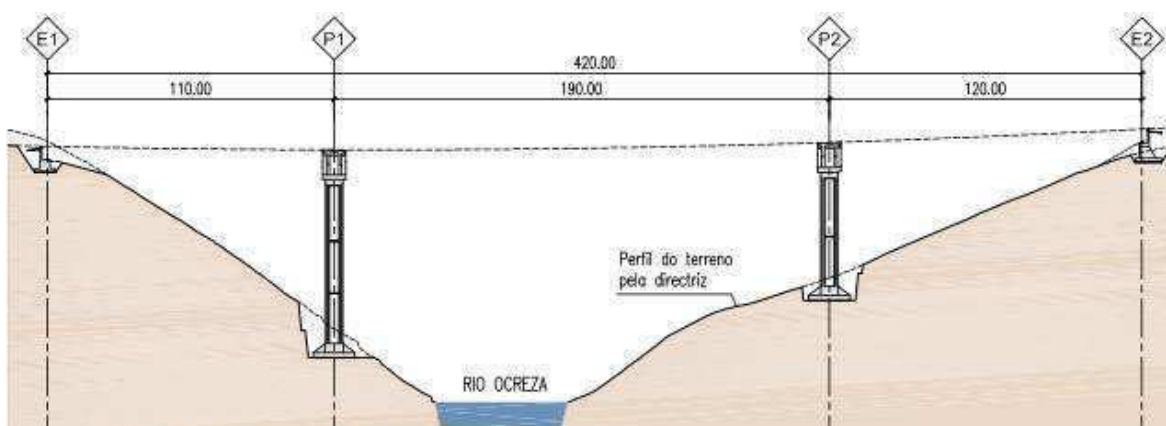
- Realização da escavação e construção das sapatas e dos encontros;
- Execução dos pilares (P1 e P2).



**Figura 45 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 1 [8]**

**Fase 2** (Figura 46):

- Execução das aduelas zero (aduelas de arranque) do tabuleiro.



**Figura 46 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 2 [8]**

**Fase 3** (Figura 47 e Figura 48):

- Montagem dos carros para início da betonagem das aduelas 1.

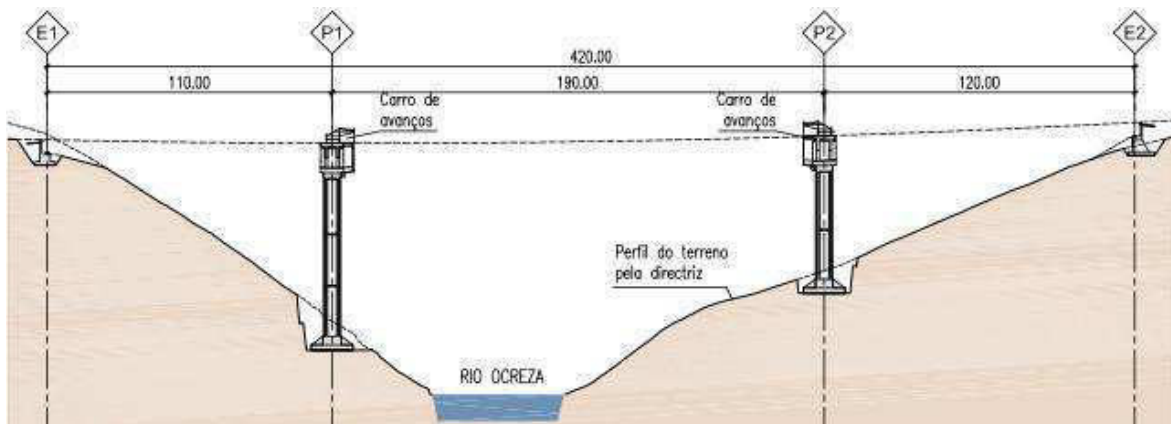
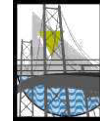


Figura 47 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 3 [8]

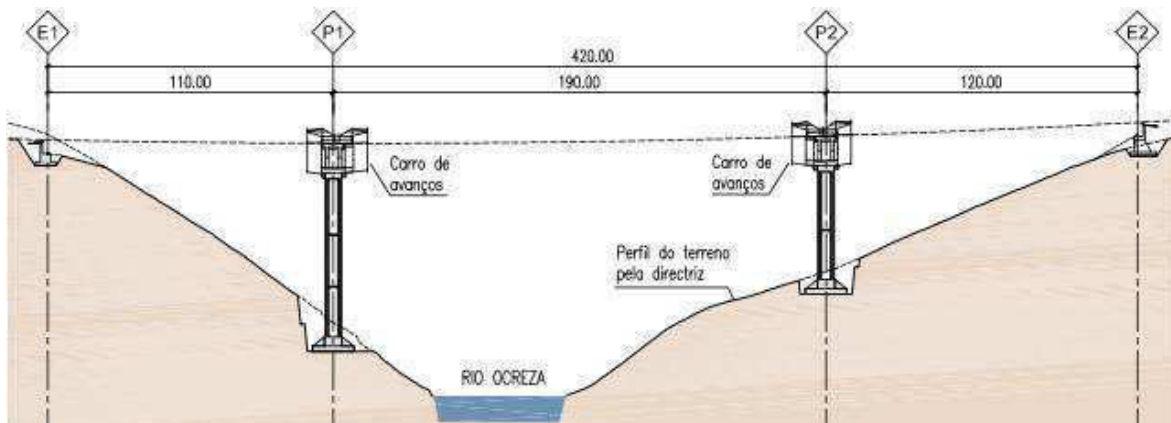


Figura 48 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 3 [8]

Fase 4 (Figura 49):

- Betonagem das aduelas de forma simétrica, a partir de cada pilar, e aplicação do pré-esforço após a execução de cada aduela;
- Após betonagem da aduela 8 e aplicação do pré-esforço, montagem dos tirantes do sistema de equilíbrio exterior na aduela 2.

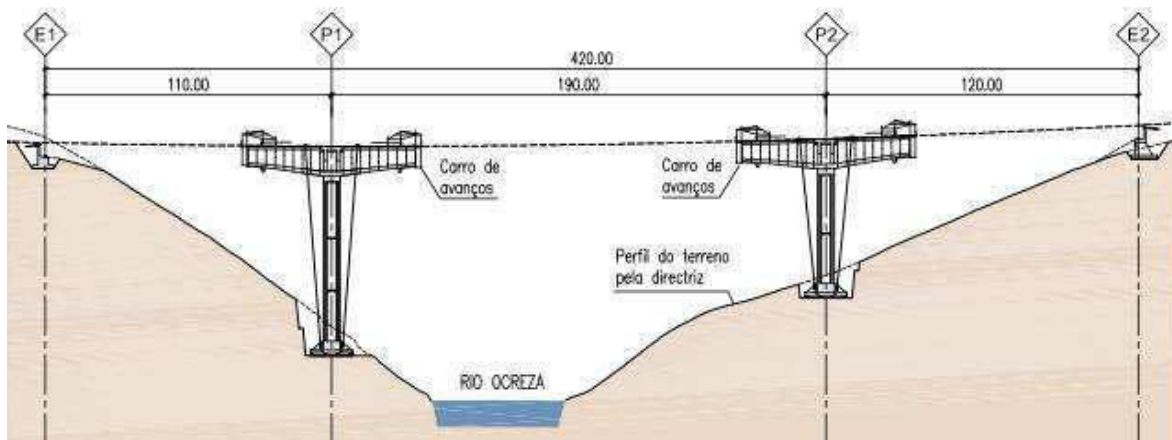


Figura 49 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 4 [8]

Fase 5 (Figura 50):

- Continuação da betonagem das aduelas até à 22 e aplicação do pré-esforço;
- Execução da aduela de fecho do tramo central e aplicação do pré-esforço inferior de continuidade.

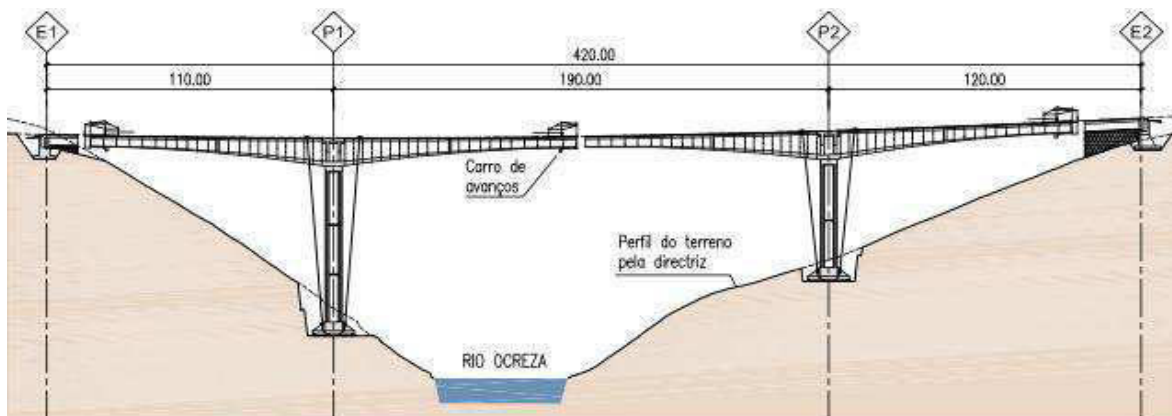


Figura 50 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 5 [8]

Fase 6 (Figura 51):

- Execução do cimbra ao solo junto dos encontros;
- Remoção do sistema de equilíbrio exterior.

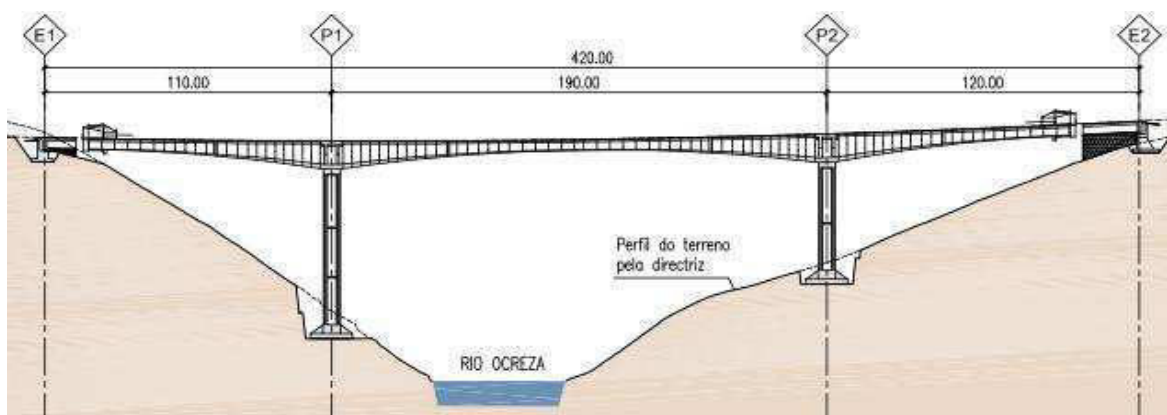


Figura 51 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 6 [8]

Fase 7 (Figura 52):

- Continuação da execução das aduelas dos tramos laterais para execução dos fechos e aplicação do pré-esforço de continuidade.

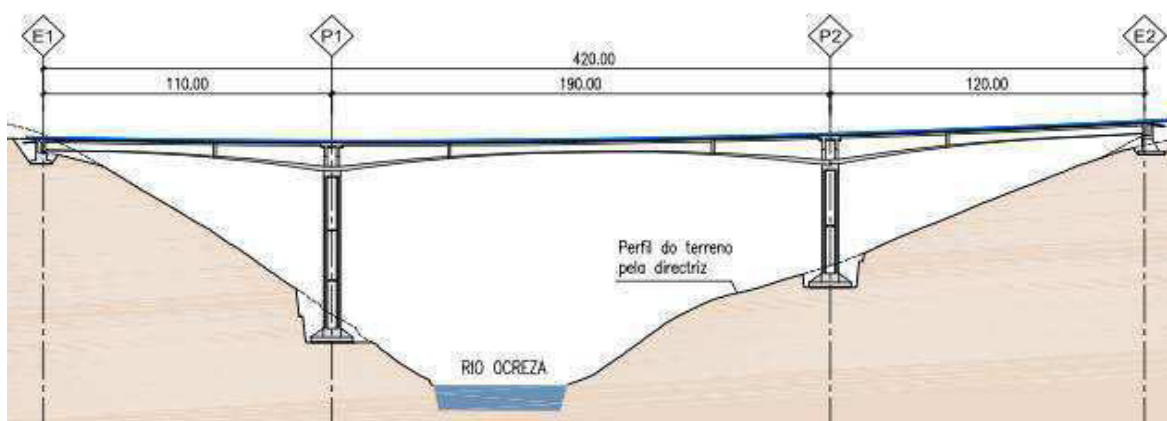


Figura 52 – PROC – Faseamento Construtivo – Fase 7 [8]

Fase 8:

- Acabamentos.

A extensão da ponte e a altura do tabuleiro ao solo permite que esta solução seja a mais adequada do ponto de vista estrutural, económico e do prazo de execução.



### 3.4 Contenção das Escavações

“Em resultado da forte inclinação das encostas, a realização das fundações dos pilares requer grandes escavações, que no pilar P1 atingem 20 m de altura. Estas escavações foram objeto de estudo específico para a contenção dos taludes, integrando o projeto de execução.

As formações envolvidas são xistos e grauvaques com os planos de fracturação quase verticais e quase horizontais, em geral favoráveis para a estabilidade da escavação. No entanto essas escavações serão objeto de contenção com pregagens e projeção de muro de betão aditivado com fibras de aço.” [6]

Os terrenos interessados nas fundações da ponte são formações metamórficas, do complexo Xisto-Grauváquico Ante-Ordovício, que admitem a consideração de fundações superficiais em todos os apoios.

Uma condicionante importante para qualquer solução que se adote para a escavação de taludes é a inclinação natural da encosta, que é no caso do P1 45° e no caso do P2 35°.

O processo de escavação de taludes foi executado quer por meios mecânicos (Figura 53), quer com recurso a explosivos (Figura 54).



Figura 53 – PROC – Escavação mecânica



Figura 54 – PROC – Preparação de explosivos para fundações do P2

Quer no caso do P1 como no caso do P2 o processo de contenção de escavações é um processo dinâmico que, embora tenha pressupostos e orientações no projeto de execução, a solução a adotar será definida quase que *in situ* à medida que se vai escavando e analisando a camada de maciço exposto.

Pregagens associadas a betão projetado “armado” com fibras de aço (Figura 55) e revestimento de talude com rede de aço (Figura 56), foram as soluções adotadas para a contenção de escavação.



Figura 55 – PROC – Pregagens associadas a projeção de betão armado com fibras de aço



**Figura 56 – PROC – Rede de aço, pregada no topo e na base do talude**

Em vários locais optou-se por soluções mistas em que o mesmo talude continha revestimento com rede de aço e pregagens associadas a betão projetado, como se pode verificar na Figura 57.



