



Sbo

Sebentas d'Obra Ciclo de construção, do projecto à obra

#04, abril 2016
Ponte de S. João
 Porto e Vila Noxa de Gaia

Edgar Cardoso

#20 AF 010, NORMAIS AO
 INTRADORSO NA ZONA PRO-
 XIMA DOS PILARES PRINCIP-
 AIS E VERTICAIS NO RES-
 TANTE

#20 AF 020
 #32"

desenhar no papel aduado b

*apresentar aduado a h = 625
 Para os aduados
 desenhados no papel aduado b = 4 625
 Para os aduados a h = 775
 desenhados no papel aduado b = 4 775*

PRELIMINAR EM REVISTA
 2016/04

LEGENDA

- PREESFORÇO FINAL DE -400 II
- PREESFORÇO FINAL DE -280 II
- PREESFORÇO FINAL DE -190 II
- ⚡ ARMADURAS DE A40M

NOTA
 (-) ESTA ARMADURA DE #32 É REDUZIDA
 PARA #25 E #20 EM CERTAS SITUAÇÕES

*ver
 seguir de o 2016/04*

Editor

Cadernos d'Obra

Diretor

Vitor Abrantes

Coordenação Editorial

Bárbara Rangel

Comissão Editorial

Abel Henriques

Ana Sofia Guimarães

António Silva Cardoso

Joaquim Poças Martins (presidente da OERN)

Paulo Conceição

Rui Faria

Conceção Gráfica

Incomun

Textos

Luís Lousada Soares

Retirados do livro SOARES, Luís Lousada. *Edgar Cardoso, engenheiro civil*. Porto: FEUPedições, 2003, p. 295-309.

Fotografia

Rui Romão

Impressão

Rainho e Neves

2.ª edição, setembro 2019

Depósito legal: 336727/11

ISSN 2184-6065

Tiragem: 500 exemplares

Preço por número

4,50 euros

Publicação periódica

n.º 4. Ano II, abril 2016

Propriedade

FEUP/DEC

R. Dr. Roberto Frias s/n

4200-465 Porto

Portugal

Tel./fax: + 351 22 508 19 40

cdo@fe.up.pt

É proibida a reprodução sem a autorização escrita dos autores e do editor.

A exatidão da informação, os copyrights das imagens, as fontes das notas de rodapé, bem como a bibliografia, são da responsabilidade dos autores dos artigos, razão pela qual a direção da revista não pode assumir nenhum tipo de responsabilidade em caso de erro ou omissão.

A iniciativa “Fora de Portas engenharia civil à mostra”, resulta da colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil da FEUP, a Mostra da UP e o Município do Porto. Realiza-se no contexto da iniciativa Porto Innovation Hub (PIH), que pretende envolver os cidadãos e visitantes da Invicta na descoberta da inovação que transformou a cidade nos últimos séculos. Através da visita a locais históricos e infraestruturas emblemáticas do Porto, procura-se demonstrar o impacto direto da inovação na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O PIH é uma iniciativa do Município do Porto que pretende ser uma plataforma para o fortalecimento do ecossistema de inovação e empreendedorismo da cidade, contribuindo desta forma para que o Porto se possa destacar no panorama nacional e internacional como uma cidade inovadora e criativa. O PIH propõe a criação de um espaço de experimentação e laboratório vivo, potenciando cenários e oportunidades de desenvolver novos produtos, métodos ou conceitos à escala urbana, contribuindo, assim, para a cultura de transformação para a inovação.

Editorial. As **Sebentas d'Obra** juntaram-se às ações de divulgação da Engenharia Civil, que o Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto tem vindo a desenvolver, promovendo um conjunto de visitas/conferências a locais emblemáticos do Porto intitulada *Onde Está a Engenharia?* Com estas ações, pretende-se dar a conhecer as diferentes vertentes da Engenharia Civil, muitas vezes escondidas nas várias infraestruturas que suportam o nosso quotidiano. Do planeamento, à hidráulica marítima, do tráfego à reabilitação procurar-se mostrar qual o papel do Engenheiro Civil na consolidação e manutenção do ambiente construído explicando como se materializam os conceitos da Física em edifícios e grandes construções.

