



II CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

A tecnologia da protensão orgânica - novas soluções para a construção de pontes de concreto

Pedro Pacheco, Phd

CEO BERD; Prof. da FEUP, Portugal Pedro.Pacheco@BERD.eu

António P. Adão da Fonseca

Director de Projectos BERD, Antonio.AdaodaFonseca@BERD.eu

António Guerra

Investigador e Projectista BERD, Antonio.Guerra@BERD.eu

Pedro Borges

Investigador e Projectista BERD, Pedro.Borges@BERD.eu

Hugo Coelho

Investigador e Projectista BERD, Hugo.Coelho@BERD.eu

Resumo:

Ao longo da última década têm sido desenvolvidos vários trabalhos de investigação, desenvolvimento e aplicação na área da protensão orgânica. Este processo foi particularmente dinamizado a partir de 2005, data na qual foi realizada a primeira aplicação à escala real, no processo construtivo de uma ponte no Norte de Portugal, com resultados surpreendentes.

Este artigo faz um resumo histórico desse processo de investigação e desenvolvimento, ilustrando e caracterizando os aspectos fundamentais das soluções para a construção de pontes em concreto que esta nova tecnologia viabiliza.

Palavras-chave:

Protensão orgânica, Pré-esforço orgânico, OPS, Controlo estático, Cimbres autolanzáveis, Construção de Pontes.

1 Introdução

O sistema de protensão orgânica (OPS) não é mais do que um sistema de protensão, no qual as forças introduzidas nos cabos são automaticamente ajustadas às cargas actuantes, reduzindo deformações e minimizando as tensões na estrutura.

As vantagens da aplicação de protensão orgânica em estruturas com rácios elevados entre cargas variáveis e cargas permanentes, como é o caso dos cimbres auto-lanzáveis usados na construção de tabuleiros de pontes, são muito relevantes. Com efeito, a aplicação desta nova tecnologia permite a concepção de estruturas substancialmente mais leves e funcionais.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

O presente artigo oferece uma perspectiva geral do vasto trabalho de génese de uma nova geração de cimbres auto-lançáveis. É feita uma descrição sumária do Cimbra do Rio Sousa (primeira aplicação à escala real), sendo também apresentadas novas soluções em desenvolvimento, nomeadamente:

- um equipamento do tipo cimbra superior para construção de dois tramos por ciclo que, tirando partido da simetria do carregamento, funciona como uma estrutura atirantada com controlo activo da força nos tirantes.
- um equipamento do tipo cimbra superior que é uma estrutura de aço caracterizada por ter uma corda superior em arco e uma corda inferior controlada activamente por um sistema de protensão orgânica. No fundo, trata-se de uma estrutura metálica tipo “bow-string” na qual o tirante é activo.
- um equipamento híbrido capaz de construir pontes tramo a tramo com vãos até 90 m (o que anteriormente apenas era possível para vãos até cerca de 70 m).

Para cada caso, após uma descrição geral, são apresentados aspectos do dimensionamento das estruturas principais, sendo explicada a integração do sistema de protensão orgânica e da cofragem. São ainda apresentadas algumas considerações sobre o ciclo tipo de trabalho e as particularidades de funcionais de cada máquina. Finalmente são apresentadas as conclusões, nas quais se destacam a considerável redução de peso das soluções apresentadas quando comparadas com equipamentos semelhantes, mas acima de tudo a significativa redução de deformações das estruturas durante a fase de colocação do concreto.

2 Perspectiva histórica – A experiência da Ponte do Rio Sousa

2.1 Estrutura Metálica

O cimbra do Rio Sousa é um cimbra autolançável inferior constituído por quatro vigas de lançamento metálicas independentes. Estas vigas apoiam-se em consolas laterais fixas aos pilares por intermédio de colares de atrito (Figuras 1 e 2).