**Figura 57 – PROC – Soluções mistas, com pregagens, betão projetado e rede**

No caso do P1, a inclinação natural da encosta não permite que seja executada uma escavação com taludes relativamente suaves, porque o volume de escavação seria muito grande. Em alternativa, adotou-se uma solução que minimiza o volume de maciço a desmontar.

Essa solução alternativa (Figura 58) consiste em executar um primeiro talude até à profundidade a partir da qual se apresenta fraturas muito próximas não necessitando nesse primeiro talude de recorrer a dispositivos de estabilização, no entanto reveste-se a



face por uma rede em aço, para evitar a queda livre de blocos, pregada no topo e na base do talude.

O segundo talude, executado na sequência do primeiro, em virtude das fraturas muito próximas e diáclases desfavoráveis à estabilidade do talude (em algumas áreas), é tratado de modo “misto” estando estabilizado na sua maioria por meio de pregagens associadas a uma máscara de betão projetado armado com fibras de aço, e em escassas situações apenas revestido com rede, à semelhança do que foi realizado no primeiro talude.

Entre o primeiro e o segundo talude, existe uma banquetta com cerca de 1,5 m de largura. A diferença de tratamento entre o primeiro e o segundo talude é justificado pela fracturação e pela inclinação das diáclases que o maciço apresenta em profundidade.



**Figura 58 – PROC – Resultado final da contenção de escavação do P1**

Já no caso do P2, a inclinação natural da encosta permite considerar uma escavação com taludes relativamente suaves, embora daí resulte um volume de escavação importante. Como existe a necessidade de implantação de uma plataforma de trabalho em redor da zona da sapata, optou-se por uma solução mista que, por um lado, minimiza tanto quanto possível o volume de escavação e, por outro lado, não agrava o custo e o tempo de execução da contenção (Figura 59).



“A solução adotada consiste em, contando a partir da plataforma de trabalho, criar um primeiro talude com 9 m de altura e inclinação 1H:10V; e um segundo talude com uma inclinação de 45° (1H:1V).” [7]

O talude inferior é dotado de uma solução mista, em que grande parte da sua área é revestida por uma rede de aço pregada no topo e na base do talude, e, em alguns locais, estabilizado através de pregagens e uma máscara de betão projetado armado com fibras de aço. O talude superior apenas é revestido com rede de aço. Entre o primeiro talude e o segundo existe uma banqueteta com 1,5 m de largura. A diferença de tratamento entre os dois taludes justifica-se pela maior fracturação que o maciço apresenta na sua parte inferior, em particular entre os 10,5 m e os 12,5 m de profundidade.



**Figura 59 – PROC – Resultado final da contenção de escavação do P2**

Para além da contenção, é fundamental a realização de drenagem das banquetetas com caleiras de betão e dos taludes com drenos horizontais (Figura 60).



**Figura 60 – PROC – Drenagem de taludes com tubos horizontais**



### 3.5 Infraestruturas

As fundações dos pilares serão realizadas por sapatas diretas, com dimensões em planta de 18,0 m x 16,0 m e uma altura máxima de 5,5 m (Figura 61).

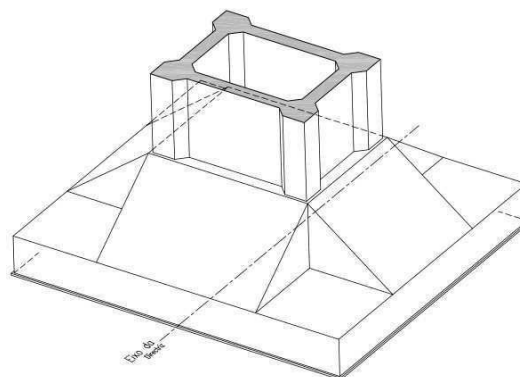


Figura 61 – PROC – Perspetiva das sapatas dos pilares [8]

“As sapatas são constituídas por uma laje com 2.0 m de espessura sobre a qual nascem nervuras nas duas direções ortogonais com largura semelhante à do pilar e altura crescente a partir do contorno da sapata até 3.5 m na ligação ao pilar conferindo ao conjunto laje-nervura uma altura total de 5.5 m. Com esta geometria assegura-se uma transmissão adequada dos esforços do pilar à fundação e minimiza-se o volume de betão deste elemento estrutural o que se traduz em vantagens quer sob o ponto de vista da execução quer no que se refere ao controlo dos efeitos do aumento da temperatura induzida pelo calor de hidratação do cimento, aspecto que se coloca com especial importância no presente caso dado o elevado volume de betão em causa.” [8]

Na Figura 62 pode observar-se a estereotipia das sapatas dos pilares, descrita no parágrafo anterior.



Figura 62 – PROC – Sapatas dos pilares



Nas fundações dos pilares estão incorporadas as bainhas de pré-esforço e as ancoragens do sistema de equilíbrio exterior. Assim, as armaduras de pré-esforço da sapata são as da Figura 63.

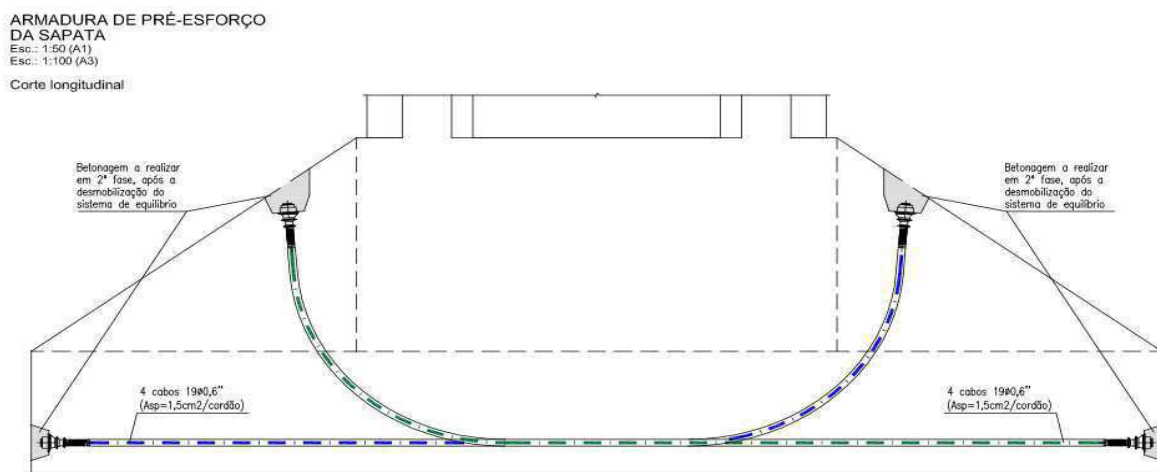


Figura 63 – PROC – Pré-esforço / sistema de equilíbrio exterior da sapata [8]

De modo a aproveitar parcialmente os cabos de pré-esforço desse sistema, os cabos que estão embutidos nas sapatas de fundação são aproveitados como armadura resistente das sapatas (Figura 64). Esses cabos são injetados e tornam-se ancoragens de continuidade para a ligação dos cabos a fixar no tabuleiro.



Figura 64 – PROC – Pré-esforço das sapatas dos pilares

A ligação dos cabos ao tabuleiro será realizada após betoneagem da aduela 8, que é quando se instala o “sistema de equilíbrio” (das sapatas até ao topo do tabuleiro, na zona das aduelas 2).



### 3.6 Encontros

Os encontros são do tipo perdidos, com fundações diretas, e construídos através de processos usuais em OA, não tendo portanto a sua descrição lugar de destaque neste documento.

O encontro direito (E1) é constituído por um único gigante (na gíria de obra usualmente denominado “batólito”), tal como se pode observar na Figura 65.



Figura 65 – PROC – Encontro E1

O encontro esquerdo (E2) é constituído por uma sapata desnivelada e cinco gigantes (Figura 66).



Figura 66 – PROC – Gigantes do encontro E2

Comparativamente ao E1, o E2 é um encontro de maior dimensão e complexidade construtiva.



Os encontros foram executados em duas fases, uma primeira no início da obra (sapatas, gigantes, vigas travessa e, muros ala e muros testa, até a altura onde assenta o tabuleiro) e uma segunda fase, para conclusão dos elementos em falta, aquando da montagem do cimbre ao solo e betonagem das aduelas de fecho lateral.

### 3.7 Pilares

#### 3.7.1 Caracterização dos Pilares

Atendendo à grande altura do tabuleiro em relação ao solo, os pilares localizados a meia encosta apresentam uma altura de 63,5 m (pilar P1) e 44,5 m (pilar P2). Os pilares são monolíticos com o tabuleiro.

Os pilares consideram uma seção em betão armado, com fustes com seção retangular oca, modificada, com 6,5 m x 8,5 m, nervurada nos cantos, como mostra a (Figura 67).



Figura 67 – PROC – Seção dos pilares.

“Estas dimensões ajustam-se à largura do banzo inferior do tabuleiro e permite garantir uma base suficiente para estabelecer o monolitismo da ligação e colocação das abas laterais do topo do pilar. A parede de interligação entre as nervuras dos cantos tem uma espessura de 0,70 m. Na definição da geometria dos pilares procurou-se também assegurar uma ductibilidade adequada para estes elementos característica que se considera essencial ao comportamento estrutural da obra.” [8]



Por questões construtivas e de facilidade de execução, os pilares têm seção constante em altura. Este aspeto facilita a utilização de cofragem do tipo deslizante, processo construtivo frequentemente utilizado e dominado pela MEEC, permitindo assim um aumento do rendimento da construção.

Face à altura dos pilares, cada pilar inclui diafragmas (também denominados de nervuras ou septos): dois no pilar P1, afastados a terços de altura e apenas um no pilar P2, a meia altura. Estes elementos servem para aumentar a rigidez dos pilares e conseqüentemente melhorar o comportamento estrutural.

A geometria e dimensões dos diafragmas (Figura 68) não impedem a inclusão de escadas ou bailéus para futura inspeção dos pilares.

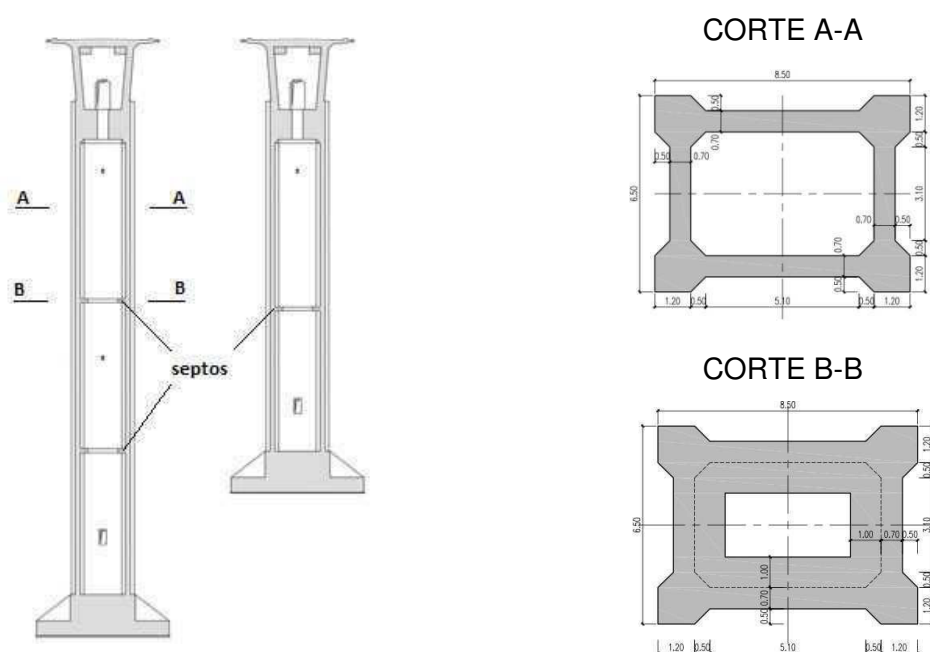


Figura 68 – PROC – Diafragmas/septos dos pilares [8] – adaptado

Nesta fase construtiva (execução dos pilares através de cofragem deslizante), apenas foram preparadas as armaduras de espera para os septos, pois a sua geometria impedia que fossem logo realizados na totalidade devido ao deslize da cofragem. Assim, as armaduras de espera foram dobradas para ficarem colineares com a seção do pilar (ilustração na Figura 69), não entrando assim em conflito com o deslize do pilar.



Figura 69 – PROC – Armaduras de espera para os septos do interior dos pilares

Os septos aguardam retoma de trabalho para a sua finalização quando começarem a ser realizadas as aduelas. Nessa altura, as armaduras terão de ser reposicionadas para a sua posição correta.

No topo dos pilares assenta um “amacimento” com cerca de 2 m de espessura (Figura 70), na zona de interligação ao tabuleiro que coincide com a 1ª fase da aduela zero, mais à frente detalhada.

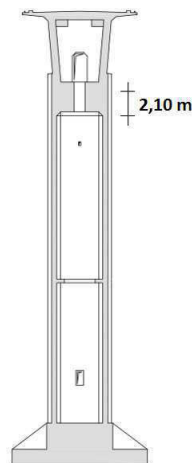


Figura 70 – PROC – Amaciamento do topo do pilar [8] – adaptado

### 3.7.2 Processo Construtivo

A execução dos pilares faz-se com recurso a cofragem deslizante, o que permite ganhos de tempo de execução, mas requer rigor na preparação, planeamento e controlo.

Como o próprio nome indica, este processo construtivo consiste no deslize ascensional da cofragem, de forma contínua até à sua conclusão.



A velocidade do deslize depende unicamente do tempo de presa do betão, podendo em situações normais de execução atingir uma velocidade de 24 cm/hora, sendo esta a principal vantagem deste sistema: obtenção de rendimentos muito elevados quando comparados com outros sistemas de cofragem.

A operação de montagem da cofragem deslizante, consiste em:

- a) Implantação e nivelamento geral da base de apoio da cofragem (Figura 71);



**Figura 71 – PROC – Implantação e nivelamento geral da base de apoio da cofragem deslizante**

- b) Montagem e fixação dos painéis de cofragem de pequena altura (cerca de 1,20 m) com a forma em planta do elemento a executar (Figura 72);



**Figura 72 – PROC – Montagem e fixação dos painéis de cofragem com cerca de 1,20 m**

- c) Montagem dos cavaletes e postos de elevação (Figura 73);



**Figura 73 – PROC – Montagem dos cavaletes**



d) Montagem dos circuitos hidráulicos (Figura 74);



Figura 74 – PROC – Circuito hidráulico para ascensão de cofragem deslizante

- e) Colocação dos alvos para raios laser para verificação da verticalidade e geometria;
- f) Verificação geral das operações atrás descritas e ensaio dos circuitos hidráulicos.