Para a quarta edição das **Sebentas d'Obra**, foi inevitável escolher uma das mais belas Obra de Arte da Engenharia Civil portuguesa, a **Ponte de S. João**, do Prof. Edgar Cardoso. Com a ajuda dos textos do Eng. Luís Lousada Soares fazemos nesta edição uma breve "viagem" ao processo de construção desta ponte, desde da fundação dos pilares ao teste de carga antes de passarem os comboios. Com o valioso espólio de imagens de obra gentilmente cedidas pelo fotógrafo Rui Romão, descobri-se como foram construídos os pilares dentro de água, como se consolidou o tabuleiro e como a ponte Maria Pia foi ficando emoldurada por um "Pi" majestoso sobre o rio Douro.

Na conferência o Eng. Luís Afonso, que acompanhou todo o processo ao lado do Prof. Edgar Cardoso contar-nos-á as vicissitudes de projeto e da obra. O Prof. Matos Fernandes fará o enquadramento da importância desta ponte no contexto histórico e científico nacional e internacional da época e da atualidade. O também Engenheiro Civil, Vereador Patrocínio Azevedo revelará quais os planos que o Município de Vila Nova de Gaia perspectiva para esta zona da cidade.

Porto, 28 de abril de 2016, Barbara Rangel

A **Ponte de S. João** sobre o rio Douro no Porto, de betão pré-esforçado, foi a última grande obra do engenheiro Edgar Cardoso, que contava já 78 anos à data da sua conclusão (em junho de 1991).

Hoje, 25 anos depois, o seu vão central de 250 m é ainda recorde mundial para pontes ferroviárias construídas por avanços. Para além disso, terá sido a obra em que Edgar Cardoso introduziu mais inovações e soluções engenhosas, começando nas fundações e terminando nas condições de instalação da via férrea sobre o tabuleiro da ponte!

Raras serão as obras de engenharia – a Ponte da Arrábida é seguramente uma delas – em que o Engenheiro e a Arte se associam de modo tão intenso e elevado.

De facto, como acontece com as verdadeiras obras de arte, o tempo e as sucessivas vezes que a observamos, reforçam a admiração pela obra acabada, desde o apurado desenho dos pilares principais e da viga-caixão que os remata, à inserção nas duas margens e à forma como dialoga com a vizinha Ponte Maria Pia, outra obra-prima da engenharia de pontes.

O texto que se segue é da autoria de engenheiro Luís Lousada Soares, já falecido, a quem desta forma prestamos também homenagem. Foi Diretor da FERDOURO, o consórcio de empresas (Soares da Costa, Teixeira Duarte e OPCA) responsável pela construção da Ponte de S. João e autor do magnífico livro "Edgar Cardoso, engenheiro civil" da FEUP edições. As fotografias são da autoria de Rui Romão (Soares da Costa), a quem expressamos sentidos agradecimentos.

Porto, 23 de abril de 2016, Manuel Matos Fernandes

"Quem navega hoje pelo rio Douro acima encontra as pontes ferroviárias Maria Pia e de S. João separadas por escassos 180 metros e por 114 anos de idade. Certo dia, tive a oportunidade de dizer ao Professor Edgar Cardoso – "elas são uma ponte de aço dos fins do século XIX, e uma ponte em aço revestido de betão dos fins do século XX..." Ele sorriu, achou que assim era.

A Ponte Maria Pia, obra de Gustave Eiffel, está desativada. Já ali não passam os comboios da Linha do Norte, aos 20 km/hora permitidos. Oxalá a indispensável manutenção mínima permita que ela se mantenha de pé por muito tempo, como um notável exemplar da engenharia do tempo dos nossos bisavós.

A Ponte de S. João, complementada pelos viadutos de acesso, atravessa com grande elegância o rio Douro e suas margens ribeirinhas. A bela silhueta de secção variável, desde os encontros até aos dois pilares principais, integra-se na paisagem de forma magnífica, oferecendo belas perspectivas e contrastes pela proximidade da sua antecessora.

Recordo as nossas preocupações durante a obra, ao constatar-mos que o projeto dos pilares principais obrigava a que cada anel de cofragens só pudesse ser aplicado duas vezes... uma no pilar esquerdo, outra no direito. Reconheço todavia que é o design dos fustes – a interseção de um parabolóide de revolução com dois hiperbolóides regrados – que confere à Ponte de S. João grande parte da sua beleza, uma verdadeira escultura moderna erguida no vale do Douro. Recorde do mundo de vão central para pontes ferroviárias deste tipo (ainda hoje)."