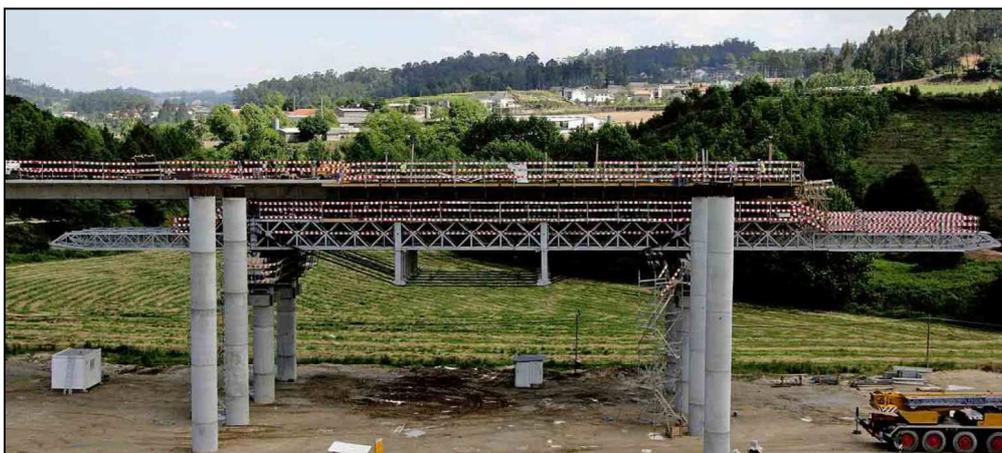


Figura 1 – Alçado do cimbra em posição de betonagem

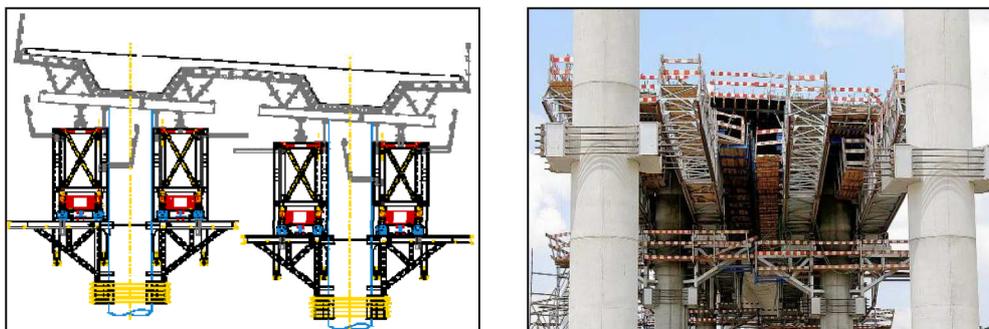


Figura 2 – Corte transversal do cimbri (esq.); Vista de frente do cimbri (dir.)

As vigas são “caixões treliçados” modulares com um comprimento total de 64 m, 40 dos quais constituem a estrutura principal, enquanto os restantes 24 materializam os “narizes”. A estrutura principal das vigas tem uma secção de 1.25 m de largura por 2.00 m de altura. Os perfis de maior expressão são as cordas (HEB 180), sendo as diagonais e montantes realizados por perfis tubulares de dimensões variáveis (o mais robusto é um SHS 120x120x5) (GUERRA et al. (2004)).

2.2 Sistema OPS

O sistema de protensão orgânica, assim designado por ser conceptualmente baseado numa estrutura orgânica – o músculo – é uma forma de pré-esforço adaptativa, em que as forças aplicadas são automaticamente ajustadas às cargas actuantes por um sistema de controlo, de forma a reduzir deformações e minimizar tensões (PACHECO (1999), ANDRÉ (2005), PACHECO *et al.* (2004)).

A implementação do sistema de controlo compreende a integração dos elementos apresentados na Figura 3. A estratégia de controlo é particularmente simples e traduz-se na realização de cursos elementares do êmbolo do cilindro hidráulico, afastando ou aproximando a ancoragem orgânica da estrutura, i.e., aumentando ou reduzindo a tensão nos cabos de pré-esforço em função da flecha a meio vão, medida por transdutores de pressão criteriosamente posicionados ao longo das vigas. A informação recolhida é transmitida a um autómato e processada de acordo com um algoritmo de controlo que “decide” entre manter ou variar a intensidade da protensão (PACHECO *et al.* (2002)).

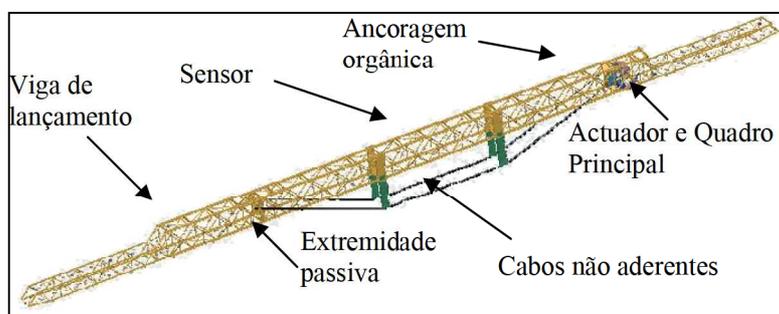


Figura 3 – Elementos do sistema de controlo

2.3 Aspectos particulares da estrutura metálica

Escoras e selas de desvio

Em cada viga existem dois cabos de pré-esforço, constituídos por doze monocordões auto-embainhados, localizados em planos verticais exteriores às vigas. A protensão com uma configuração tri-linear é ancorado junto às secções de apoio, sendo desviado por duas “escoras de desvio” nos terços do vão.

As escoras de desvio são perfis tubulares rectangulares que têm como finalidade o desvio dos cabos de pré-esforço e a transmissão da força de desvio para a estrutura metálica. Estes elementos estão equipados com um sistema de rotação que permite a sua recolha (Figura 4), de modo a garantir um contorno físico compatível com a movimentação do cimbra aquando da transposição de vãos.



Figura 4 – Sistema de recolha de escoras e cabos

Na extremidade das escoras de desvio encontram-se as selas de desvio, concebidas de forma a desviar o cabo de pré-esforço sem ferir as bainhas dos cordões. Para atender a este efeito, as superfícies de contacto das selas com os monocordões foram revestidas com PTFE (Politetrafluoretileno). Para permitir a recolha dos cabos, as selas contemplam um sistema de “abertura” que possibilita uma constante adaptação da sua posição e deste modo um funcionamento compatível com a rigidez dos monocordões (Figura 5).

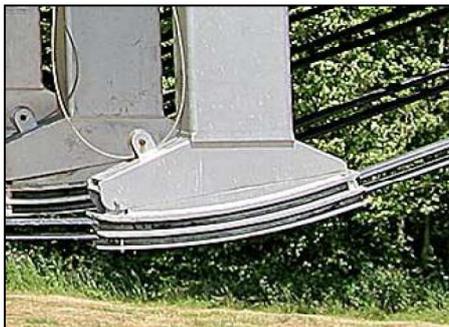


Figura 5 – Sistema de “abertura” das selas de desvio

Extremidade activa e extremidade passiva

A ancoragem orgânica (extremidade activa) inclui uma viga que se apoia num actuador (cilindro hidráulico) permitindo tensionar simultaneamente os dois cabos de pré-esforço, cujos monocordões são ancorados através de extrusões colocadas nas suas extremidades.



Os actuadores são semelhantes aos usados noutras aplicações da Engenharia Civil. Por questões de segurança, o seu curso encontra-se limitado pelo software de controlo e também fisicamente, por dois fusos e respectivas fêmeas que, em caso de avaria do actuador, impedem a diminuição da força dos cabos de pré-esforço (Figuras 6 e 7).