De um modo mais esquemático e simplificado, na Figura 75, ilustram-se os principais elementos deste sistema de cofragem.

|  |  |
|--|--|
|  | <p>A estrutura de suporte das cofragens é composta por cavaletes formados por pernas metálicas.</p>                                |
| <p>Dois Cilindros hidráulicos</p> <p>Duas Cabeças de fixação</p> | <p>O sistema de elevação é constituído por cilindros hidráulicos e cabeças de fixação que só permitem o movimento ascensional.</p> |
|  | <p>Nos cavaletes são fixados os dispositivos hidráulicos, as bainhas e introduzidos os tubos ou varões de ascensão.</p>            |

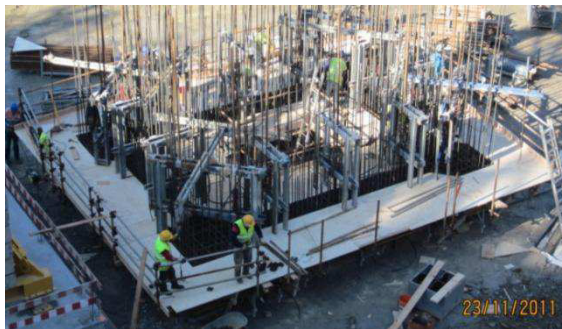
Figura 75 – Esquematização explicativa do sistema de elevação da cofragem deslizante



Este sistema apresenta aqui o seu pior desempenho face à cofragem tradicional, pois os tempos e materiais despendidos na sua montagem são maiores.

Os tubos de ascensão: montados/acrescentados em altura, à medida que a cofragem deslizante sobe. Auxiliam o suporte dos cavaletes da cofragem e é em seu torno que se fixa os cilindros hidráulicos.

As principais tarefas inerentes à execução deste tipo de trabalho são efetuadas essencialmente em plataformas de trabalho (Figura 76),



(1) Plataforma inferior

(2) Plataforma intermédia

(3) Plataforma superior

**Figura 76 – PROC – Plataformas de trabalho da cofragem deslizante**

Ou seja, nas seguintes plataformas:



- Plataforma inferior destinada aos acabamentos, afagamento do betão deslizado e recuperação dos negativos;
- Plataforma intermédia destinada à colocação e distribuição das armaduras e negativos;
- Plataforma superior, destinada à colocação e vibração do betão, limpeza da cofragem, localização do comando central do sistema hidráulico que coordena os diversos macacos, e localização das réguas/lasers controladores da verticalidade da estrutura.

Montada a cofragem e instalado o equipamento de apoio (Figura 77), inicia-se a execução do deslize.



**Figura 77 – PROC – Cofragem deslizante e equipamento de apoio montado. Início do deslize**

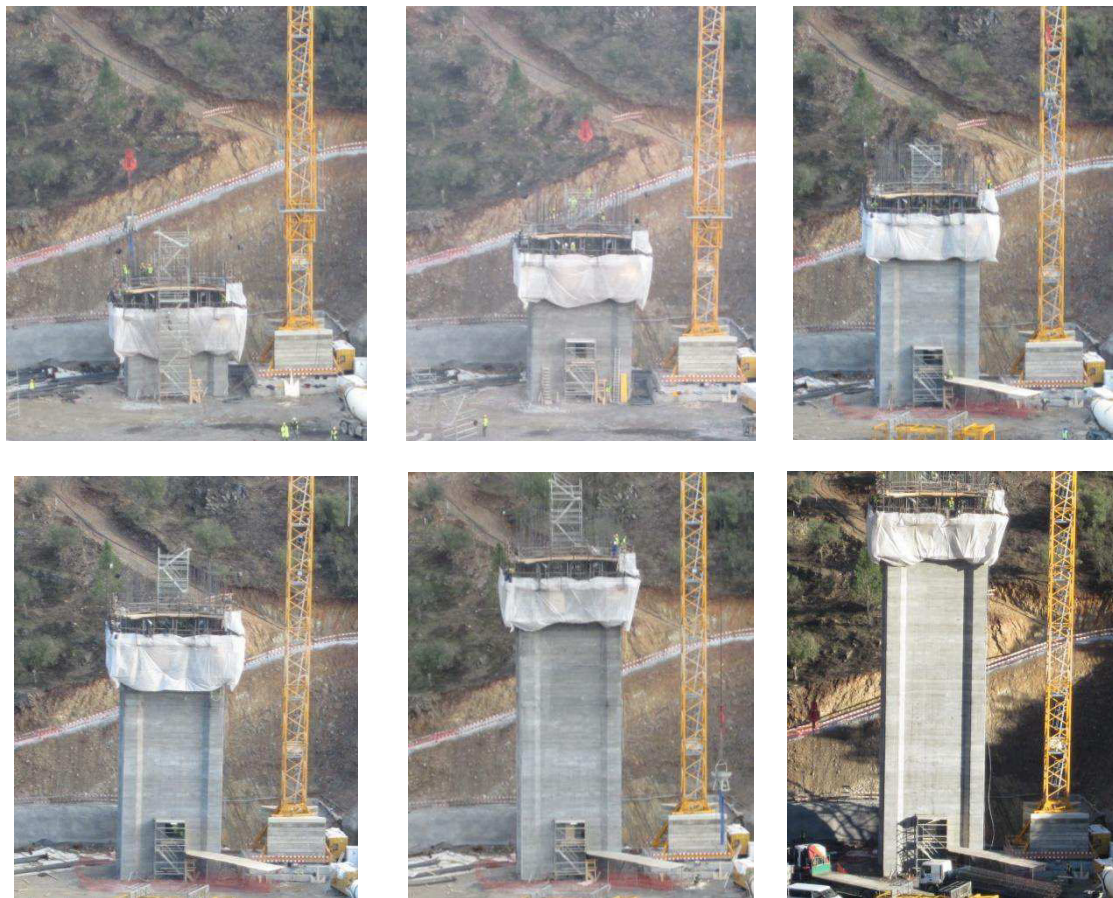
No início do deslize procede-se ao enchimento do molde com uma camada de aproximadamente 1 m de espessura. Após ter sido feito um controlo da presa do primeiro betão colocado no molde, faz-se a subida da cofragem em incrementos de cerca de 6 cm até perfazer a altura de betão betonado (Figura 78), seguindo-se o nivelamento de toda a cofragem.

Sensivelmente a cada metro de ascensão torna-se a nivelar toda a cofragem e a verificar a sua verticalidade através dos alvos laser colocados numa posição inalterável, garantindo assim um controlo rigoroso da verticalidade da construção. Esta última fase vai sendo repetida ao longo do desenvolvimento do elemento deslizado.



**Figura 78 – PROC – Subida de cofragem deslizante**

Neste movimento contínuo (Figura 79) garante-se que o tempo despendido na execução do elemento vertical traduza-se numa redução na ordem dos 20% quando utilizado o sistema de cofragem deslizante, comparativamente à cofragem tradicional.



**Figura 79 – PROC – Deslize do pilar**



Sendo este um processo construtivo contínuo, as armaduras devem ser preparadas com o máximo de antecedência possível, de forma a não condicionarem a velocidade do deslize, no entanto os cruzamentos e empalmes de varões devem ser feitos *in situ*.

Os varões devem ser transportados sempre que possível para a plataforma intermédia, aguardando aí o momento da sua utilização.

A parede que vai sendo descofrada vai-se regularizando, por afagamento/talochamento (Figura 80), permitindo um acabamento final mais perfeito e isento de fissuras.



**Figura 80 – PROC – Talochamento dos pilares**

Em resultado da realização desta tarefa, reteve-se o seguinte:

- À medida que se vai elevando a altura nos pilares, os rendimentos vão aumentando, devido não só ao aperfeiçoamento da técnica pelos trabalhadores, como essencialmente pelas temperaturas elevadas que as camadas inferiores transmitem às superiores, o que acelera o processo de cura de betão, já anteriormente referido como o fator dependente da velocidade deste processo de deslize.
- Nesta obra conseguiu-se atingir rendimentos da ordem dos 24cm/hora. Com dois turnos por dia (um turno diurno e outro noturno), esta atividade realizou-se 24 sobre 24 horas, conseguindo-se erguer o pilar P1 (de 63,5 m) em 16 dias e o pilar P2 (de 44,5 m) em 10 dias;



- Através do gráfico comparativo dos rendimentos das duas equipas do P2, por exemplo, (Figura 81) constata-se que os rendimentos da equipa noturna são, no geral, menores que os da equipa diurna. Este facto deve-se à variação de temperatura que ocorre durante a noite (inferior à temperatura diurna) e que consequentemente prejudica/atrasa a cura do betão.

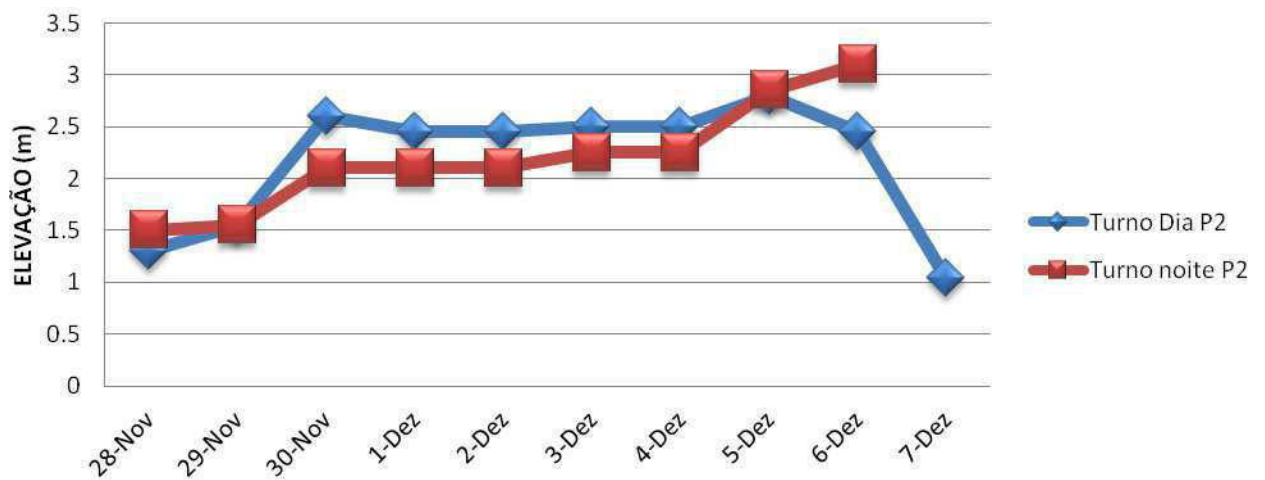


Figura 81 – PROC – Análise gráfica do trabalho de deslize, realizado por turnos, no P2



### 3.8 Tabuleiro

#### 3.8.1 Caracterização do Tabuleiro

A plataforma transversal do tabuleiro (Figura 82) é constituída por uma faixa de rodagem obtida diretamente do perfil transversal da estrada, acrescido dos passeios, resultando numa largura total de 15,30m.

Deste modo, a plataforma rodoviária é constituída por:

- Faixas de rodagem de 2 x 3,75 m;
- Berma direita com 2,50 m;
- Berma esquerda com 2,50 m;
- Passeios, incluindo cornijas e guardas de 2 x 1,40 m.

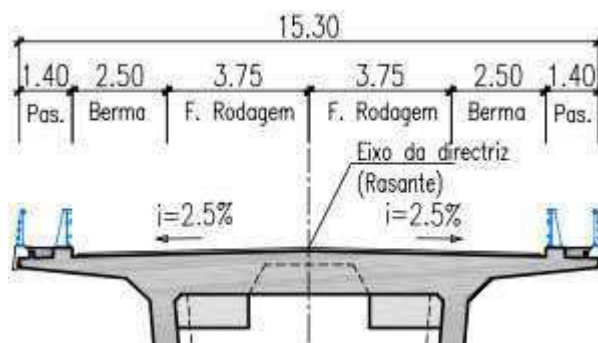
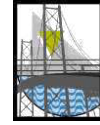


Figura 82 – PROC – Seção transversal do Tabuleiro [8] – adaptado

O tabuleiro tem uma inclinação constante de 2,5% para cada um dos lados, relativamente ao eixo da directriz. Para obter essas inclinações, a laje/banzo superior tem uma geometria capaz de as garantir.

O tabuleiro tem um perfil longitudinal variável de forma a diminuir o seu peso próprio a meio vão, deste modo economiza-se nos materiais e diminui-se os esforços instalados nas seções vizinhas dos apoios (pilares). O perfil variável contribui, também, para melhorar a estética da obra.

Devido ao processo construtivo, avanços sucessivos, mais adiante pormenorizado, surgem momentos negativos ao longo de quase todo o tramo, sendo de valor maior junto



dos apoios (página 43). Assim, a seção transversal que melhor se adapta a estes esforços é a seção em caixão, devido à sua capacidade para funcionar sujeita a elevados momentos negativos. Outra vantagem deste tipo de seção é a sua elevada resistência à torção.

O facto de existirem duas almas por seção, apesar de ser favorável ao comportamento transversal do tabuleiro, implica a utilização de mais cofragem que é prejudicial à montagem das armaduras, e operações de betonagem.

A utilização de almas inclinadas favorece a obra esteticamente, não implicando, no entanto, complicações na execução do tabuleiro.

As almas, com uma ligeira inclinação, têm espessuras variáveis ao longo do desenvolvimento do tabuleiro, permitindo uma economia da solução e uma redução do peso da seção. Foram previstas espessuras de 0,65 m, 0,55 m e 0,45 m, cuja transição entre espessuras é realizada no início de uma aduela. A espessura das almas do tabuleiro na zona entre os diafragmas, sobre os pilares, é de 1 m.

A laje/banzo superior tem uma espessura variável. A laje central entre almas tem espessura igual a 1,14 m e 1,10 m.

“As consolas têm uma espessura de 0.25m a 0.60m. Sobre as almas foram previstos esquadros com uma espessura capaz de acomodar o pré-esforço longitudinal superior. Para reduzir o peso da secção, aqueles esquadros sofrem um encurtamento da sua largura nas secções próximas do vão central e dos encontros, não comprometendo, no entanto, o traçado do pré-esforço superior.

A laje/banzo inferior tem uma espessura variável ao longo do desenvolvimento do tabuleiro, apresentando 1.90m sobre os pilares e 0.25m na secção de vão. Contém ainda esquadros de ambos os lados, junto das almas, com 0.60m de espessura para acomodar os cabos inferiores de continuidade. A definição da geometria da secção do tabuleiro na zona dos pilares teve como condicionamento o objetivo de assegurar uma ductilidade adequada para este elemento estrutural.” [8]



Na Figura 83 pode observar-se as características das seções transversais do tabuleiro.