Ponte de S. João



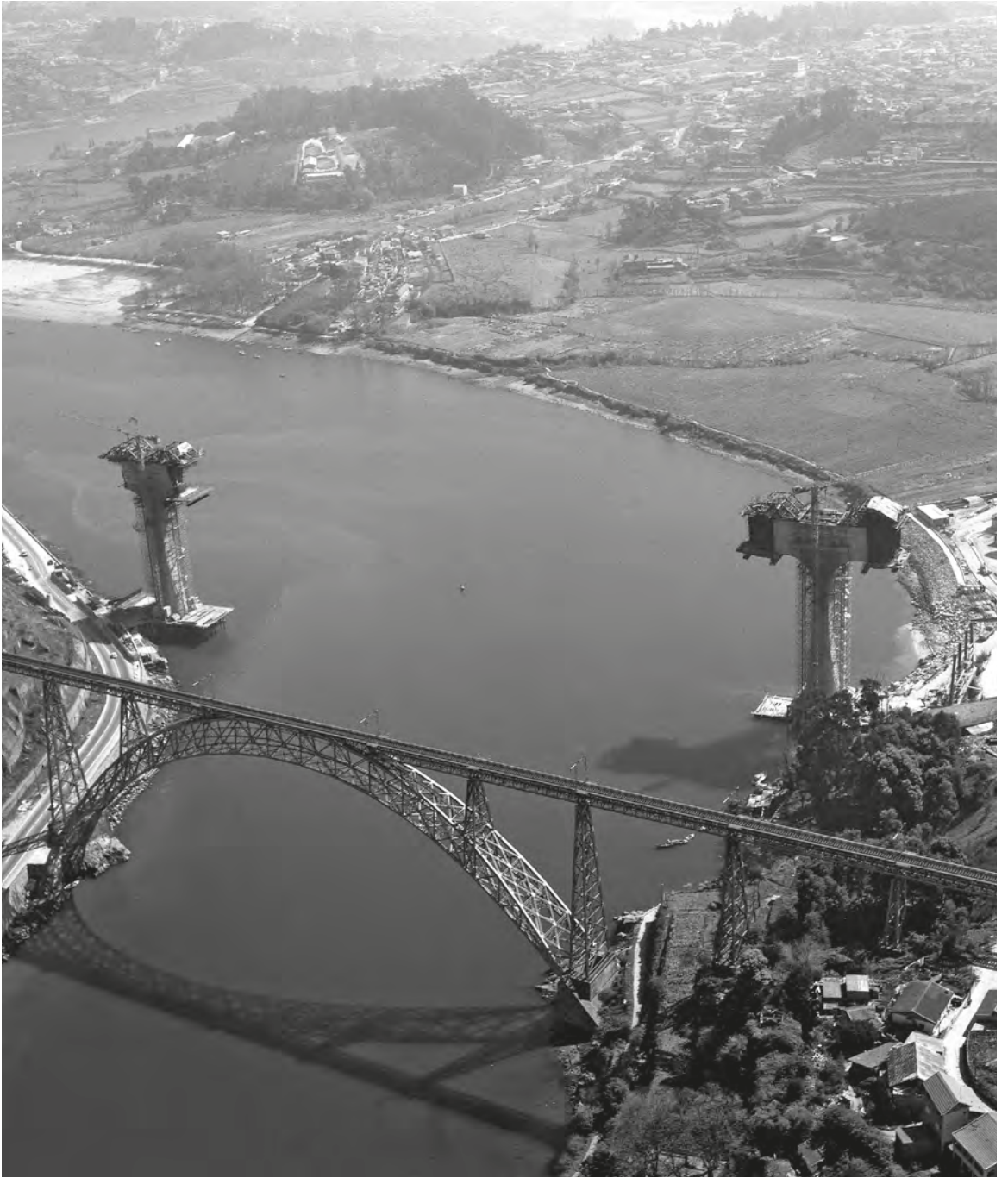


“A conceção do novo traçado ferroviário entre Devesas e Campanhã, para além da duplicação da via, visou diminuir o número de curvas (de sete para três), diminuir as inclinações e melhorar as estações envolvidas.

Na margem direita, foram construídas três obras de certa dimensão - o novo Viaduto das Devesas, a Estação General Torres e o Túnel da Serra do Pilar. Na margem direita estende-se um grande viaduto (690 m) que se projeta no enfiamento da ponte até à junção, sobre o Viaduto de Rego Lameiro, com as vias que vêm da Estação de S. Bento, no centro do Porto.