Figura 6 – Extremidade activa (esq.); Extremidade passiva (dir.)



Figura 7 – Ancoragem orgânica e fusos de segurança

2.4 Aspectos particulares de concepção

Num cimbra autolançável são relevantes duas fases fundamentais: a fase de betonagem e a fase de avanço

No que diz respeito à fase de betonagem, o facto da concepção do cimbra ter sido efectuada em simultâneo com a concepção e dimensionamento do sistema OPS, permitiu um melhor aproveitamento do sistema, rentabilizando a estrutura e otimizando o comportamento do conjunto. Esta metodologia de abordagem, embora invulgar na generalidade dos sistemas de controlo activo, foi indispensável dada a inequívoca influência do pré-esforço gerado pelo sistema OPS no funcionamento estrutural do cimbra (Figura 8).

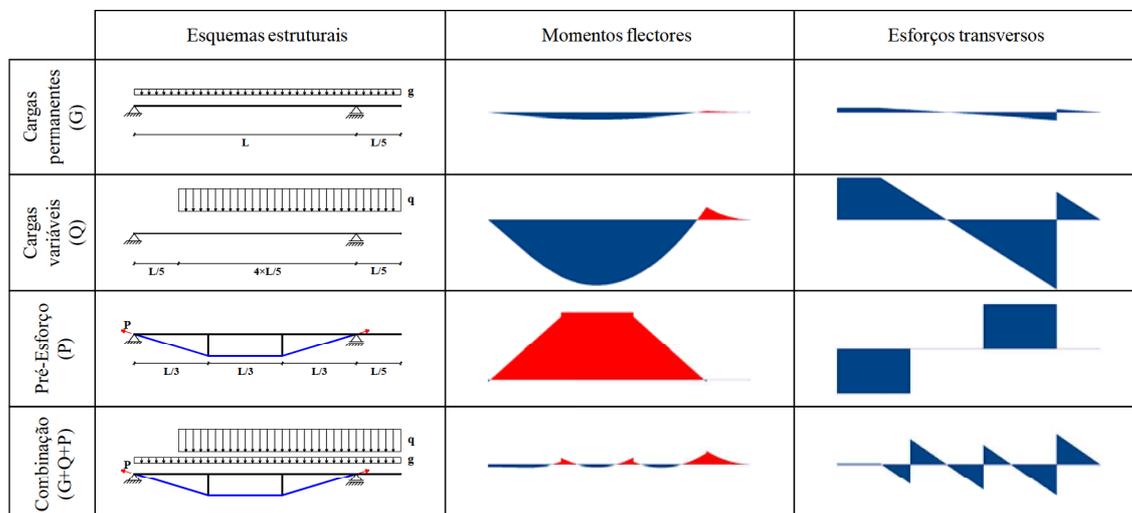


Figura 8 – Esforços flectores no cimbra (fase betonagem)

Conforme se pode constatar nos diagramas da Figura 8, a zona de betonagem em consola ($1/5$ do vão seguinte) não dispõe de protensão orgânica. Esta opção deveu-se não só ao facto de os esforços actuantes serem da mesma ordem de grandeza dos da fase de avanço, mas também pelo facto das deformações serem reduzidas ($\approx 12 \text{ mm}$; $L/1000$), e ainda, por significar uma considerável simplicidade no que diz respeito a aspectos como o traçado de pré-esforço e a estratégia de controlo.

Estruturalmente, cada viga (com apoios afastados de 30 m) tem esforços de flexão praticamente iguais aos de uma viga contínua com 3 vãos de 10 m, já que as forças verticais transmitidas directamente pelas escoras de desvio podem ser consideradas como dois apoios localizados nos terços do vão, reduzindo em 60% os esforços transversos e em 80% os momentos flectores.

Note-se que estas reduções de esforços não podem ser vistas isoladamente, porque em contrapartida, cada viga fica sujeita a um esforço axial ($\approx 2000 \text{ kN/viga}$), que em conjunto com os restantes esforços, correspondem a reduções de 60% nas tensões de compressão das cordas superiores, e de 40% no valor absoluto das tensões das cordas inferiores, que passam a estar comprimidas.

Relativamente à fase de avanço salienta-se que a estrutura metálica do Cimbra do Rio Sousa é autoportante. O sistema OPS é desligado e a movimentação decorre tal como nos cimbres convencionais correntes.

Na fase de concepção de um cimbra é conveniente que a fase de betonagem e a fase de avanço sejam analisadas em conjunto. Esta abordagem tem como objectivo aumentar a utilidade dos diversos elementos estruturais nas diferentes situações de apoio e nas diferentes fases de carregamento a que o cimbra está sujeito durante a sua utilização. A geometria das diagonais e a proporção entre a altura das treliças e a expressão das suas cordas são dois exemplos de decisões importantes na optimização de uma estrutura com estas características.

2.5 Aspectos particulares de dimensionamento

A inexistência de regulamentação aplicável a estruturas adaptativas implicou o desenvolvimento e a adopção de critérios de dimensionamento, porventura bastante conservativos, mas justificáveis no contexto de uma aplicação piloto.

No dimensionamento estrutural admitiu-se que, em condições de bom funcionamento do sistema OPS, a força de pré-esforço aplicada é proporcional às cargas a que o cembre está sujeito. Se eventualmente as cargas crescerem acima do previsto, o sistema OPS “acompanha” tal aumento até a um limite máximo de 125% da força de pré-esforço esperada em serviço.