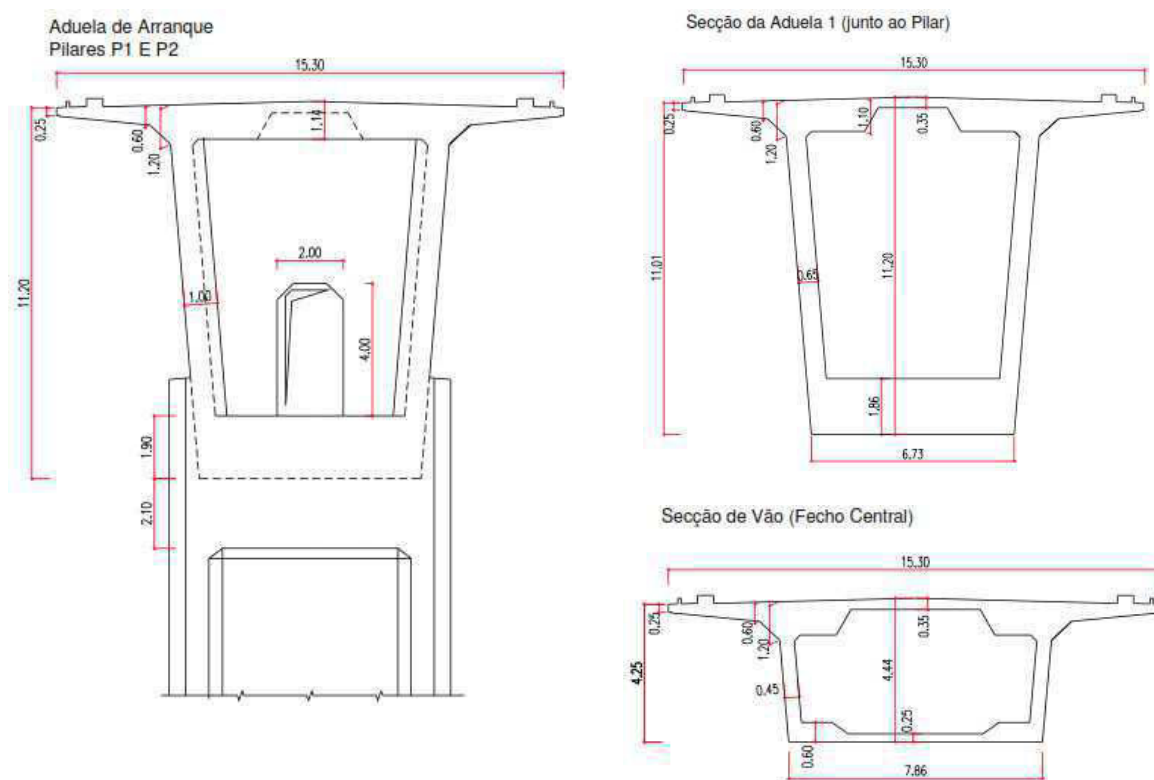


Figura 83 – PROC – Cortes transversais, seção de apoio e de vão do tabuleiro [8]

A continuidade do tabuleiro está assegurada através dos cabos de pré-esforço previstos sobre o pilar (cabos retos superiores) e na zona de vão (cabos inferiores no tramo central e tramos laterais). No caso do tramo central, o traçado dos cabos é paralelo ao banzo inferior do tabuleiro, cujo traçado é parabólico (ver capítulo 3.9.1).

Para garantir eventuais intervenções futuras de reforço na ponte, foi prevista a inclusão de septos de desvio no interior da seção em caixão do tabuleiro para instalação de pré-esforço exterior eventual.

Estes traçados de cabos estão pormenorizados no Anexo F.

“O tabuleiro será executado com aduelas cuja dimensão foi limitada à reação/força total instalada no atirantamento frontal do carro de avanços/cimbre (102.5 toneladas) durante a betonagem. Assim, foram previstas aduelas com dimensões de 3.35m



(junto do pilar), de 3.50m, de 4.0m e de 5.0m, tendo a aduela de fecho do tramo central um comprimento de 3.60m. À medida que decorre a execução de cada aduela é imediatamente aplicado o pré-esforço horizontal superior. A aduela de arranque (aduela 0) terá 9.0m de desenvolvimento.” [8]

Assim, a dimensão das aduelas são as da Figura 84, Figura 85 e Figura 86.

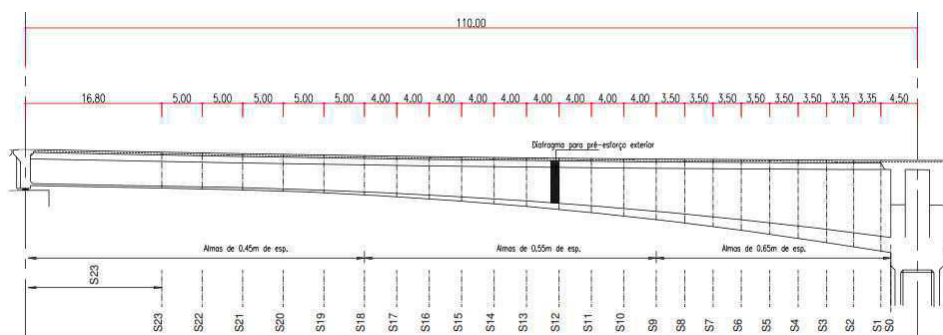


Figura 84 – PROC – Distribuição das Aduelas no Tabuleiro (vão de 110 m) [8]

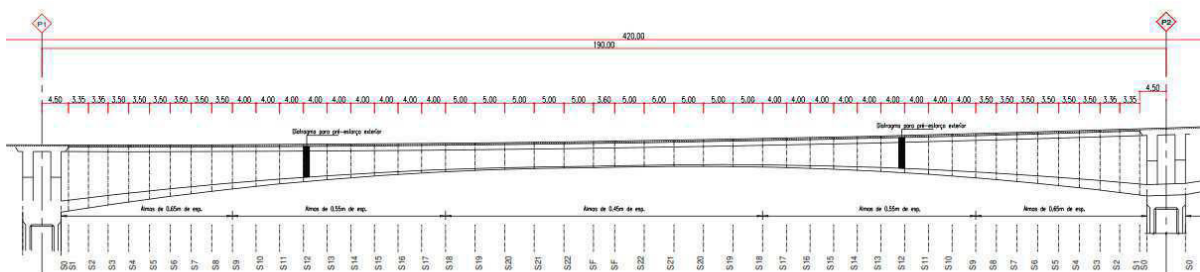


Figura 85 – PROC – Distribuição das Aduelas no Tabuleiro (vão central) [8]

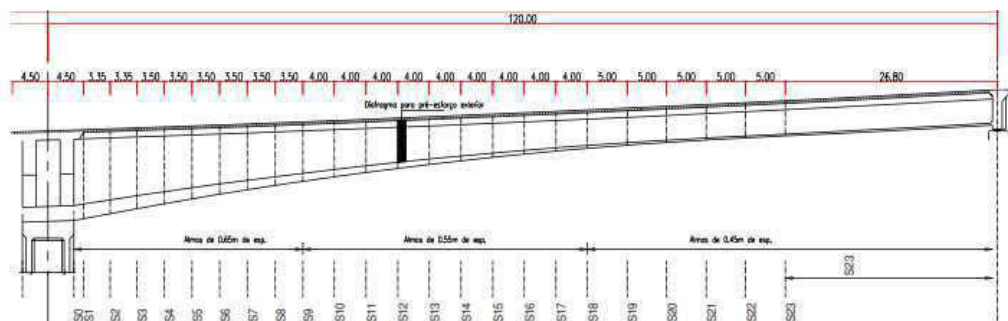


Figura 86 – PROC – Distribuição das Aduelas no Tabuleiro (vão de 120 m) [8]

O tabuleiro é monolítico com os pilares e apresenta aparelhos com guiamento sobre os encontros, que impedem o deslocamento transversal.



Serão adotadas lajes de transição nos acessos à obra de arte.

O pavimento da faixa de rodagem e bermas está previsto em betão betuminoso. Foram também considerados outros equipamentos habituais, como seja o sistema de drenagem das águas pluviais, tubos para passagem de cabos e respetivas caixas, guardas de segurança e guarda-corpos.

### **3.8.2 Processo Construtivo do Tabuleiro**

O método de construção através de avanços sucessivos em consolas (aduelas) simétricas, através de carros de avanço (CA) é o mais utilizado para a construção de pontes com alturas de rasante acima de 50 m e com vãos acima de 60 m de desenvolvimento.

Este processo consiste na construção *in situ* da aduela zero (ver capítulo 3.8.2.1) no topo dos pilares e, a partir daí, proceder-se à montagem dos carros de avanço por cima da referida aduela que servirá de estrutura de suporte e cofragem das aduelas seguintes à aduela anteriormente construída.

Como a estrutura do tabuleiro da ponte estará a trabalhar em consola até ser realizado o seu fecho, estas aduelas serão estabilizadas através de pré-esforço para que a parte do tabuleiro que já se encontra construída possa suportar a aduela seguinte e o equipamento, sem que com isso haja deformações excessivas nas extremidades das consolas.

Quando as aduelas provenientes de um pilar se encontram com as provenientes dos pilares seguintes, dá-se o fecho a meio vão. Nas zonas de encontros, o fecho dá-se a alturas em que estas os alcancem.

Para a execução do fecho a meio vão, uma vez executada a última aduela em avanço, é retirado um dos CA, ficando o outro a servir de suporte para a cofragem da aduela de fecho. É nesta fase que se processa o puxe dos cabos de continuidade, sendo estes os cabos necessários para garantir a continuidade das consolas e resistir aos momentos



positivos que surgem devido aos efeitos diferidos (retração e fluência) e às cargas de serviço.

Os problemas comuns deste processo construtivo são:

- A área de trabalho é limitada ao perímetro das seções a serem “ligadas”. A montagem desenvolve-se em ciclos, com interdependência entre fases, isto é: uma só se inicia quando a anterior for executada por completo. De modo a otimizar os custos e prazos da obra, aumentando o rendimento de trabalhos, multiplica-se as frentes de avanço (várias frentes de trabalhos: por exemplo, duas em cada pilar);
- Os posicionamentos dos elementos, a execução da ligação entre eles e o controle desta operação, desenvolvem-se na extremidade do avanço. De facto, isto representa uma grande parte dos trabalhos de campo, executados geralmente em condições difíceis, sobretudo devido à ação do vento e à elevada altura a que decorrem os trabalhos;
- Necessidade de adaptar/criar vários Procedimentos para Trabalhos com Riscos Especiais (PTRE) para esta atividade, principalmente por envolver trabalhos em altura, movimentação de cargas, execução de tabuleiro com recurso a CA, montagem de plataformas de trabalho de apoio à execução da aduela zero (altura elevada), etc (Consultar Anexo G).

As principais vantagens deste processo construtivo são:

- Dispensa de cimbres e de escoramentos, libertando a área debaixo do tabuleiro;
- Reutilização/adaptação do equipamento ao longo da construção do tabuleiro (solução económica);
- Utilização de pouca cofragem e aproveitamento da mesma ao longo de toda a obra (elevado rendimento da cofragem);
- Elevado rendimento da mão-de-obra, devido à mecanização do processo;
- Rapidez de execução, uma vez que o processo construtivo é otimizado e repetitivo;
- Possibilidade de acelerar o processo utilizando diversas frentes de trabalho.



No entanto, devido ao grau de dificuldade inerente a este processo construtivo, podem apontar-se como desvantagens:

- Grande capacidade técnica exigida ao empreiteiro responsável pela obra;
- Rigor de execução necessário para a aplicação deste processo, bastante exigente, especialmente durante a fase de avanço da cofragem. A dada altura, aquando da colocação da aduela de fecho, a meio vão, as duas frentes de trabalho têm de se encontrar no mesmo alinhamento, o que requer um estudo geométrico muito rigoroso.

### **3.8.2.1 Aduela Zero**

O arranque das consolas é efetuado através da construção de uma aduela sobre o pilar, normalmente denominada por aduela de arranque ou aduela zero (AD00), utilizando cofragens apoiadas no próprio pilar. A sua construção é, normalmente, mais demorada que a das restantes aduelas devido à sua dimensão, execução de diafragmas e à falta de mecanização do processo.

As AD00 desta obra apresentam um desenvolvimento longitudinal de 9,0 m. A seção transversal do tabuleiro é uma seção em caixão com uma largura máxima de 15,30 m, ao nível da laje do tabuleiro (Figura 87 e Figura 88).

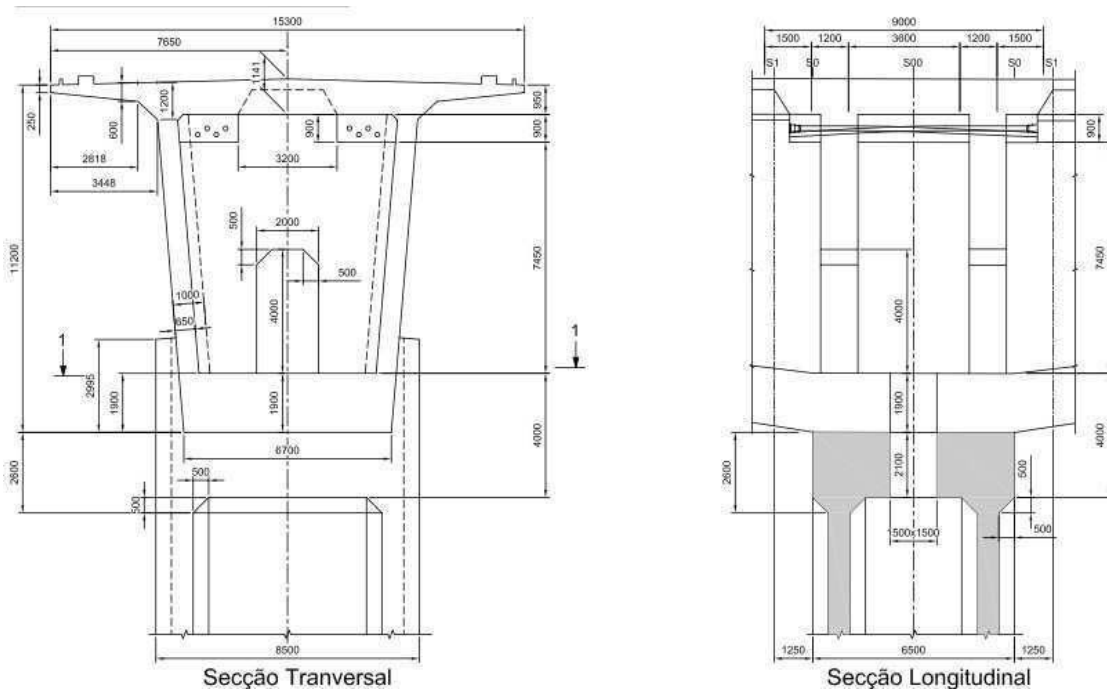
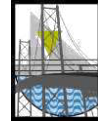


Figura 87 – PROC – Dimensionamento das Aduelas Zero – Seções Transversal e Longitudinal [8]

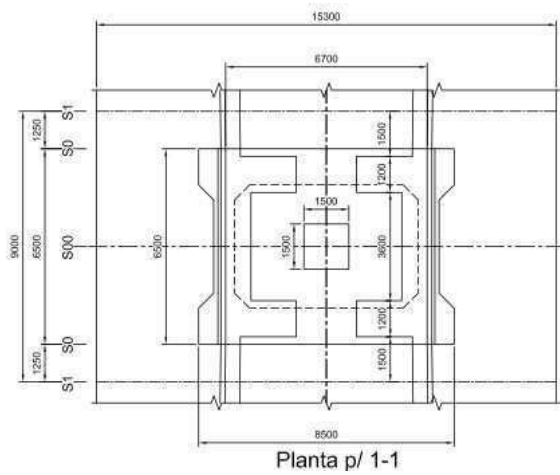
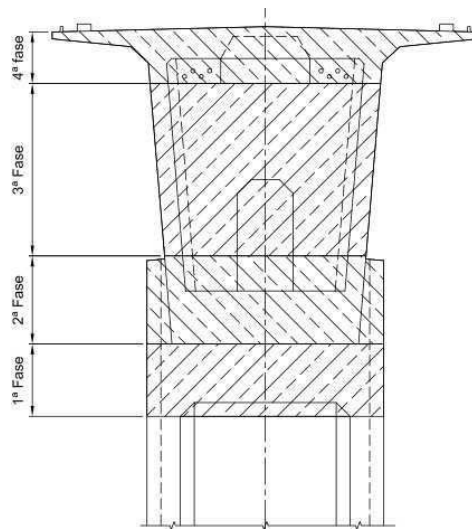


Figura 88 – PROC – Dimensionamento das Aduelas Zero - Planta [8]



A betonagem das aduelas está dividida em quatro fases, conforme ilustrado na Figura 89.