A ponte principal e seus viadutos de acesso perfazem um total de 1028,80 m de extensão, correspondendo 358,80 m ao viaduto sul (pilares E2, E3, E4, E5, E6 e E7), 500,00 m à ponte (pilares E1 e D1) e 170,00 m ao viaduto norte (pilares D2, D3 e D4).

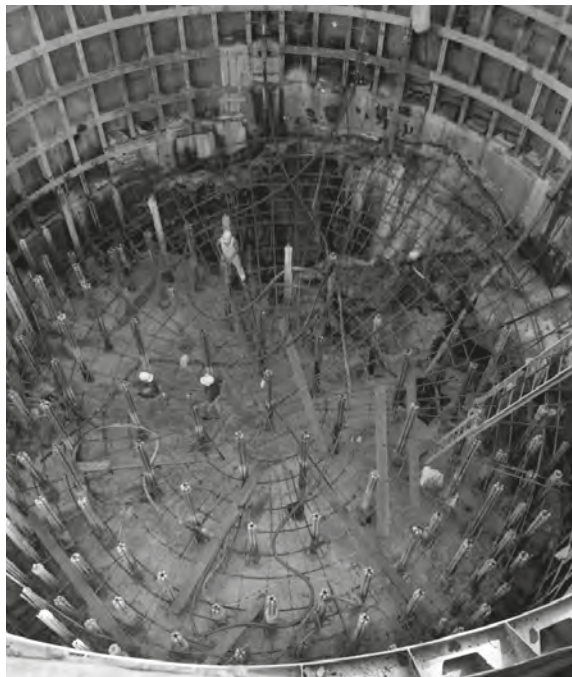
A ponte tem a forma de um “pi”, com vão central de 250,00 m. Os seus pilares (E1, D1) foram construídos no leito do rio, próximo das margens.”



“Cada um deles apoia-se num enorme cilindro de betão armado, com 14,00 m de diâmetro, “cozido” ao *bed-rock* em que assenta por 180 microestacas, das quais 130 estão armadas com cinco varões de aço A500, Ø 50 mm, e 50 com oito varões de aço A400, Ø 32 mm. Sobre cada cilindro foi construído o fuste do pilar, que varia desde uma coroa circular de 12,00 m de diâmetro exterior, com 1,00 m de espessura, no arranque, até uma secção retangular, com 6,70 x 5,00 m no ponto mais esbelto, à cota 46,00 m. Tudo talhado pelos já referidos paraboloide e hiperboloides.”



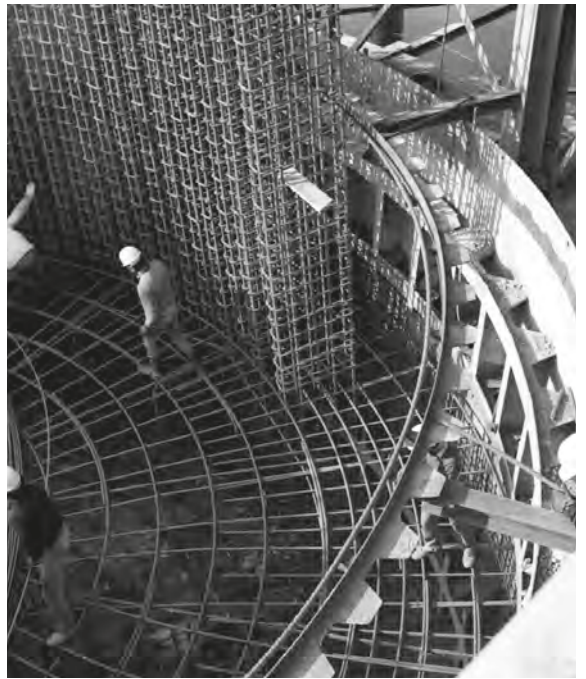
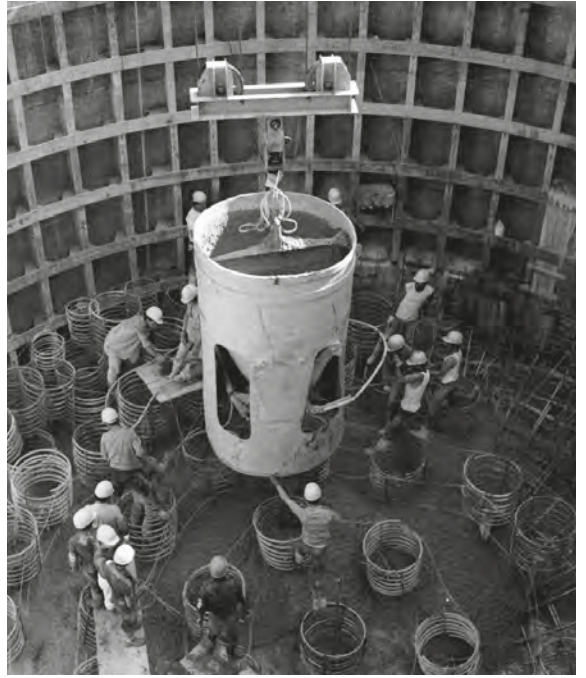