Na Figura 9, o comportamento do sistema OPS é representado pela curva “ $P(Q)/P_{Serv}$ ”, onde “ γ_Q ” é o coeficiente parcial de segurança das cargas e “ γ_P ” é o coeficiente parcial de segurança da protensão.

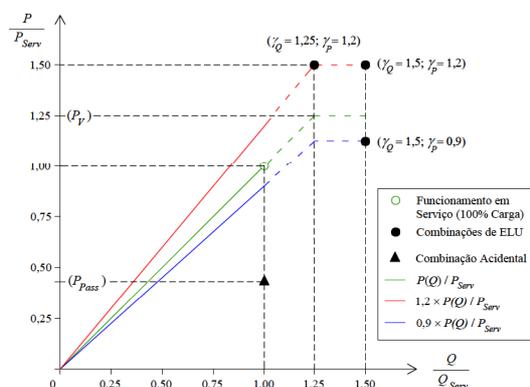


Figura 9 - Representação gráfica das combinações de acções

Este gráfico representa, simplificada, a “filosofia” de dimensionamento adoptada, tendo como referência os coeficientes parciais de segurança indicados no EC2, nomeadamente para os efeitos favoráveis e desfavoráveis da protensão. Assim sendo, as combinações sobre a curva “ $0.9 \times P(Q)/P_{Serv}$ ” afectam os elementos estruturais nos quais a acção da protensão é favorável enquanto as combinações sobre a curva “ $1.2 \times P(Q)/P_{Serv}$ ” contemplam a situação contrária.

2.6 Aspectos particulares de cálculo

Relativamente ao cálculo da fase de betonagem salienta-se a importância de uma modelação conjunta da estrutura metálica e do sistema de pré-esforço, não só para avaliação dos acréscimos de força nos cabos por efeito passivo, mas também para determinação do curso dos actuadores, contemplando, desta forma, as deformações elásticas dos monocórdões e da própria estrutura metálica.

A verificação da estabilidade global por efeito de bambeamento e/ou de varejamento transversal por acção da protensão, é uma questão importante. O estudo realizado permitiu comprovar que os cabos de pré-esforço desempenham um papel fundamental, travando a estrutura nos pontos de contacto com a mesma. Para atender a este efeito, e para que os comprimentos de bambeamento e varejamento possam ser considerados 10 m (afastamento entre pontos de contacto) houve a preocupação de conceber ligações entre as escoras de desvio e as vigas com capacidade de absorção das acções transversais.



II CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

Associação Brasileira de Pontes e Estruturas



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

O cálculo da fase de avanço é um cálculo semelhante ao de uma estrutura metálica corrente. No entanto, o facto de todas as secções passarem pelo meio-vão e também sobre os apoios exige a modelação da estrutura em inúmeras situações de apoio distintas, de modo a que seja determinada para cada elemento estrutural a situação mais desfavorável.

2.7 Aspectos particulares de utilização

Após a realização do primeiro tabuleiro a leveza do cimbra permitiu realizar a desmontagem, o transporte e a remontagem no início do segundo tabuleiro no prazo de uma semana (Figura 10).



Figura 10 – Desmontagem e transporte para remontagem no 2.º tabuleiro (29/06/2005)

De 7/4/2005 (data da primeira betonagem) até 15/9/2005 (data do fecho do 2.º tabuleiro) decorreram 24 semanas, e foram construídos 690 m (23×30 m) de tabuleiro. O ciclo de trabalho tipo foi de um tramo por semana, tendo-se realizado, quando na presença de feriados, ciclos de 4 dias. Salienta-se que a obra foi construída em menos 32 dias do que o que estava inicialmente previsto.



Figura 11 – Fotografia do fecho da ponte

3 Novos equipamentos de construção de pontes com produtividade otimizada

O cimbra M25×2-S é um equipamento superior cuja principal particularidade é a construção de dois tramos por ciclo de trabalho. Esta vantagem é tanto mais relevante quanto maior for a extensão da obra, já que este equipamento poderá desempenhar a



função de duas máquinas convencionais, sem a necessidade de duplicação das equipas de trabalho e/ou das frentes de obra.

Este equipamento foi concebido para a construção de vãos de 25 m e pesa cerca de 270 ton (incluindo a cofragem). É constituído por uma viga com secção 2.8 m de largura por 2.5 m de altura e com 83 m de desenvolvimento longitudinal (75 ton), pelas estruturas transversais de suporte de cofragem (55 m de desenvolvimento longitudinal correspondendo a cerca de 50 ton), pela cofragem (45 ton) e pelas estruturas de apoio (pórticos e bogies e coroas de apoio nos pilares, 55 ton).