**Figura 89 – PROC – Faseamento das Betonagens das Aduelas Zero [10]**

De notar que a 1ª fase de betonagem da AD00 coincide com o “amacimento” do topo dos pilares, ilustrado na Figura 70.

“Na sua generalidade, a cofragem para betonagem das aduelas 0 é constituída por módulos de painéis tipo PERI “Vario”, que são constituídos por contraplacado de 21 mm (tipo PERI “Spruce”), vigas de madeira tipo “VT20” e “GT24”, correias metálicas tipo SRU (perfil duplo UPN120) e SRZ (perfil duplo UPN100), e por painéis de cofragem do sistema “Trio”. Os painéis horizontais são suportados em sistemas de escoramentos (“Rosett” ou “Multirop”), e os painéis verticais estão travados entre si através de barras de ancoragem do tipo “Dywidag 15/17”, para eliminação dos impulsos horizontais resultantes do procedimento de betonagem.

Os sistemas de cofragem, escoramento e perfis, para betonagem das abas, almas, e a consola da laje de fundo (2ª fase de betonagem), são suportados por esquadros metálicos do tipo “SB A0+A”, apoiados no sistema de suporte preconizado para o efeito.” [10]

Na Figura 90 ilustra-se o faseamento do sistema de cofragem para as AD00, proposto pela PERI (O maior fornecedor e fabricante mundial de sistemas de cofragem e andaimes).

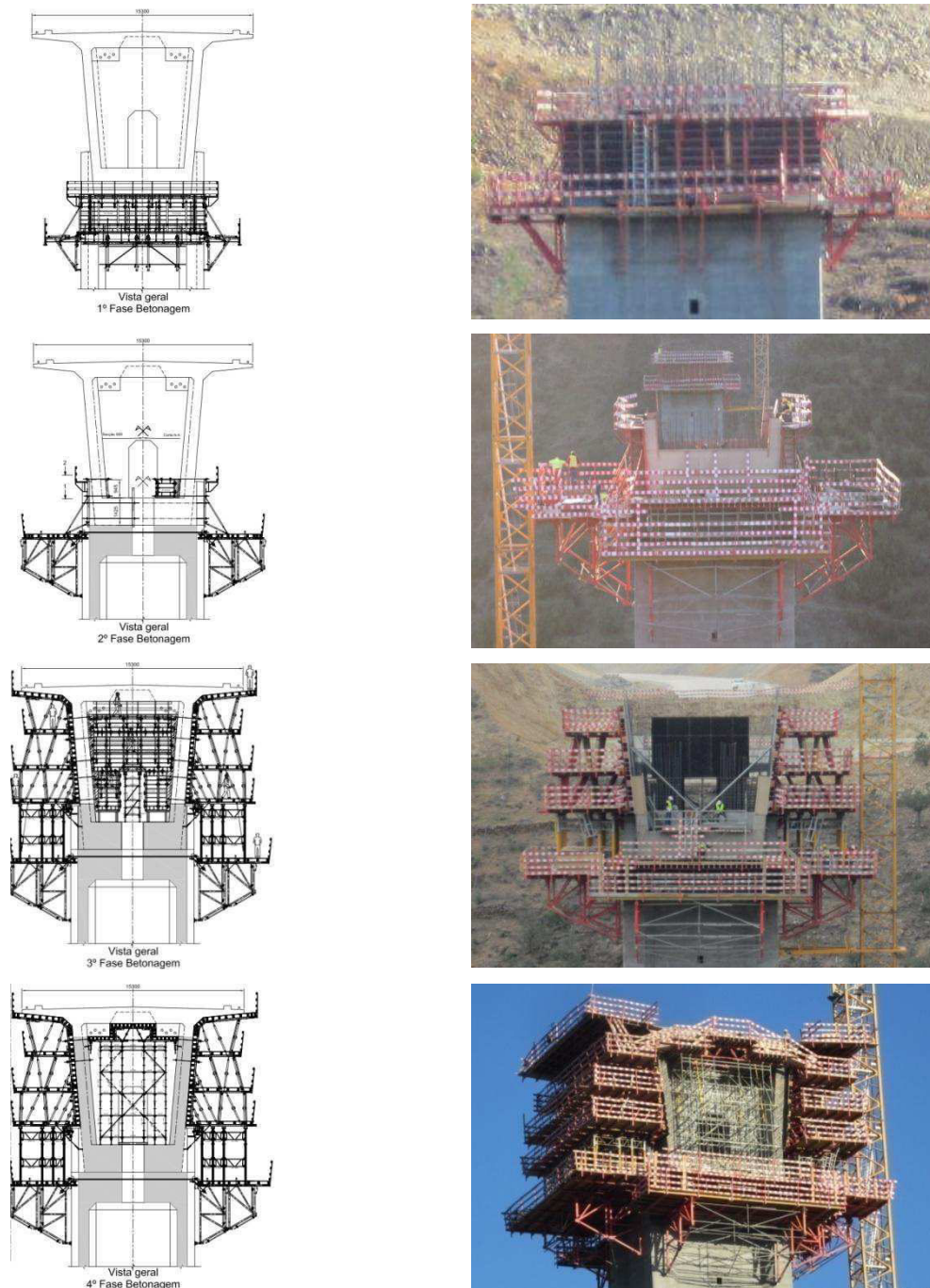
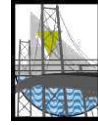


Figura 90 – PROC – Faseamento do Sistema de Cofragem para as AD00 [10]

Para que não surjam problemas associados à cofragem e posterior betonagem deste elemento, mencionam-se de seguida alguns pontos a ter em atenção:



- “Entre fases de betonagem (3ª e 4ª), a cofragem deve ser aliviada e reajustada para que as forças atuantes na 4ª fase de betonagem sejam apenas as da mesma, e não em acumulação às ações provenientes da fase de betonagem anterior;
- É fundamental garantir que a ancoragem fica colocada com precisão à face do betão;
- Verificar a não existência de “vazios” na superfície de betão e que esta é perfeitamente plana e regular;
- O vento máximo admissível para a fase de betonagem é de 65 km/h. É aconselhável que para ventos superiores a 90 km/h que sejam suspensos todos os trabalhos e tomadas as devidas medidas preventivas de segurança, de modo a garantir a segurança dos trabalhadores no local;
- Os painéis de cofragem das paredes e lajes superiores do tabuleiro devem estar travados entre si, garantindo a estabilidade do conjunto para efeitos da acção do vento;
- Os painéis de cofragem, sempre que possível, deverão estar travados aos elementos de betão já existentes;
- Os procedimentos de betonagem devem ser uniformes e equilibrados. Não pode haver desequilíbrios na subida do betão, quer longitudinalmente, quer transversalmente.
- Na 4ª fase de betonagem, o cimbra Rosett exterior aos diafragmas deverá ser travado aos mesmos, no nível superior (...).” [10]

Para medir a velocidade do vento e verificar os valores anteriormente referidos, instalou-se, em cada par de CA, um anemômetro (Figura 91).



**Figura 91 – PROC – Anemômetro instalado no topo do CA**



Devido à sua dimensão e elaborado sistema de cofragem, as AD00 são, comparativamente com as restantes aduelas, de uma construção mais morosa. De facto, verifica-se que as aduelas “vulgares” demoram em média uma semana para serem concluídas, enquanto as AD00 tiveram um tempo de execução de cerca de um mês.

Concluída a sua construção, as AD00 ficam com a aparência da Figura 92.



Figura 92 – PROC – AD00 concluída

### 3.8.2.2 Carros de Avanço

Os Carros de Avanço (CA) são equipamentos móveis que se deslocam na face superior da extremidade das aduelas/consolas, constituídos por cofragens suspensas e por uma estrutura metálica de suporte.

A função da estrutura metálica é a de localização no espaço da aduela e a de suporte da mesma até à cura do betão e aplicação do pré-esforço.

A estabilidade dos equipamentos é assegurada por ancoragem da estrutura metálica na aduela adjacente já betonada.

Os CA utilizados nesta obra são os ‘Carros de Avanço 419.001 e 419.005’, (Figura 93) inicialmente projetados com determinadas características, no entanto reconicionados de obra em obra, por onde têm vindo a ser utilizados.



**Figura 93 – PROC – Carros de Avanço**

O peso de um CA totalmente equipado é cerca de 95 ton e está projetado para aduelas de 300 ton com 5,0 m de comprimento.

A betonagem do tabuleiro é feita a partir dos pilares, de forma simétrica para cada lado dos pilares, exceto na fase de arranque em que se monta um dos carros e só após a 1ª betonagem e o seu posterior avanço para a aduela seguinte é que se monta o carro do lado oposto. O comprimento das aduelas é variável: existem aduelas de 3,35 m, 3,50 m, 4,00 m e 5,00 m. Após a aplicação de pré-esforço inicia-se o avanço dos carros para as aduelas seguintes.

As sequências das operações de montagem, movimentação, betonagem e desmontagem dos CA estão descritos mais à frente no capítulo 3.8.2.2.2.

#### **3.8.2.2.1 Descrição dos CA**

Os CA em causa são constituídos pelas seguintes estruturas ilustradas na (Figura 94):

- Estrutura principal – estrutura metálica composta por dois pórticos que ligam a asna dianteira e traseira, por onde são suspensas as principais cargas;



- Cofragem exterior – molde que recebe todas as cargas correspondentes ao peso das abas bem como os impulsos provocados pelo betão fresco das almas;
- Cofragem interior – molde que recebe todas as cargas correspondentes ao peso parcial da laje superior bem como os impulsos provocados pelo betão fresco das almas;
- Cofragem de fundo – molde que recebe todas as cargas correspondentes ao peso da laje inferior e almas do tabuleiro;
- Carril – estrutura por onde se movimenta o carro na fase de avanço de uma aduela para outra;
- Varões de suspensão – elementos que transmitem as cargas das cofragens para o carro e para o tabuleiro.

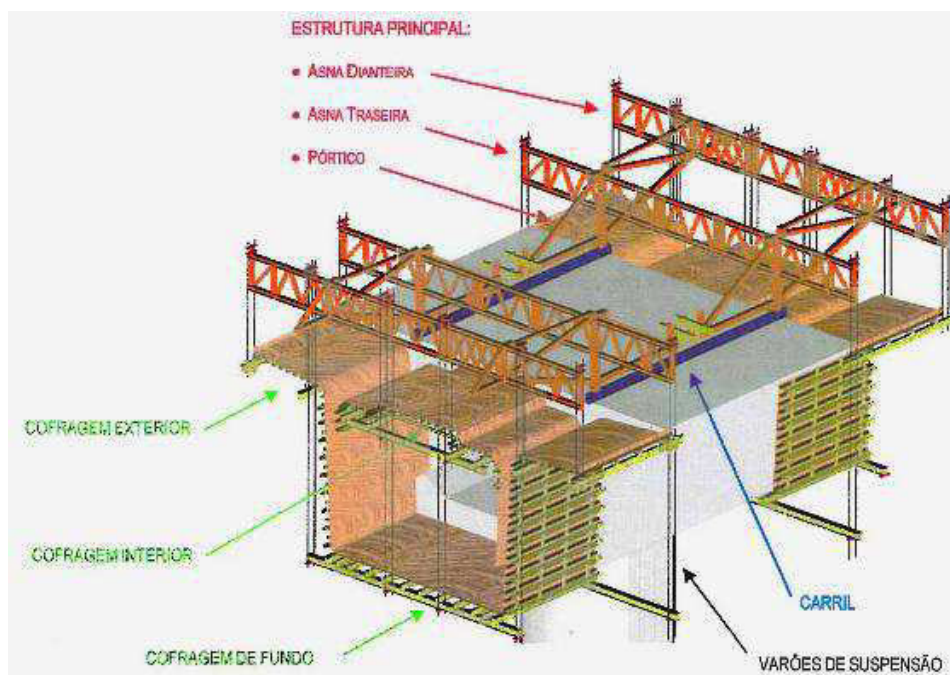


Figura 94 – PROC – Constituição dos CA [11]

“A cofragem exterior será constituída por painéis de contraplacado marítimo de 21 mm pregados a vigas de madeira (...) que, por sua vez, são suportadas por uma estrutura metálica adaptada à geometria da obra. No caso da cofragem interior, o sistema é ligeiramente diferente: o painel de contraplacado de 21 mm é pregado a vigas de madeira que estão ligadas a cintas metálicas em perfil UNP160 que degradam as cargas para perfis de vão corridos IPN300. A estrutura superior é



constituída por pórticos metálicos, que são fixos à aduela traseira já betonada e ligados por duas asnas (uma traseira e outra dianteira) que suspendem toda a cofragem da aduela a betonar através de varões de alta resistência. A movimentação longitudinal dos carros de avanço é feita por intermédio de macacos hidráulicos de duplo efeito, que empurram e puxam a estrutura, sobre roletes e carris, para a duela seguinte.” [11]

Os pórticos, carril e asnas (estrutura principal - Figura 95) são os primeiros a serem montados e fixados no topo da AD00. Assim, são elevados com o auxílio da grua e montados de acordo com uma marcação minuciosa, previamente feita no local pelos colegas da topografia, e uma rigorosa sequência de operações exaustivamente descrita no Manual de Operador dos CA, que será sintetizada no capítulo 3.8.2.2.2.