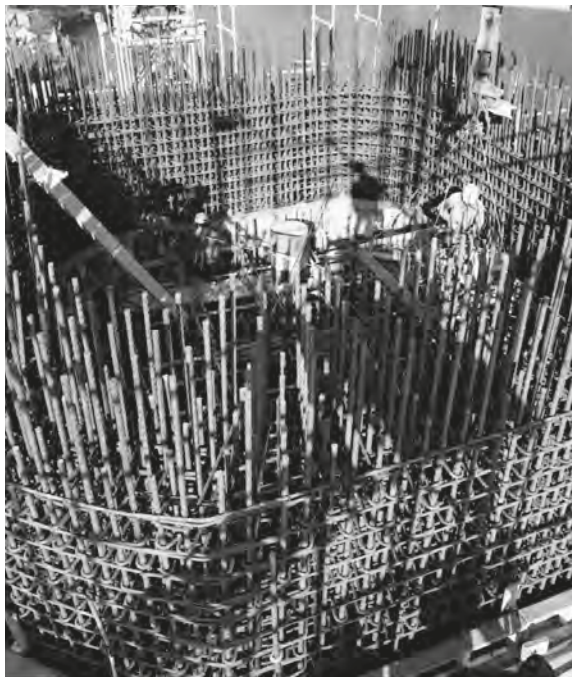


“Uma das fases mais complexas da construção da ponte foi sem dúvida a das fundações dos pilares principais. Do lado sul (Pilar E1) o *bed-rock* apresentava-se em granito duro que ao decorrer da obra veio a revelar como mais diaclasado que o previsto.

Começou-se por pré-fabricar e posicionar em pleno rio uma plataforma metálica de acesso, octogonal, com dois níveis de trabalho, que no seu interior deixava um espaço suficiente para a instalação de uma ensecadeira em aço, de dupla “saia” na parte inferior, com 14,00 m de diâmetro interior. Esta ensecadeira, subdividida em setores, foi montada em anéis sucessivamente descidos por quatro macacos hidráulicos a partir do nível superior da plataforma. O bordo inferior da ensecadeira estava previamente recortado de acordo com o perfil do *bed-rock* desenhado a partir de sondagens executadas para esse efeito.

A dupla “saia” da ensecadeira formava com os perfis verticais células que foram preenchidas por betão submerso antes de este ser atravessado por ancoragens que iam até à rocha para dar segurança ao conjunto em caso de cheias do rio.”





“A selagem na zona de contacto foi auxiliada pela colocação, pelo interior da ensecadeira, de sacos de betão fresco, debaixo de água, e ainda com colocação de betão submerso do lado exterior da ensecadeira, numa gola formada com um dique realizado igualmente com sacos de betão fresco. Todos estes trabalhos decorreram com apoio de mergulhadores.

Selada a zona de contacto, procedeu-se à betonagem submersa da parte inferior do embasamento, cuja parte mais profunda foi iniciada a 13,50 m abaixo do nível médio do rio.

Depois, já a céu aberto, fez-se nova betonagem até à cota - 7,00 m. A partir da plataforma assim obtida procedeu-se às furações de Ø 10” para as microestacas que iriam “cozer” o pilar ao leito rochoso do rio, nele penetrando até 8,00 m. Devido à percolação da água sob pressão proveniente de diaclases profundas, a injeção das microestacas teve de ser realizada com a mangueira previamente enfiada num tubo vertical montado sobre o furo e cheio de água até uma cota superior à do nível do rio. Assim se obteve um equilíbrio de pressões que