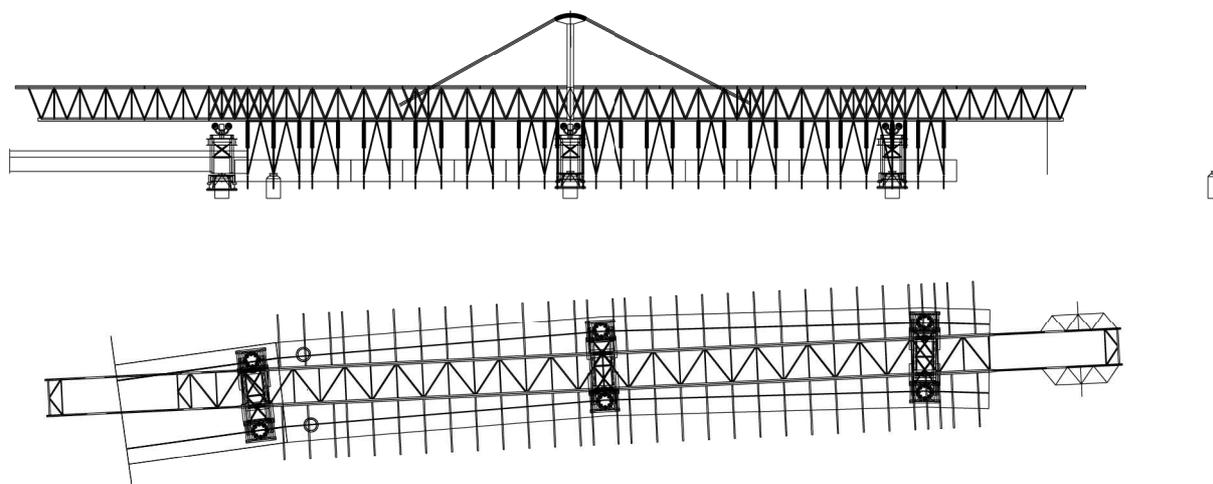


Figura 12 – Alçado e planta do cimbre M25x2-S

Estruturalmente este cimbre é uma viga de dois tramos com um cabo ancorado a meio dos vãos e desviado sobre o apoio intermédio. Numa das extremidades está localizado o actuador que provoca o esticamento dos cabos à medida que o processo de betoneamento se desenvolve. Deste modo, o cabo confere à viga dois apoios fictícios, que permitem uma diminuição de momentos flectores de 75%, tal como indicado nos diagramas da Figura 13. Atendendo ao esforço axial introduzido pelos cabos na viga, a redução das tensões nas suas cordas é de cerca de 35%, traduzindo-se numa estrutura mais leve. É importante salientar, que as deformações são reduzidas para 15% das verificadas numa viga sem OPS, conferindo ao equipamento uma enorme vantagem funcional.

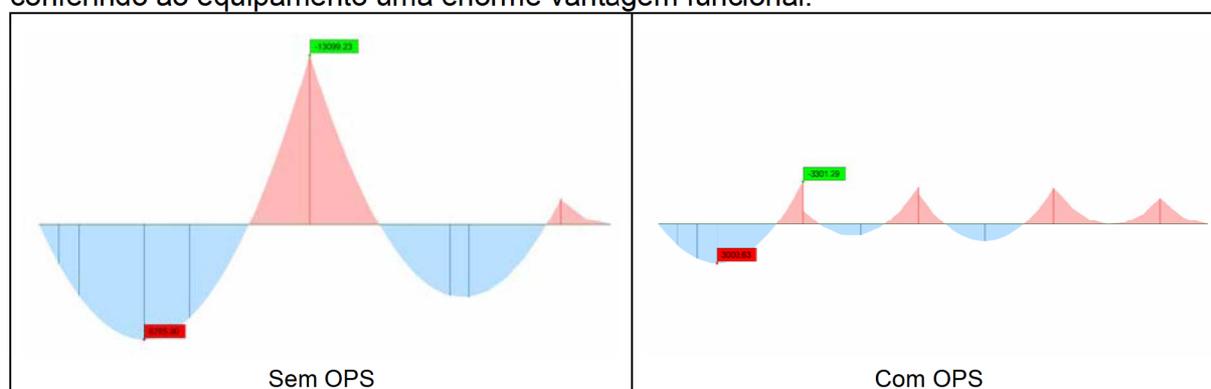


Figura 13 – Momentos flectores na viga (kN)



O sistema OPS é semelhante ao descrito anteriormente, com a ligeira diferença de o sistema de controlo decidir sobre a actuação com base no valor médio das flechas dos dois vãos da viga, tendo-se robustecido o sistema de avisos e alarmes no que diz respeito à situação de flechas com valores não previstos.

A forma de abertura das cofragens é efectuada por actuação em cilindros hidráulicos permitindo uma rotação automática das estruturas transversais e da cofragem. A localização do ponto de rotação foi pensada de modo a permitir o movimento na presença de pequenas distâncias do tabuleiro ao terreno (a partir de 2.2 m).

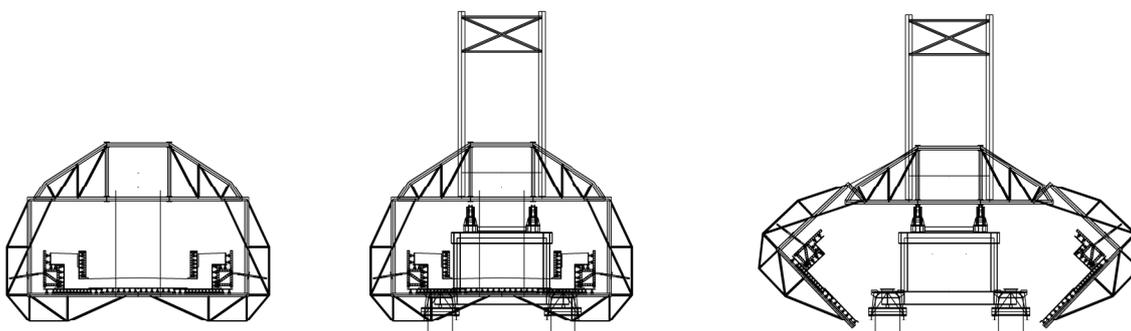


Figura 14 – Cortes transversais do cimbre M25x2-S

Com o objectivo de maximizar o rendimento de trabalho, este cimbre dispõe de equipamentos auxiliares que praticamente lhe conferem uma autonomia total. A desmontagem, a movimentação para o pilar dianteiro e a montagem das estruturas de apoio são operações efectuadas pela própria máquina, não sendo necessário a utilização de guias móveis ou outros meios para o desempenho dessas tarefas, o que reduz custos operacionais e permite a utilização deste equipamento quando na presença de terrenos inacessíveis ou de difícil acesso (rios ou albufeiras). A inclusão de equipamentos de transporte de armaduras possibilita a prefabricação das armaduras em estaleiro e/ou sobre o tabuleiro já betonado durante a cura de betão, possibilitando ao construtor reduzir os prazos de execução das obras.

