



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de
maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Algumas Soluções Não Convencionais na Concepção de Obras de Arte.

Armando Rito

ARMANDO RITO engenharia, SA / armando.rito@arito.com.pt

Resumo

Neste artigo apresentam-se alguns conceitos e experiências do autor no projecto de várias pontes ao longo de mais de 40 anos de actividade profissional em Portugal e em África. Expõem-se, sucintamente, a evolução desses conceitos e experiências, a sua influência na concepção e construção de Obras de Arte em Portugal e exemplos da sua aplicação.

Palavras-chave

Tabuleiro “II”; pilar/estaca; viga-caixão; tramo-a-tramo; avanços; lançamento incremental.

1. Introdução

O autor deste trabalho tem dedicado a sua vida profissional principalmente ao projecto de pontes tendo, desde início, considerado que no projecto destas obras os principais objectivos devem ser os de conseguir simplicidade, funcionalidade, durabilidade, segurança, economia e também, embora tantas vezes ignoradas, viabilidade e beleza [1], [2], [3].

O ambicioso programa iniciado no fim dos anos 70 em Portugal para, num espaço de tempo muito curto, se construir uma moderna rede de estradas e renovar e modernizar a existente permitiu estudar, introduzir e desenvolver vários novos conceitos que rapidamente foram adoptados como padrão pelos projectistas portugueses. Entre esses conceitos e desenvolvimentos podem ser mencionados os tabuleiros de duas vigas (“tabuleiros II”), o conceito de “estaca/pilar” onde o pilar se tornou a extensão natural da estaca, a introdução da continuidade estrutural e visual entre tabuleiros “II” construídos tramo-a-tramo e tabuleiros em viga caixão construídos por avanços, refinamentos nas secções de vigas caixão para melhor acomodar os cabos de pré-esforço, novas secções transversais em pilares de grande altura a fim de facilitar e acelerar a sua construção, aumentar a sua economia e melhorar o seu aspecto estético.

Aproveitando esse programa foi também, a partir de 1980, incentivada a monitorização de várias das pontes mais importantes em construção passando o Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC a instrumentar e acompanhar essas obras em Portugal e, mais tarde, até em Angola fazendo-o, neste caso, em parceria com o Laboratório de Engenharia de Angola - LEA. Com a monitorização destas pontes durante a sua construção e, pelo menos, durante os 10 anos seguintes da sua vida de serviço restaurou-se uma tradição quase abandonada de investigação com vista à obtenção de conhecimentos essenciais sobre os materiais e sobre o comportamento diferido das estruturas em betão pré-esforçado.

Seguidamente, e de forma breve, apresentaremos alguns desses conceitos mais marcantes referindo exemplos de obras em que os mesmos foram aplicados.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



2. O tabuleiro "II" - pontes construídas tramo-a-tramo



Figura 1-Viaduto de Antuã

No princípio de 1981 a ponte sobre o Rio Álvaro e mais tarde, em 1983, o viaduto de Antuã na A1, foram concluídos (Fig. 1).

Os artigos publicados sobre estas pontes e sobre as que imediatamente se lhe seguiram [4] vieram a definir o tipo de tabuleiros de pontes que nos anos subsequentes, devido a sua simplicidade, economia e facilidade de construção se tornou, em Portugal, no tipo padrão de tabuleiros betonados "in-situ" para obras com vãos entre 30 e 50 m [4].

O tabuleiro tradicional de quatro ou mais vigas longitudinais foi abandonado, atingindo os tabuleiros em "II", hoje em dia, largas que facilmente chegam aos 21 m e às vezes mais.

Os primeiros tabuleiros "II" foram construídos utilizando cimbres bastante simples trabalhando pela parte superior. Com a construção do extenso viaduto do Arunca na Auto-Estrada do Norte - A1, concluído em 1991, os cimbres inferiores, mais eficientes e progressivamente equipados com sistemas mais sofisticados, começaram a ser usados vindo a ganhar uma prevalência quase absoluta sobre os antigos cimbres superiores.

Nos primeiros tabuleiros, mantiveram-se as travessas (carlingas) tradicionais que eram parte integrante dos tabuleiros antigos. No entanto, logo a prática, observação e análise demonstraram que essas travessas eram inúteis em tabuleiros "II" já que eram totalmente inadequadas para a distribuição das cargas dos rodados entre as duas vigas longitudinais.

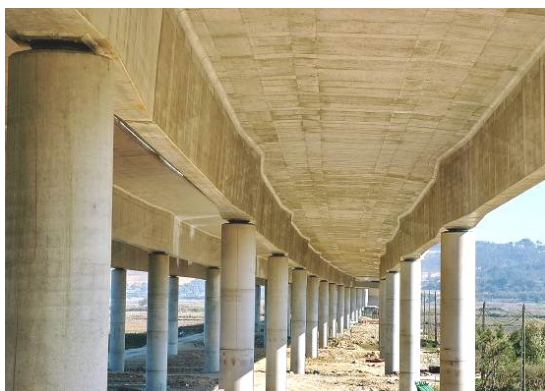


Figura 2 – Vista inferior de tabuleiros em "II" sem travessas

Pior, além de inúteis elas adicionavam peso, trabalho e materiais extra e dificultavam o processo construtivo.