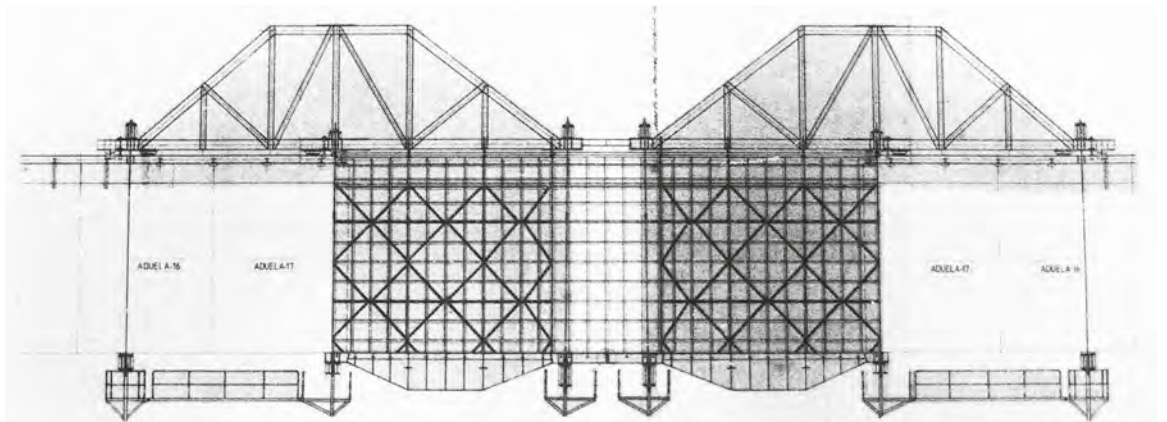
parou a percolação e permitiu a estabilização da calda de injeção.

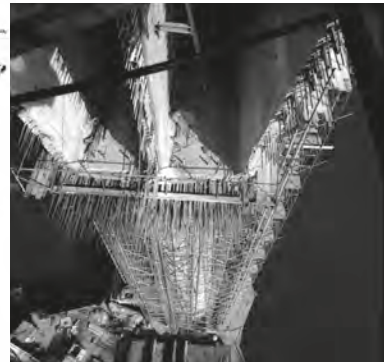
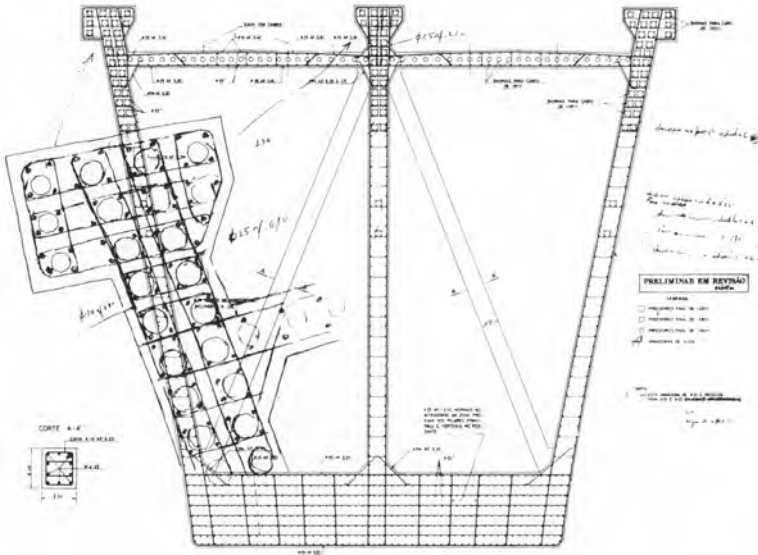
Às pontas dos varões das microestacas foram soldadas armaduras helicoidais que, integradas na armadura da camada de betão seguinte, têm a função de evitar o efeito de punçoamento.”