4 Novos equipamentos de construção de pontes tramo a tramo

O cimbre M50-S é um equipamento superior cuja principal particularidade é ser constituído por um arco metálico com cerca de 9 m de altura (relação corda/flecha ≈ 4.4) cujo comportamento como tal é assegurado por um tirante activo constituído por cabos de pré-esforço localizados ao nível da corda inferior da viga. Esta solução, semelhante a uma ponte tipo “bow-string”, permite tirar partido do bom desempenho estrutural do arco.

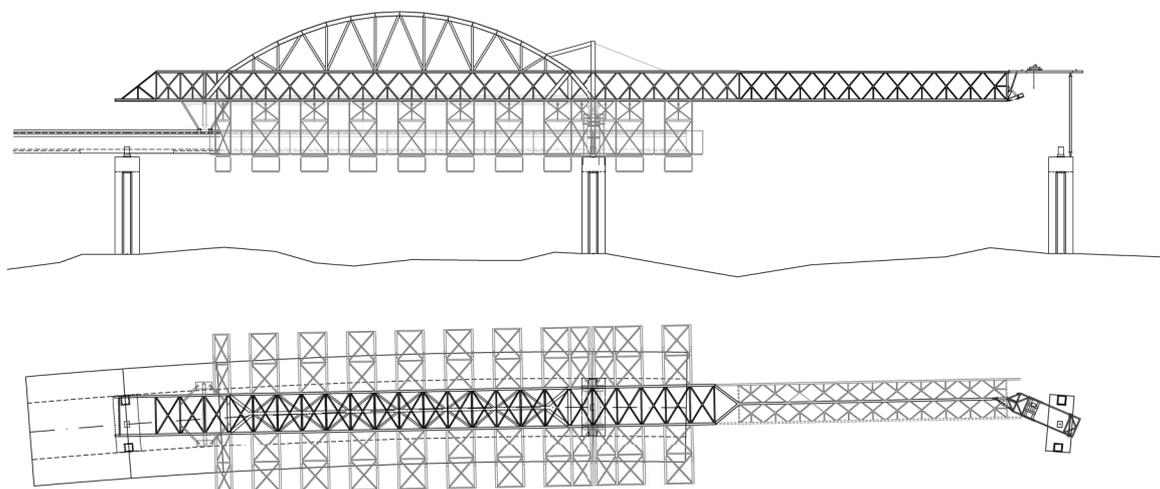


Figura 15 – Alçado e planta do cimbra M50-S

Para um bom funcionamento estrutural do arco, é fundamental haver apoios horizontais que não permitam a abertura dos extremos do arco. Numa estrutura tradicional, isto seria conseguido por um tirante de grande rigidez, que tornaria a estrutura muito pesada. Com a utilização do sistema OPS, o tirante é activo, sendo progressivamente tensionado à medida que a estrutura é carregada com o peso do betão do tabuleiro. Desta forma, não há variação da distância entre os arranques do arco, resultando em deformações cerca de 85% inferiores às verificadas numa estrutura sem OPS.

Sobre o apoio dianteiro a viga dispõe de um desenho particular, tendo-se procurado, sem prejuízo das questões construtivas, obter uma forma optimizada (forma do diagrama de momentos flectores), de modo a maximizar o desempenho estrutural de todos os elementos, nas diversas fases de operação do equipamento.

O peso global do equipamento é de 320 ton, o que é cerca de 20% mais leve que os cimbramentos superiores convencionais de igual vão (50 m). Esta vantagem traduz-se não só na redução dos custos de aquisição do equipamento, mas principalmente nos custos operacionais (montagem, movimentação/operação, desmontagem e transporte).

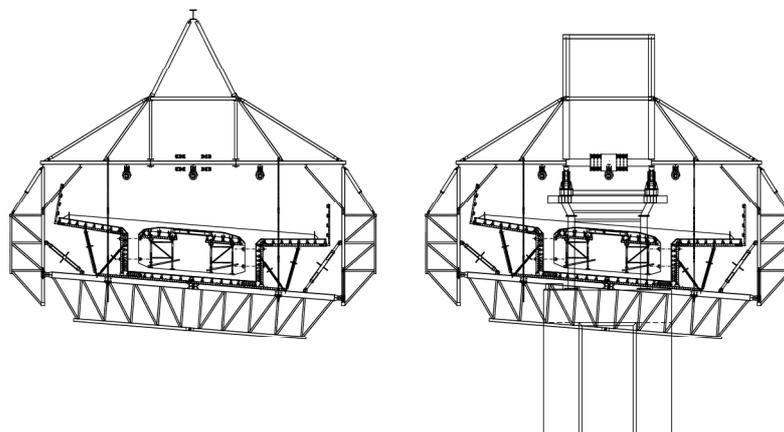


Figura 16 – Cortes transversais do cimbra M50-S: vão (esq.) e apoio dianteiro (dir.)



O sistema OPS (sistema de sensorização e sistema de actuação) é semelhante ao utilizado no cimbra do Rio Sousa em que o actuador é controlado pelo valor da flecha a meio vão.

Relativamente ao funcionamento da máquina, salienta-se a grande autonomia de que dispõe. Para além dos equipamentos de apoio à produção (transporte de armaduras, tubagens de betonagem, macaco de pré-esforço do tabuleiro, etc.) este cimbra é capaz de içar e montar o pórtico dianteiro durante a fase de cura do betão, otimizando-se também, desta forma, a duração do ciclo de trabalho.