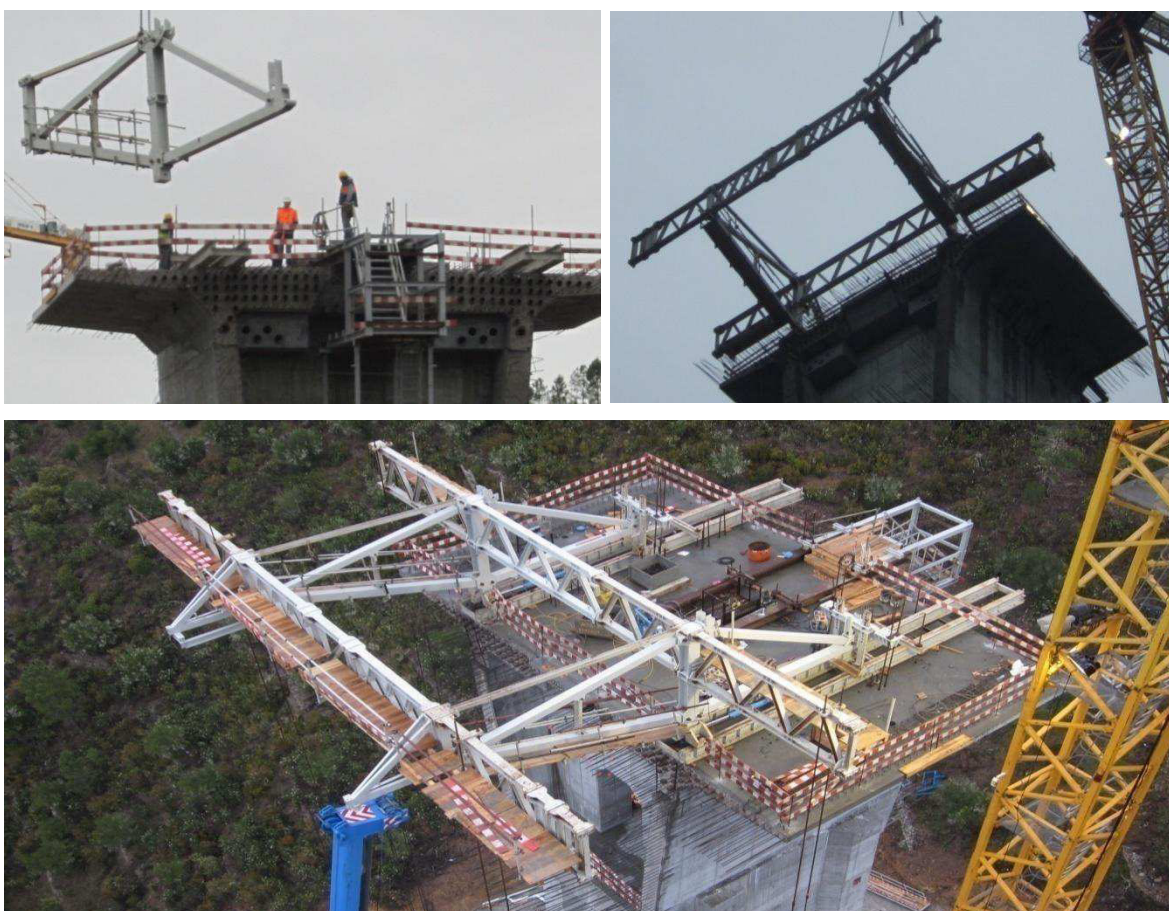


Figura 95 – PROC – Estrutura Principal dos CA: pórticos, asnas e carril



Sobre a asna dianteira e sobre a laje superior do tabuleiro são montados macacos hidráulicos e varões de suspensão para suspensão das cofragens e afinação das contraflechas desses elementos. Na Figura 96 pode-se observar esses sistemas hidráulicos (macacos) e os respectivos varões.



**Figura 96 – PROC – Sistemas Hidráulicos e Varões de Suspensão**

As cofragens (de fundo, exterior e interior) são pré-montadas ao nível do solo e depois elevadas e fixadas nas suas posições. Primeiro eleva-se a cofragem de fundo, através do Sistema Strand <sup>1</sup>, depois a cofragem exterior, e por fim a cofragem interior, estas duas últimas com o auxílio da grua.

---

<sup>1</sup> Sistema Strand – Sistema Strand Jack, elevação e descida de cargas pesadas. Eleva verticalmente, sem ocorrência de deslocamentos horizontais, a cofragem de fundo até a AD00. Mais detalhe sobre este sistema no Anexo H.



A pré-montagem e elevação da cofragem de fundo são ilustradas na figura Figura 97.



**Figura 97 – PROC – Pré-montagem ao nível do solo da cofragem de fundo e sua elevação**

Devido à sua dimensão, a pré-montagem da cofragem exterior ao nível do solo requer espaço e engenho na plataforma de trabalho em torno da base dos pilares. Estas estruturas de grande porte têm de ser, de modo análogo à cofragem de fundo, montadas no plano térreo – estrutura metálica, pregadas a vigas de madeira e revestidas de painéis de contraplacado, como anteriormente ilustrado na Figura 98.



**Figura 98 – PROC – Pré-montagem ao nível do solo da cofragem exterior**

As plataformas de trabalho (PT) exteriores, de apoio à(s) aduela(s) a executar, também são montadas logo nesta fase, como se pode verificar na Figura 99. Assim, aquando da elevação e posicionamento desta cofragem, já estão reunidas condições de trabalho e de segurança para a sua montagem/fixação e seguimento de trabalhos.



**Figura 99 – PROC – Plataformas de trabalho da cofragem exterior**



A cofragem interior é parcialmente montada ao nível do solo (topo da cofragem interior, que serve de cofragem de fundo à laje superior da aduela). Após elevação e montagem desse elemento, procede-se à montagem *in loco* da restante cofragem interior, isto é, cofragem interior das almas e PT interior (Figura 100).

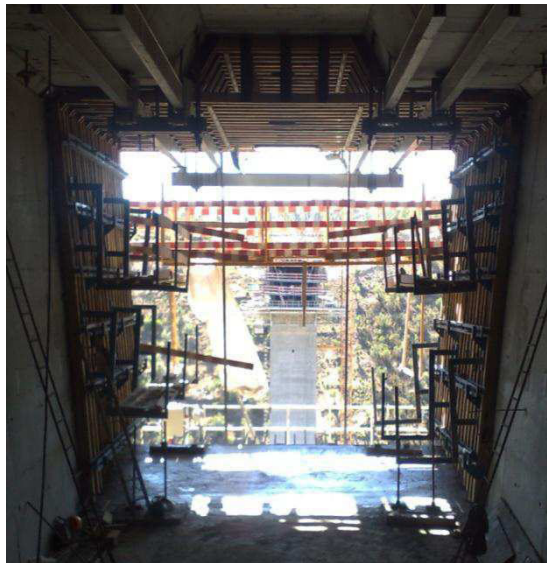


Figura 100 – PROC – Cofragem interior

#### 3.8.2.2.2 Metodologia Construtiva

O âmbito deste subcapítulo prende-se com a explicação dos processos a realizar em obra para a construção do tabuleiro da PROC, recorrendo a CA. Desta forma serão explicados os procedimentos desde que os CA chegam à obra até que sejam removidos da mesma no final da empreitada.

- a) Transporte e montagem do primeiro CA (lado do vão central, entre pilares)

Os CA são transportados, desmontados, em camiões até ao local onde se realiza a obra, sendo que é descarregado diretamente na plataforma de trabalho do pilar P1 e outra no P2.

O primeiro processo consiste no nivelamento e fixação dos carris com bogies ao tabuleiro/topo da AD00, seguidos dos pórticos e das asnas traseira e dianteira com as respetivas PT. Após montagem destes elementos (que no seu todo constituem a



estrutura principal, Figura 94), monta-se o conjunto de hidráulicos e pendurais sobre as asnas e no próprio tabuleiro/topo da AD00 com chapas e varões de suspensão.

De seguida faz-se a suspensão e aplicação da cofragem de fundo, da cofragem exterior (almas e abas) e da cofragem interior, todas elas com as respetivas PT. À medida que se vai posicionando e fixando as cofragens, vai-se verificando e afinando as contraflechas nos varões que as suspendem e colocando os negativos nas lajes da 1ª aduela.

b) Betonagem da primeira aduela (AD01A – 1ª aduela do lado do rio, vão central)

Betonagem lenta, cerca de 0,8 m/h, e de forma simétrica para cada lado da aduela (para cada alma).

- 1ª Fase – laje inferior;
- 2ª Fase – almas;
- 3ª Fase – laje superior.

c) Descofragem e aplicação de pré-esforço

Abertura da cofragem interior, aplicação de pré-esforço, e desancoragens e descida hidráulica de todas as cofragens.

d) Avanço do primeiro CA

Ripagem do primeiro CA até à posição de betonagem da segunda aduela e dos carris para a nova posição.

e) Montagem do segundo CA (lado do encontro), betonagem da AD01B (1ª aduela do lado do encontro), descofragem e aplicação de pré-esforço, e avanço do segundo CA

Ciclo de montagem igual ao do primeiro CA.

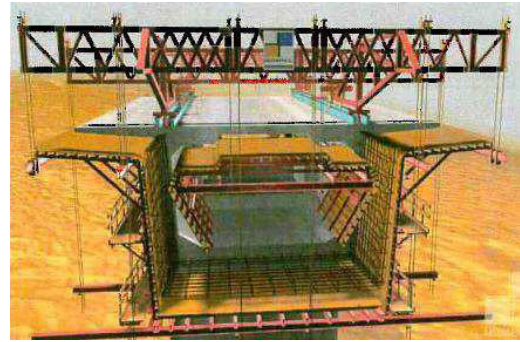
f) Ciclo de operações, sequenciais e em simetria, de ambos os CA ( Figura 101 a Figura 116)



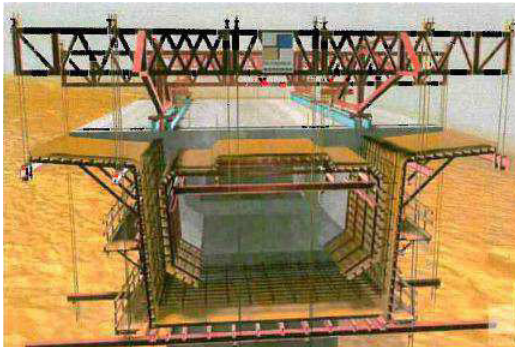
Após betonadas as AD01A e AD01B, o ciclo de operações passa a ser sequencial e em simetria com os dois CA a avançar em simultâneo. Deste modo faz-se a betonagem de duas aduelas de cada vez (uma de cada lado, simétricas em relação ao pilar).



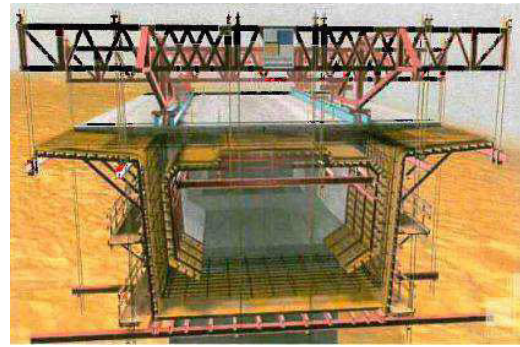
**Figura 101 – PROC – Colocação de armadura na laje inferior e almas [11]**



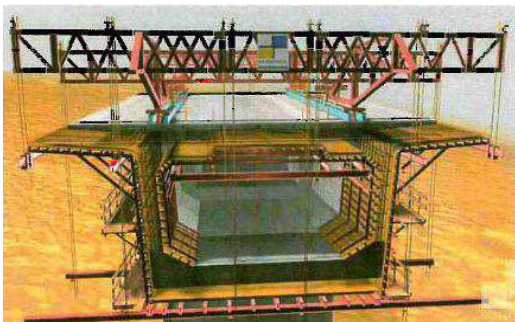
**Figura 102 – PROC – Ripagem da cofragem interior [11]**



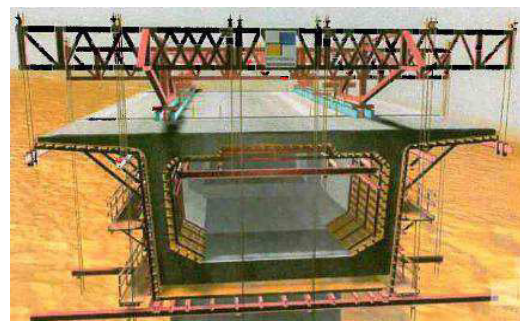
**Figura 103 – PROC – Subida, reposicionamento e montagem da cofragem interior [11]**



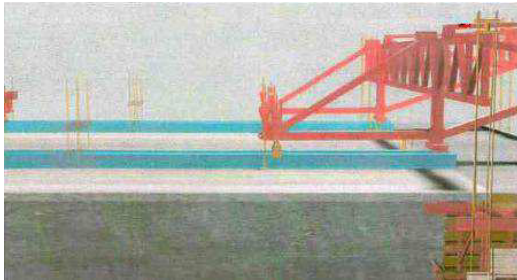
**Figura 104 – PROC – Colocação de armadura e colocação de negativos na laje superior [11]**



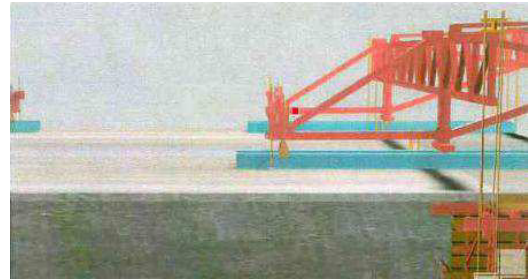
**Figura 105 – PROC – Betonagem da laje inferior [11]**



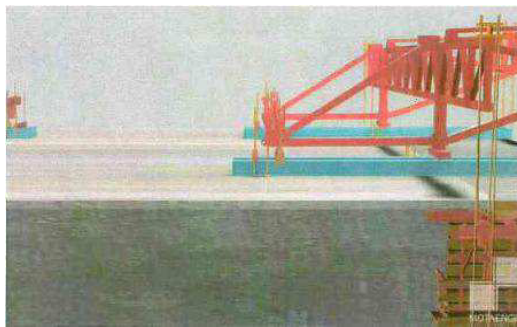
**Figura 106 – PROC Betonagem das almas e laje superior [11]**