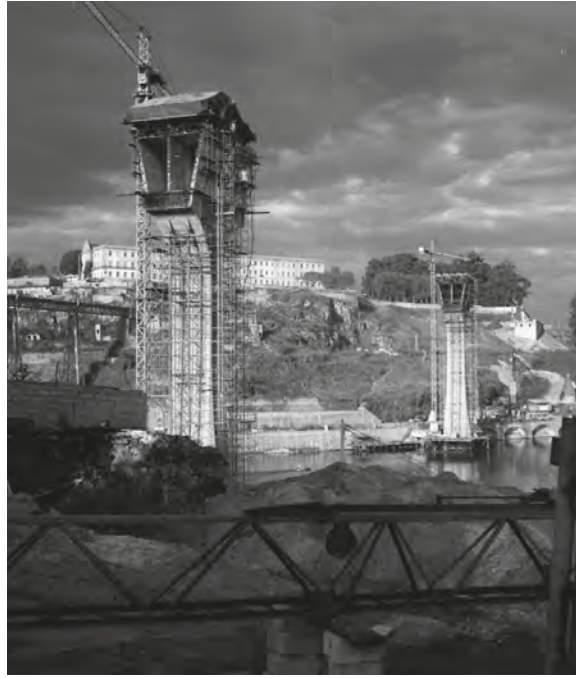


“O fuste foi construído por métodos tradicionais. A sua parte superior, amaciçada a partir da cota 44,00 m, implicou cuidados particulares devido ao facto de a densidade de armadura ultrapassar os 800 kg/m³.

No topo do pilar e a partir deste foram construídos os arranques da superestrutura com 10,00 m para cada lado do eixo. Nesses 20,00 m montaram-se os carrinhos de avanço.”







“O tabuleiro ou superestrutura da ponte, cuja plataforma fica à cota 66,00 m, é constituído por uma viga-caixão bicelular, de secção trapezoidal, com altura variável entre 12,00 m, junto dos pilares principais, e 6,00 m sobre os pilares de transição para os viadutos de acesso. As espessuras das três almas vão de 0,36 m a 0,48 m, e a da laje de fundo varia entre 2,45 m e 0,30 m (a meio-vão e nos viadutos), respetivamente.

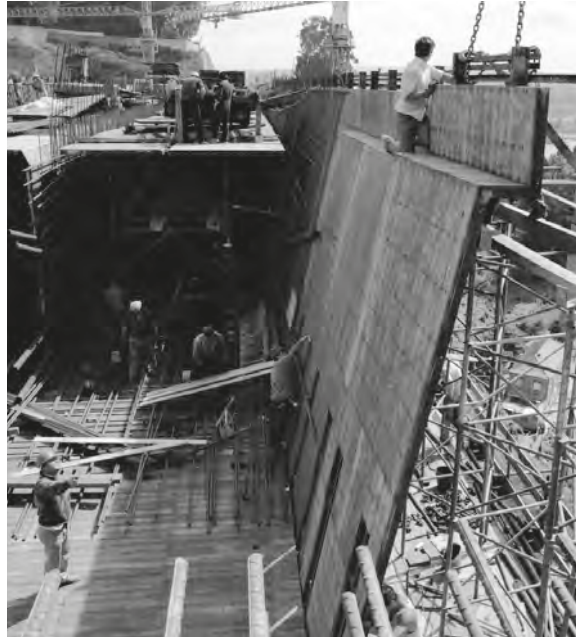
A viga-caixão comporta dois tipos de cabos de pré-esforço interno: o longitudinal e o vertical. O longitudinal é constituído por cabos de 500 tf, de 24 *strands* de 0,6”, dispostos nas três almas, por cabos de 12 *strands* de 0,6” na laje superior e na zona dos pilares E1 e D1, e ainda por cabos de 500 tf, de 24 *strands* de 0,6”, na laje inferior a meio-vão.”











“A construção por avanços sucessivos foi assegurada por conjuntos de seis cabos por aduela, dois por alma. A bainha dos cabos longitudinais foi materializada em tubo metálico de 4” e 3” para os cabos de 500 e 250 tf, respetivamente. Estes tubos bainha passaram a integrar a armadura passiva da secção. O pré-esforço vertical, nas três almas, foi realizado por *mono-strands* de 0,6” para 19,4 tf cada um.

No interior das células do caixão foi colocado o sistema de pré-esforço externo - entre os pilares de transição E2 e D2 foram colocados 14 cabos de 24 *strands* auto-embainhados de 0,6”, com 500,00 m de comprimento com aplicação de 500 tf por cabo. Para assegurar a absorção-correção de efeitos de fluência ao longo do tempo, foram deixadas seis bainhas vazias, três de cada lado, para colocação futura de outros tantos cabos de 500 tf.”





“Os viadutos de acesso têm vãos tipo de 60,00 m, complementados por outros menores (um de 58,80 m a sul, outro de 50,00 m a norte).

Os encontros foram fundados através de poços, circulares a sul, quadrangulares a norte.