5 Novos equipamentos de construção de pontes para grandes vãos

O cimbra M1 é um equipamento inovador já que permite a construção de tabuleiro de viadutos e pontes até 90 m de vão com betonagens tramo a tramo. A betonagem *in situ* de tabuleiros de vãos acima dos 70 m exige cimbras muito robustos e pesados, e consequentemente demasiado caros e de difícil operação. Para vãos superiores, o processo construtivo mais usual é o de avanços sucessivos (utilizando carrinhos de avanços), construindo-se consolas simétricas a partir de cada pilar. Em estudos comparativos, verificou-se que a construção tramo a tramo é cerca de 15% mais económica quando comparada com a construção por avanços sucessivos. Esta diferença económica é essencialmente devida a:

- Menor quantidade de aço de pré-esforço no tabuleiro;
- Redução do número de ancoragens e acopladores;
- Maior facilidade de controlo de geometria do tabuleiro;
- Não necessidade de guias, elevadores e outros equipamentos de transporte de pessoas e equipamentos para a frente de obra;
- Redução das frentes de obra e do número de equipas de trabalho;
- Não necessidade de sistemas de atirantamento do tabuleiro à fundação (para segurança contra desequilíbrios) durante a fase construtiva;

Em termos funcionais o M1 é um equipamento híbrido, já que é constituído por uma viga superior e por duas vigas inferiores. Desta forma, beneficia-se das vantagens de dispor de uma viga superior (movimentação de cargas e maior facilidade de movimentação longitudinal para obras com raios de curvatura menores) e da simplicidade de funcionamento e de abertura das cofragens das vigas inferiores.

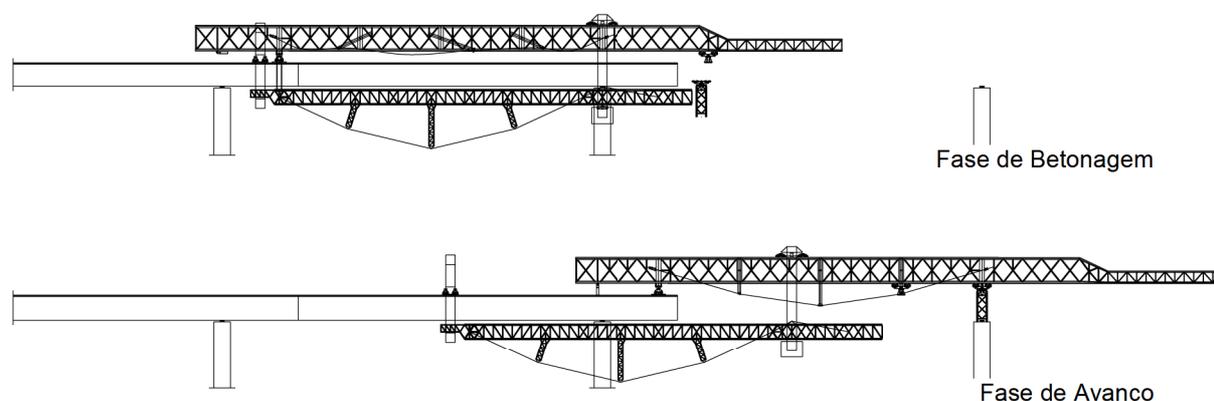


Figura 17 – Alçados do cimbra M1

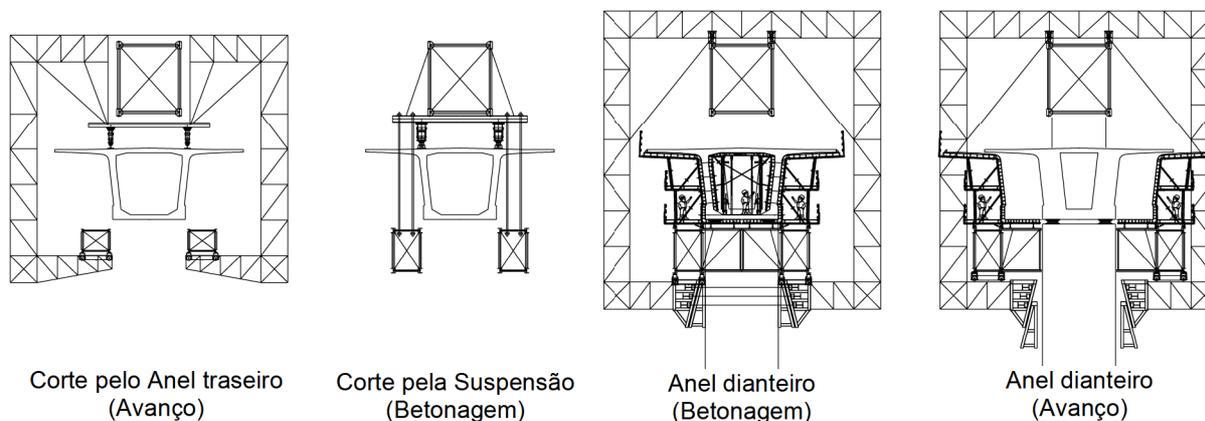


Figura 18 – Cortes transversais do cimbra M1

As duas vigas inferiores são responsáveis por suportar a cofragem e por suportar o peso do betão fluido. Estas vigas apoiam-se através de uma suspensão no 1/5 do vão do tabuleiro já betonado e no pilar dianteiro por intermédio de colares de atrito. Dado que estas vigas não são sujeitas a esforços produzidos pela movimentação, dispõem de um comprimento, uma secção e um traçado de protensão orgânica muito optimizados, conduzindo a vigas com apenas 118 m de comprimento, reduções de momentos flectores de cerca de 75%, reduções de tensões de 60% e uma redução da deformação de 98%, o que permite que cada viga pese apenas cerca de 120 ton (Figura 19).