**Figura 107 – PROC – Liberação dos carris [11]**



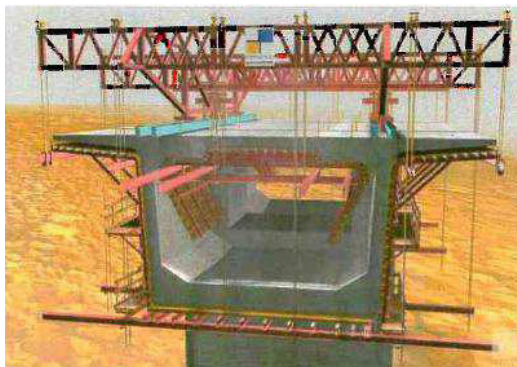
**Figura 108 – PROC Movimentação dos carris [11]**



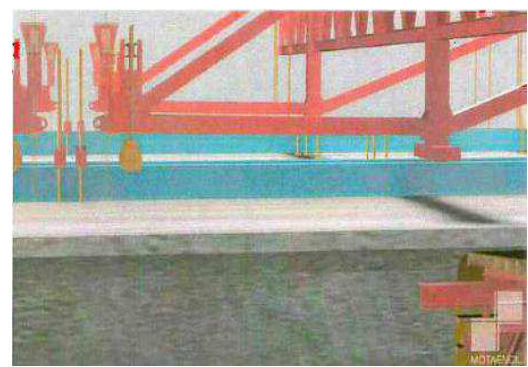
**Figura 109 – PROC – Fixação e nivelamento dos carris [11]**



**Figura 110 – PROC Abertura da cofragem interior e aplicação de pré-esforço [11]**



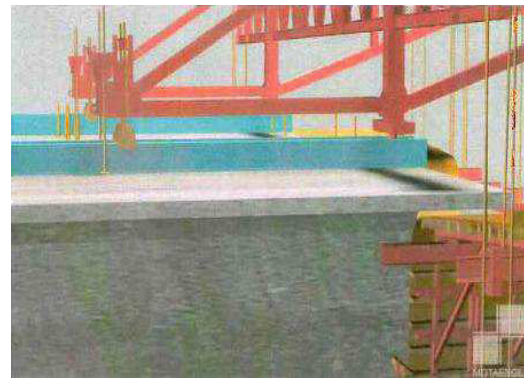
**Figura 111 – PROC – Descofragem exterior / fundo [11]**



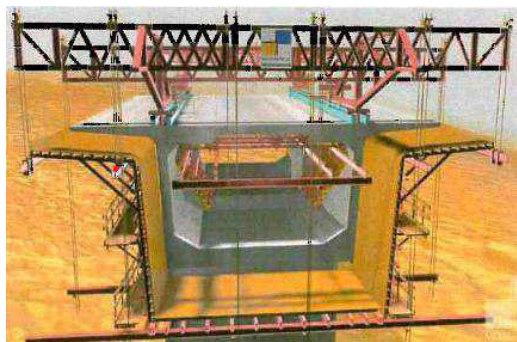
**Figura 112 – PROC Liberação da ancoragem do CA ao tabuleiro após fixação ao carril [11]**



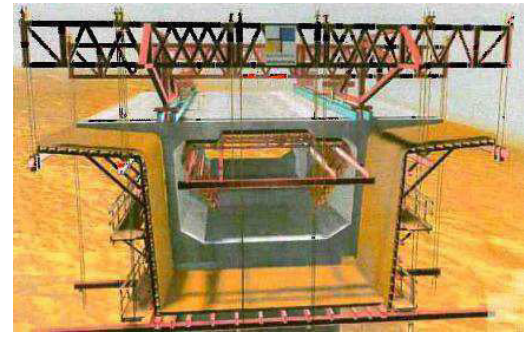
**Figura 113 – PROC – Movimentação hidráulica do CA [11]**



**Figura 114 – PROC – Fixação do CA ao tabuleiro após nivelamento hidráulico do mesmo [11]**



**Figura 115 – PROC – Subida da cofragem exterior / fundo tendo em conta a cota da betonagem e as contraflechas [11]**



**Figura 116 – PROC – Descofragem interior [11]**

Este ciclo de operações repete-se até à(s) aduela(s) de fecho, a partir de ambos os pilares. No fecho central, entre pilares, tem de se remover um CA, pois a betonagem dessa aduela apenas se realiza com um CA. No caso do fecho junto dos encontros, o CA “une-se” ao tabuleiro já betonado com auxílio de cimbra ao solo e só depois é removido.

A desmontagem/remoção dos CA é descrita no próximo tópico.

g) Desmontagem dos CA

- Remoção da cofragem interior de topo e laterais e desmontagem da PT dianteira, com o apoio da grua;
- Descida da cofragem de fundo / exterior e respetivas PT;
- Desmontagem das estruturas metálicas do CA situadas no tabuleiro.



Este processo de desmontagem/remoção dos CA é executada no local, no caso dos CA junto dos encontros, e na zona dos pilares, no caso dos CA do vão central (para que se possa usar a(s) grua(s) como equipamento de apoio para a descida dos seus elementos).

Os CA do vão central têm que se movimentar sobre os carris até junto das AD00. Este deslocamento decorre durante cerca de uma semana.

De um modo geral, as durações para a realização e conclusão de (pares de) aduelas desta dimensão e geometria são de cerca de uma semana, sendo dois dias para colocação de armaduras e cabos de pré-esforço e fecho da cofragem interior, um dia para a betonagem, e outros dois dias para aplicação do pré-esforço e avanço dos CA. No entanto à medida que se vai avançando, o tamanho das aduelas vai diminuindo e o mecanismo/rotina dos trabalhos vai sendo otimizado, pelo que a dada altura estima-se que seja possível realizar duas sequências de aduelas por semana.

### **3.9 Pré-esforço**

#### **3.9.1 Pré-esforço no Tabuleiro**

O pré-esforço no tabuleiro em obras construídas por este processo de CA é, geralmente, composto por duas famílias de cabos: cabos de consolas e cabos de solidarização. Nesta obra isso verifica-se (verificar Anexo F).

Os cabos das consolas são colocados na laje superior do tabuleiro e vão sendo tensionados no decorrer da obra de forma a resistirem ao aumento dos momentos negativos.

Os cabos de solidarização são colocados na laje inferior do tabuleiro, perto do meio vão, servindo para estabelecer a continuidade entre as consolas e resistir aos momentos positivos que surgem devido aos efeitos diferidos e às cargas de utilização.



### 3.9.2 Pré-esforço Exterior Eventual

O pré-esforço exterior eventual serve para garantir futuros reforços com pré-esforço, nessa eventualidade é instalado pré-esforço nos septos de desvio no interior da seção do tabuleiro.

Estes traçados de cabos estão pormenorizados no Anexo F.

### 3.9.3 Sistema de Equilíbrio Exterior

Para além do traçado de cabos de pré-esforço referido nos subcapítulos anteriores, e de forma a minimizar os esforços na fase construtiva do tabuleiro, com a estrutura executada a partir de cada um dos pilares, em “T”, previu-se a execução de um sistema de equilíbrio/atirantamento exterior, concretizado através de cabos de pré-esforço vertical.

Esse atirantamento do tabuleiro à sapata (solução tradicional em “V”) contribui para a estabilidade dos tabuleiros, garantindo uma redução dos esforços de flexão no topo do pilar. Introduce uma compressão adicional, benéfica, nos pilares e na ligação do tabuleiro ao pilar, que controla uma eventual fendilhação do pilar em situações de acidente ou de desequilíbrio durante a execução das consolas (aduelas), para além da mobilização favorável do sistema para a ação de vento excecional durante essa fase.

Cada “sistema de equilíbrio exterior” é constituído, em cada par de aduelas, por quatro tirantes ancorados nas sapatas, como ilustrado na Figura 117.

“Designa-se por Tirante a unidade constituída por dois cabos de aço de pré-esforço e respetivos dispositivos de ancoragem no tabuleiro e na sapata.

Cada Tirante será constituído por um conjunto de dois cabos de pré-esforço com 19 cordões de 15 mm cada um.” [6]

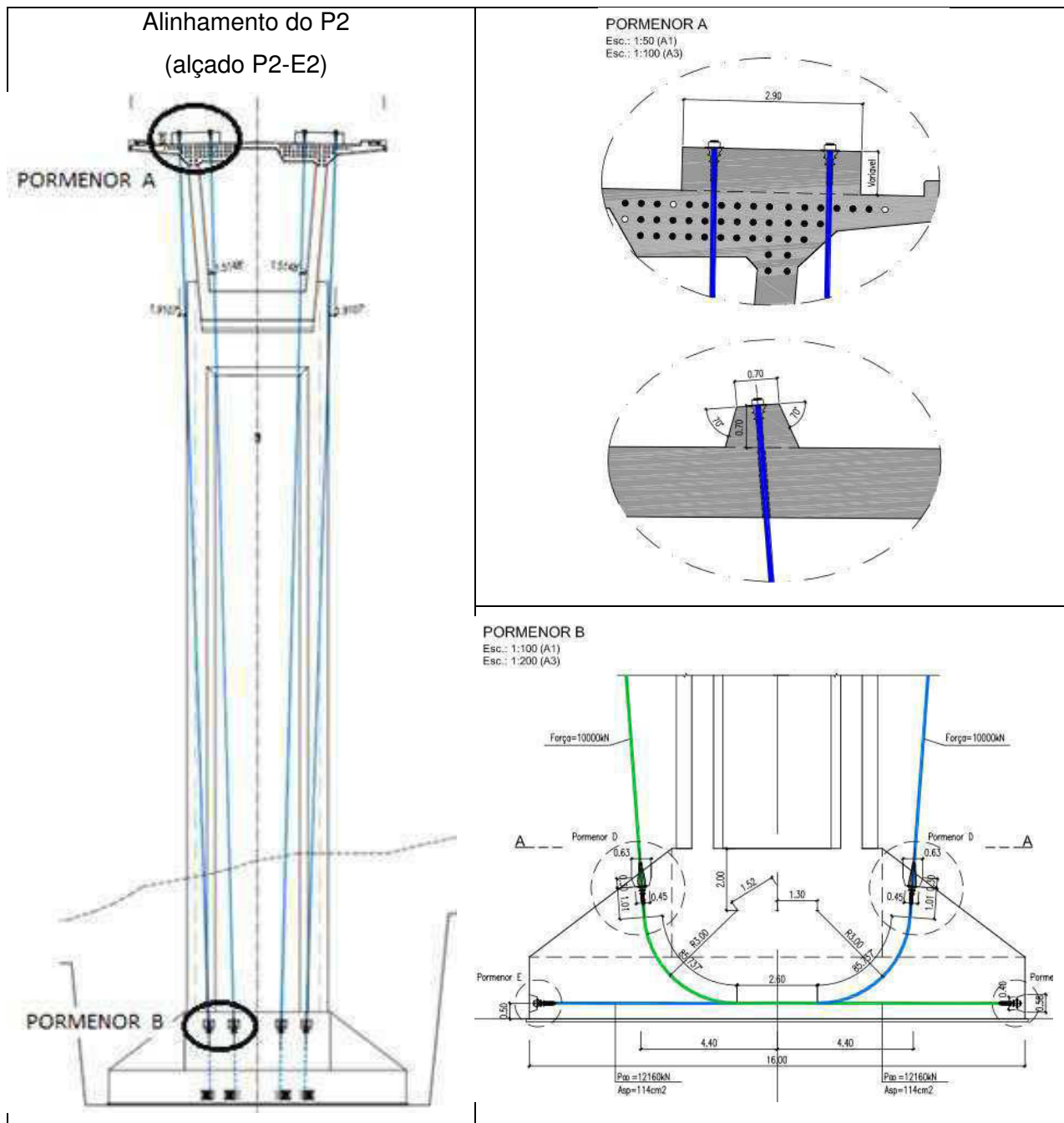
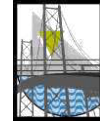


Figura 117 – PROC – Sistema de equilíbrio dos pilares. Pormenor [8]

Após a conclusão da aduela 8, são montados os tirantes de equilíbrio na aduela 2 (Figura 118). Estes tirantes (dois por pilar) têm cada um dos seus dois cabos tensionados com uma força de 2 500 kN, a que corresponde uma força total de 20 000 kN por pilar.



**Figura 118 – PROC – Sistema de Equilíbrio Exterior. Tirantes.**

O apoio de cada tirante no tabuleiro é feito através de dispositivos metálicos assentes em blocos de betão armado (executados no topo do tabuleiro, no alinhamento da(s) aduela(s) 2), ilustrados na Figura 119, que servem apenas para este fim e que posteriormente são destruídas. Estes dispositivos metálicos permitem, em caso de acidente, desenvolver a capacidade resistente dos cabos sem danificar o betão.



**Figura 119 – PROC – Apoio do tirante do sistema de equilíbrio exterior, no tabuleiro.**



Na sua base são ancorados na sapata do pilar. O pormenor da ancoragem desse sistema de pré-esforço às sapatas dos pilares está ilustrado na Figura 63.

“As placas de ancoragem destes cabos deverão ser dotados de placas aparafusadas e molas ou qualquer outro dispositivo que garanta um permanente aperto das cunhas de fixação dos cordões por forma a assegurar que, em caso de necessidade, seja possível desenvolver totalmente a capacidade do cabo sob solicitações alternadas de tração/força nula sem risco de escorregamento dos cordões.” [6]

A remoção dos tirantes está prevista após a conclusão do fecho central da obra.

### **3.10 Monitorização Estrutural**

“A importância da obra justifica que se implemente um plano de monitorização estrutural que apoie o controlo de geometria na fase de execução e o registo do comportamento da obra a longo prazo.” [6]

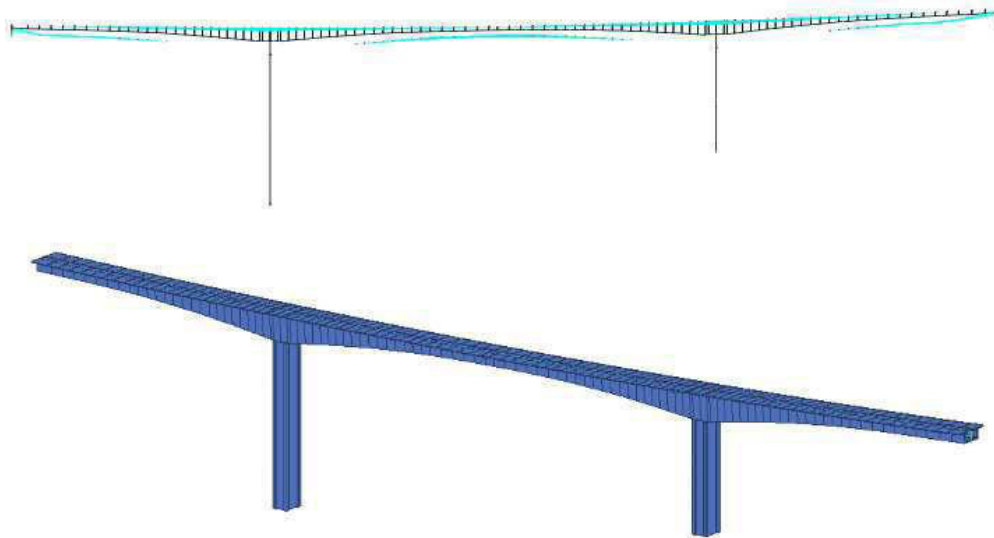
Quando sujeita a grandes carregamentos (essencialmente em fase de betonagem) a estrutura dos CA sofre deformações em regime elástico, tornando-se necessário ajustar os seus elementos para que lhe seja imposto um determinado valor de contraflecha, para que, mesmo após a deformação elástica da estrutura metálica, o tabuleiro de betão armado não sofra deformações excessivas nesse instante inicial/zero.