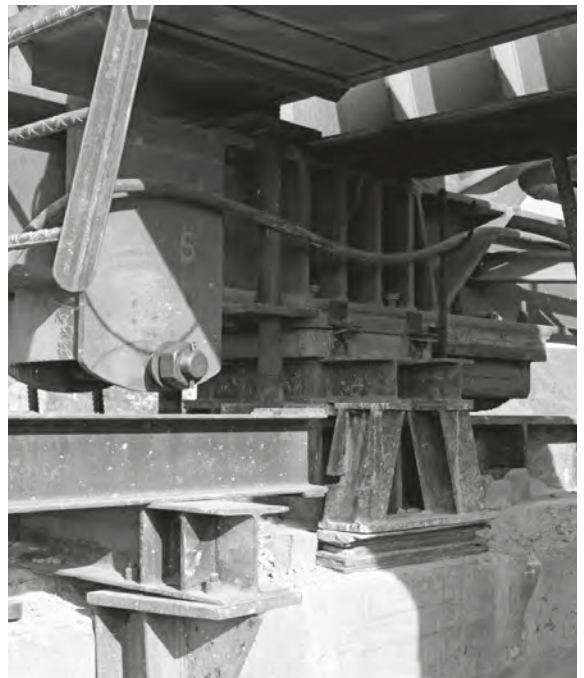
Os pilares, cuja altura varia entre 12,00 e 42,00 m, estão assentes em grandes maciços de betão preenchendo os poços de 10,00 x 5,00 m até aos estratos de resistência adequada, atingindo por vezes 18,00 m de profundidade.

No caso particular do pilar D2, recorreu-se à tecnologia das paredes moldadas devido à pouca consistência do terreno superficial nessa zona.

As superestruturas dos viadutos não são mais do que a continuação da superestrutura da ponte principal, com ela formando uma viga contínua de 1028,80 m. O apoio nos pilares dos viadutos é feito por meio de apoios móveis.

Para os encontros foram desenhados, construídos e instalados aparelhos de absorção de esforços rápidos que, permitindo movimentos lentos como a deformação da viga por variação de temperatura, se opõe a movimentos rápidos, tais como os provocados pela travagem de um comboio ou por um sismo.

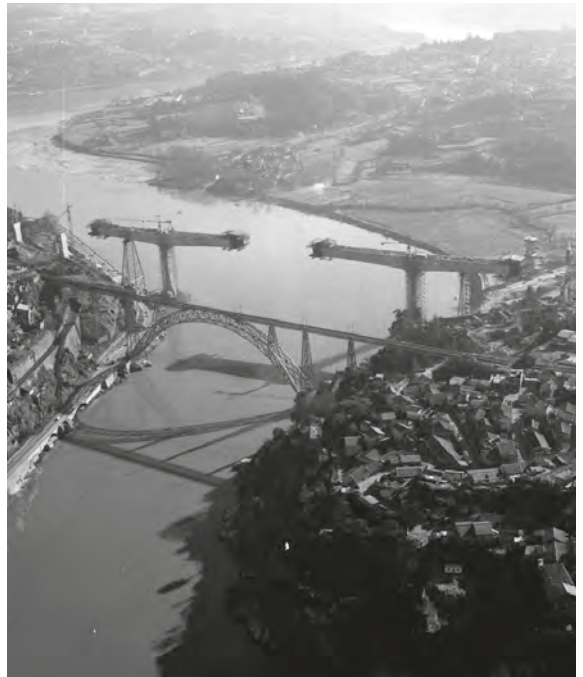
A via é assente sobre betão armado, sem balastro.”





“Nas zonas de aterro sobre laje armada e pré-esforçada; no túnel, viadutos e ponte sobre longarinas de betão armado monoliticamente ligadas à laje que as suporta.

Entre as longarinas e as vigas de bordadura e central foi concebido um revestimento de betão sem finos, aplicado sobre a impermeabilização da laje da ponte, que funcionará como dispositivo de frenagem em caso de descarrilamento.”





Dono da Obra: Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações, Secretaria de Estado das Obras Públicas, Gabinete do Nó Ferroviário do Porto

Fiscalização: BRATEX - Agrupamento para a Consultadoria e Gestão de Projetos, ACE

Data do Anteprojeto: 1983

Construtor: FERDOURO - Construção de Pontes e Ferrovias, ACE, constituído pelas empresas Sociedade de Construções Soares da Costa, SA, Teixeira Duarte Engenharia e Construções, SA e OPCA - Obras Públicas e Cimento Armado, SA