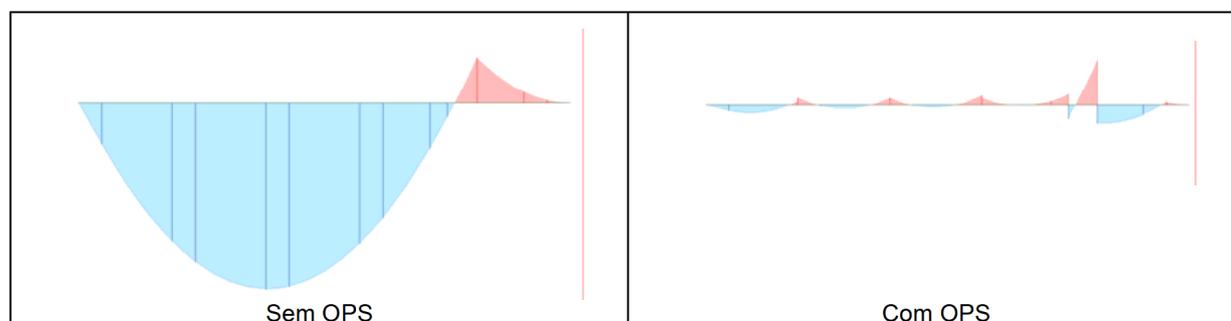


Figura 19 – Momentos flectores nas vigas inferiores (kN)

A viga superior é responsável pelo lançamento do cimbra (150 m de comprimento). Numa primeira fase lança-se autonomamente para o pilar dianteiro. Esta operação é facilitada pelo facto de não transportar cofragem, o que reduz significativamente os esforços de consola. Numa segunda fase, o conjunto inferior (vigas inferiores e cofragem) apoia-se em dois elementos (anéis) e que possibilitam o seu avanço. O anel traseiro dá apoio à parte traseira das vigas inferiores e desloca-se em carris sobre o tabuleiro já betonado. O Anel dianteiro, para além de incorporar os colares de atrito, dispõe de rodados metálicos ao nível da corda superior da viga superior, permitindo que este se desloque sobre a viga superior, provocando, desta forma, a movimentação do conjunto inferior. Durante esta fase o anel dianteiro solicita a viga superior com uma carga concentrada rolante de cerca de 450 ton, pelo que a viga superior está equipada com um sistema de protensão orgânica semelhante aos já descritos (com apenas um actuador e a flecha de meio vão como variável de controlo), que mesmo não sendo óptimo para uma solicitação rolante, representa uma



Rio de Janeiro, 12 a 14 de Outubro de 2007

contribuição muito significativa no comportamento estrutural desta viga (redução de 68% dos momentos flectores, de 50% das tensões e de 94% das deformações), viabilizando a adopção de uma secção transversal de 4.5 m de largura por 5.0 m de altura e um peso de 270 ton.

Em termos globais o cimbra M1 pesa cerca de 950 ton, sendo mais seguro e mais fácil de operar que os cimbres convencionais correntes, já que a movimentação da parte mais pesada do cimbra (anéis, vigas inferiores e cofragem) é realizado apoiada em dois pontos com um trajecto definido pela viga superior.

Ao nível da funcionalidade, dada a previsível elevada altura de trabalho da máquina, foram consideradas medidas especiais com vista a possibilitar elevados rendimentos de trabalho. O dimensionamento foi realizado para uma acção de vento de 60km/h de velocidade com objectivo de diminuir o número de interrupções de trabalho aquando de ventos fortes. A montagem dos apoios (pórticos e colares de atrito) é realizada autonomamente, sem qualquer interacção ou auxílio de outros equipamentos, porque se pretende que este cimbra possa operar a grandes alturas, sobre terrenos sinuosos ou inacessíveis ou sobre água.

6 Conclusões

Relativamente à regulamentação para o dimensionamento de estruturas com carácter adaptativo estão a ser desenvolvidos trabalhos nesse sentido. No entanto a metodologia descrita mostrou ser capaz de responder às necessidades de segurança necessárias.

O cimbra da ponte do Rio Sousa comprovou que, face aos cimbres correntes, a sua aquisição e utilização apresentam vantagens inequívocas:

- Redução do peso do equipamento (pelo menos 25 a 35% do volume de aço);
- Redução de 15% nos custos de aquisição;
- Redução de 10 a 20% nos custos operacionais.

Em geral, os equipamentos com protensão orgânica permitem:

- Controlo de deformações muito mais eficiente, sendo também possível programar contraflechas;
- Aumento de segurança devido à monitorização contínua da estrutura;
- Maior facilidade de transporte e montagem em obra.

A implementação da tecnologia de protensão orgânica a cimbres autolanzáveis, particularmente no que diz respeito aos equipamentos M25×2-S, M50-S e ao M1, tem demonstrado, por parte dos donos de obra, projectistas e construtores uma enorme receptividade, perspectivando-se que num futuro próximo sejam aplicadas as máquinas aqui apresentadas.

Para além da execução de pontes e viadutos construídos tramo a tramo em obras de médio/grande vão, actualmente executados através de outros processos construtivos, com vantagens económicas inequívocas (utilizando o cimbra M1), o OPS poderá ser usado no reforço de cimbres existentes para execução de obras de arte da rede de alta velocidade (RAVE) devido ao facto destes tabuleiros serem cerca de 30% mais pesados que os habituais em vias rodoviárias.

Também no que diz respeito ao lançamento de elementos pré-fabricados (pontes de aduelas), estão a ser desenvolvidos estudos de aumento da capacidade de carga e/ou de