As contraflechas a serem tomadas variam consoante os vãos a executar e são calculadas utilizando, normalmente, programa(s) de cálculo automático, no entanto são ajustadas em fase de construção dependendo dos valores de deformação obtidos através das medições topográficas decorrentes na execução do tabuleiro. Esses ajustes são conseguidos através da regulação do conjunto de hidráulicos e pendurais sobre as asnas e dos varões de suspensão.

A estrutura foi previamente ensaiada e analisada através de um modelo de cálculo tridimensional (Figura 120), com recurso a um programa de cálculo automático (TDV-



RM2006), com a geometria da seção transversal dos seus elementos igual ao do Projeto de Execução da obra.



**Figura 120 – PROC – Modelo numérico do programa TDV – Alçado e 3D [12]**

A análise realizada com este programa, que considera automaticamente os efeitos diferidos do betão, fluência e retração, nas fases construtivas e a longo prazo (10 000 dias), permitiu avaliar os esforços, deformações e tensões, e determinar as contraflechas do tabuleiro.

Na determinação das contraflechas do tabuleiro tem-se em conta o faseamento construtivo da OA descrita da página 44 à 47, inclusive.

Com a análise da estrutura feita em TDV, pode-se constatar os seguintes aspetos:

- “ (...) a deformação do peso próprio e do peso dos carrinhos é quase equilibrada com o efeito do pré-esforço até à aduela 15. A partir daí registam-se



deslocamentos verticais nas consolas que o pré-esforço não contraria. Contudo, esses deslocamentos são moderados e serão compensados através do Plano de Contraflechas<sup>2</sup> (...).

- Entre a execução da aduela 8 e 9 aplica-se o sistema de equilíbrio o que origina uma ligeira deformação vertical no pilar e nas consolas (...).
- As maiores deformações ocorrem para as fases correspondentes aos fechos e para a acção da fluência a longo prazo.” [12]

A monitorização da estrutura, através do controlo de geometria, envolve essencialmente o controlo de deslocamentos durante a execução da obra. Esse controlo de deslocamentos concretiza-se com o controlo topográfico das coordenadas dos seguintes pontos (Ver Anexo I):

- Sapatas: quatro pontos em cada sapata (Figura 121)
- Pilar: três pontos no topo de cada pilar (Figura 122)
- Tabuleiro: um ponto no eixo de cada alma da aduela, em ponto a meio vão do banzo superior e dois pontos no banzo inferior, junto às almas, perfazendo assim um total de cinco pontos por seção de tabuleiro a medir (Figura 123 e Figura 124)

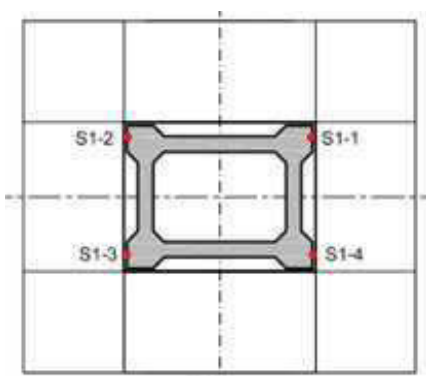


Figura 121 – PROC – Sapatas, instrumentação [12]

---

<sup>2</sup> Plano de Contraflechas – Quadro com contraflechas propostas para todas as fases construtivas.

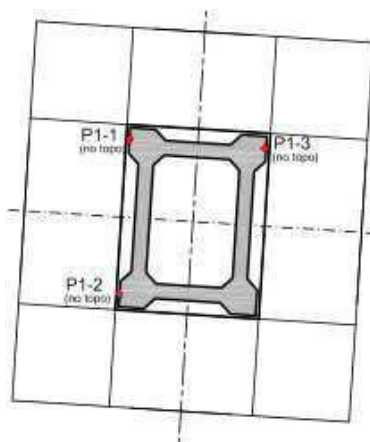


Figura 122 – PROC – Topo dos pilares, instrumentação [12]

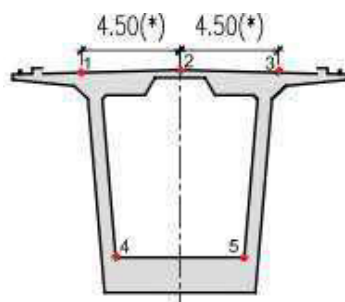


Figura 123 – PROC – Aduelas de avanço, instrumentação.

“Os pontos a colocar nas aduelas, a realizar com varão  $\phi 25$ , deverão ser soldados aos varões existentes e em local onde os espaçadores garantam uma rigidez adequada às armaduras. (...)”

Após a execução de uma aduela serão também medidas as espessuras dos banzos (...) por forma a detetar eventuais sobrepassamentos do betão ou movimentos nas armaduras.” [12]



**Figura 124 – PROC – Pontos para medição topográfica no tabuleiro**

As medições devem incidir também sobre as aduelas já executadas, nos pontos anteriormente indicados.

Quando se realiza uma medição deve-se registar o dia, a hora, a temperatura ambiente e outras condições meteorológicas que se ache necessário.

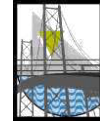
Os deslocamentos devem ser medidos ao início da manhã, enquanto as variações de temperatura ainda são reduzidas, devendo ainda assim registar-se a temperatura ambiente no local da obra (à sombra).

Para o tabuleiro, as medições dos pontos anteriormente referidos devem determinar:

- Cota da cofragem antes da colocação de armaduras;
- Cota dos pontos de medida após montagem das armaduras, antes da betonagem;
- Cota dos pontos de medida após betonagem;
- Cota dos pontos de medida após a aplicação do pré-esforço.

As medições dos deslocamentos devem ainda ser feitas antes e após os fechos do tabuleiro e após a execução do pavimento e restantes acabamentos.

Após a conclusão da obra devem ser colocadas novas marcas para o nivelamento do tabuleiro, sobre os dois lancis.



O acompanhamento da evolução da obra é fundamental para aferir os resultados do modelo de cálculo obtido através do TDV e para introduzir eventuais correções nas contraflechas, após se ter corrigido o modelo com os valores obtidos em obra.

Na altura dos fechos, e se se pretender corrigir essa posição, podem-se adotar vários procedimentos para introduzir correções de alguns centímetros: atuação no sistema de equilíbrio, introdução de contrapesos provisórios ou atuação das bainhas de reserva introduzindo pré-esforço adicional/eventual.

### 3.11 Ensaios dos Betões

“A dimensão da obra e a necessidade de um rigoroso controlo de geometria da estrutura na fase construtiva e a longo prazo, requer o conhecimento específico das propriedades do betão que vai ser aplicado na obra.” [6]

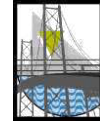
Deste modo, no início da obra foram feitos estudos da composição dos betões a aplicar. O betão foi definido de acordo com as normas NP EN 1992-1-1: 2010, NP EN 206-1: 2007 e especificação LNEC E464: 2007, constando essas classes no Quadro VII, no Quadro VIII e no texto a baixo.

**Quadro VII - Classes Mínimas de Resistência [8]**

|                        |   |
|------------------------|---|
| Tabuleiro              | C50/60                                    |
| Pilares                | C40/50                                    |
| Encontros              | C30/37                                    |
| Fundações              | C30/37 (na laje)<br>C35/45 (nas nervuras) |
| Betão de Regularização | C16/20                                    |
| Enchimento de Passeios | (Betão de agregados leves)                |
| Vigas de Bordadura     | C25/30                                    |

**Quadro XVIII - Classe de Exposição / Recobrimentos Nominais [8]**

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| Tabuleiro                    | XC4 / 50 mm |
| Pilares e Encontros          | XC4 / 50 mm |
| Sapatas e Lajes de Transição | XC2 / 50 mm |



Classe de Consistência  $\geq$  S3

Diâmetro Máximo do Inerte:  $D_{\text{máx}} = 22 \text{ mm}$

Para as composições descritas são realizados ensaios (ao longo da execução da obra) que permitem conhecer a evolução no tempo das características do betão.

Os ensaios de resistência à compressão simples são realizados aos três, sete e vinte e oito dias no caso de ser betão para as aduelas (tabuleiro), e aos sete e vinte e oito dias para os restantes elementos da PROC.

Os ensaios para determinar o módulo de elasticidade dos betões estão ao encargo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Internamente, e sem qualquer tipo de obrigatoriedade, são realizados ensaios de abaixamento (*slump test*) para medir e verificar se a consistência do betão que chega à obra é, de facto, aquela que é pedida e indicada no projeto de execução.





#### 4. CONCLUSÕES

A realização do estágio que deu origem a este relatório foi bastante importante para a aquisição de novos conhecimentos e também para a solidificação dos adquiridos ao longo do percurso escolar.

De um modo geral fez-se o acompanhamento do desenvolvimento da construção das obras e dos problemas que surgiram ou poderiam surgir se não se tivesse tomado as devidas precauções, assim como o modo de lidar com a situação e como resolvê-la.

Assimilaram-se os princípios básicos que levam ao sucesso da obra, ficando este a dever-se à qualidade do projeto e da mão-de-obra, à disponibilidade do equipamento e dos materiais, à boa comunicação entre o empreendedor e subempreiteiros, não descurando nunca do fator (talvez o) mais importante: o planeamento.

Um bom planeamento de trabalho/atividades tem inerente e interfere diretamente com fatores como: a mão-de-obra, os materiais e equipamentos, os rendimentos, a duração, os custos, etc.

O planeamento (inicial) deve ser objeto de monitorização constante ao longo da obra, para que, na hipótese de existirem alterações, atrasos ou necessidade de pormenorizar alguma(s) atividade(s), possa haver tempo para se “reagir” e corrigir ou reformular a situação, sem que com isso haja prejuízos para a obra.

Fruto da conjuntura atual do país, a obra sofreu alguns atrasos nas datas de entrega de materiais e/ou equipamentos, e reduzida mão-de-obra, devido a falhas de subempreiteiros, sendo um facto alheio à obra (empreendedor) e que este tem dificuldade em controlar.

Alterações ao projeto, como é exemplo a alteração dos perfis transversais tipo (PTT) da plena via (descrita no capítulo n.º 2.4, referente à movimentação de terras), deveriam ter sido realizados antes da aprovação do projeto para se evitar confusões e alterações de valores já anteriormente tomados como referência.



---

Áreas como a da Segurança, Qualidade e Ambiente têm cada vez mais um papel importante em todo o decorrer do projeto e obra propriamente dita.

Em suma, a realização deste estágio cumpriu os objetivos inicialmente propostos, devendo-se isso especialmente à oportunidade de interagir diariamente com equipas experientes que mostraram “de tudo um pouco” o que existe numa obra deste carisma.



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASCENDI, Apresentação Ascendi Pinhal Interior. Acedido em Maio de 2012. (<http://www.ascendi.pt/gca/index.php?id=108>)

[2] Subconcessão do Pinhal Interior, Lanço IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23), Projeto de Execução. Volume 21.1 – Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE).

[3] Subconcessão do Pinhal Interior, Lanço IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23), Projeto de Execução. Volume 4 – Traçado Geral [Revisão A]. Memória Descritiva e Justificativa.

[4] MARCHETTI, OSVALDEMAR, Pontes de Concreto Armado. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2008.

[5] ALMEIDA, S. M. F.; SOUZA, V. C. M.; CORDEIRO, T. J. R. Processos construtivos de pontes e viadutos pré-moldados no Brasil, 1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, Porto – Portugal, v.1, p.139-154, 2000.

[6] Subconcessão do Pinhal Interior, Lanço IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23), Projeto de Execução. Volume 18 – Obras de Arte Especiais, Ponte sobre o Rio Ocreza [PROC]. Caderno de Encargos – Clausulas Complementares.

[7] Subconcessão do Pinhal Interior. Lote 7 – Ponte sobre o Rio Ocreza. Estabilidade dos taludes de escavação para a construção das fundações dos pilares.

[8] Subconcessão do Pinhal Interior, Lanço IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23), Projeto de Execução. Volume 18 – Obras de Arte Especiais, Ponte sobre o Rio Ocreza (PROC). Memória Descritiva e Justificativa.

[9] Subconcessão do Pinhal Interior, Lanço IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23), Projeto de Execução Variante. Obras de Arte Especiais, Viaduto sobre a Ribeira de São Gens (VRSG). Memória Descritiva e Justificativa.



[10] Análise Estática. Memória Descritiva e Cálculos Justificativos. Pinhal Interior, Ponte de Ocreza, Lote 7 – Aduela Zero dos Pilares P1 e P2. Sistema de cofragem tipo PERI “Vario”, “Trio” e “Multiflex”, consolas SB-A0+A, perfis metálicos, cimbre tipo PERI “Rosett”, escoramento tipo PERI “Multiprop”, para execução das quatro fases de betonagem das Aduelas.

[11] PINHAL, Construtoras das Estradas do Pinhal Interior, ACE. Lote 7 – IC8 – OBRAS DE ARTE. Recondicionamento dos Carros de Avanço 419.001 e 419.005. Memória Descritiva e Justificativa.

[12] Subconcessão Pinhal Interior - IC8 – Lanço Proença-a-Nova / Perdigão. Ponte Sobre o Rio Ocreza. Processo Construtivo. Controlo de Geometria. Cálculos Justificativos. Maio 2012. A2P, Estudos e Projetos.

[13] Subconcessão do Pinhal Interior, Lanço IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23). Parametriação.

[14] Subconcessão do Pinhal Interior, Lanço IC8 - Proença-a-Nova / Perdigão (A23), Projecto de Execução. Volume 17 – Obras de Arte Correntes, PI 13. Memória Descritiva.

[15] Apontamentos da Unidade Curricular de Pontes e Viadutos. (001 - Folhas\Cap 6 - Construção por Avanços\Pontes Construídas por Avancos Sucessivos - AnexoA - ISEL.pdf)

[16] Roque, Carlos A. Influência das Características da Área Adjacente à Faixa de Rodagem na Sinistralidade Rodoviária. Tese de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico de Lisboa. 2001.