Assim, após uma primeira modificação, introduzida já no referido viaduto do Arunca, para travessas muito simples reduzindo a sua altura e quantidade por vão, foram finalmente abolidas obtendo-se, assim, grandes vantagens na economia e uma considerável simplificação construtiva muito em especial nos tabuleiros construídos com cimbres trabalhando pela sua parte inferior (Fig. 2).

No entanto, para grandes tabuleiros com vãos de mais de 50 m e em obras de considerável largura, algumas melhorias eram claramente necessárias se se quisessem conservar as vantagens daquele tipo de tabuleiros. A solução foi introduzir uma modificação no tabuleiro em "II" sem travessas, adicionando um talão à parte inferior das almas o qual proporcionou às



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

vigas mais rigidez, mais capacidade resistente nas zonas de momentos negativos e espaço extra para acomodar eventuais cabos adicionais de pré-esforço (Fig. 3).



Figura 3 - Viaduto da CREL (1995)

Esta secção transversal tem sido aplicada com sucesso em diversas situações em pontes construídas tramo-a-tramo tendo-se tornado, além disso, numa plataforma ideal para ser usada em pontes de médio vão construídas pelo método de lançamento incremental.

Com esta secção simples, aberta e económica, vãos até 50 m e eventualmente maiores construídos por este método podem ser facilmente realizados como demonstram os já construídos em Angola.

3. Pontes construídas por avanços

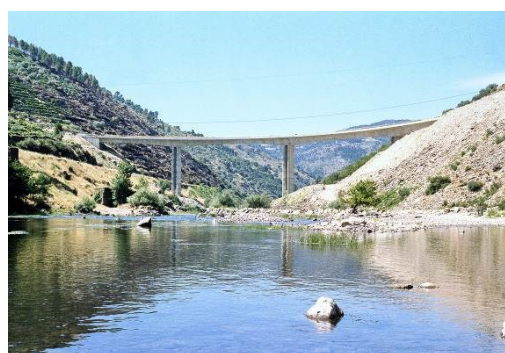


Figura 4 - Ponte do Tua (1985)

As pontes de Fagilde (1983) e do Tua (1985) foram as primeiras pontes de avanços inteiramente concebidas em Portugal (Fig. 4) e foram monitorizadas pelo LNEC, durante a sua construção e durante os 10 anos seguintes [5].

Como antes, ao publicar e divulgar estas obras, os seus métodos de construção e os conceitos de projecto deste tipo de pontes ficaram estabelecidas as bases para sua concepção e construção nos anos imediatamente a seguir.

Porém, com o objectivo de simplificar a sua construção, a disposição das armaduras e dos cabos de pré-esforço e, ainda, a concepção e construção de pilares de grande altura, várias melhorias continuaram a ser introduzidas nas obras seguintes.

Estes avanços ocorreram principalmente com o projecto e construção de várias grandes pontes nomeadamente nas pontes Miguel Torga na Régua [6], [7], [8], de Vila Pouca de Aguiar [9], [10], do Douro [11] e do Tua [12] que serão, a seguir, sucintamente descritas.

A ponte Miguel Torga, na Régua, tem 900 m de comprimento, atravessa o vale do Douro a 90 m de altura, tem uma curvatura em planta de 500 m e é também curva em perfil (Fig. 5).

Com os seus onze tramos contínuos tendo o principal deles 180 m de vão, e um tabuleiro em caixão único de 26m de largura, esta ponte foi, na altura e devido à combinação da sua largura com os seus grandes vãos numa curvatura apertada e a uma altura elevada, considerada muito avançada para o seu tempo. A ponte está extensivamente monitorizada pelo LNEC.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI



Figura 5 - Ponte Miguel Torga - Régua (1997)

Sempre considerámos que, em pilares de grande altura, a geometria variável tradicional introduz dificuldades e custos adicionais na sua construção e que não faz sentido dimensioná-los para a situação de construção do tabuleiro que, nestas obras, é sempre a mais desfavorável tornando-os por isso pesados e inestéticos. É um desperdício de dinheiro, materiais e equipamentos e mostra uma enorme falta de preocupação com a economia, o ambiente e a beleza. No entanto, sendo nestes casos a secção transversal variável manifestamente necessária, combinar estas duas exigências contraditórias não parece ser tarefa fácil.

Como solução, dotaram-se os fustes dos pilares principais com uma secção tubular constante desde a base até ao topo. Quatro nervuras com espessura constante e largura variável forneceram os necessários alargamento e aumento de rigidez do topo para a base (Fig. 6).

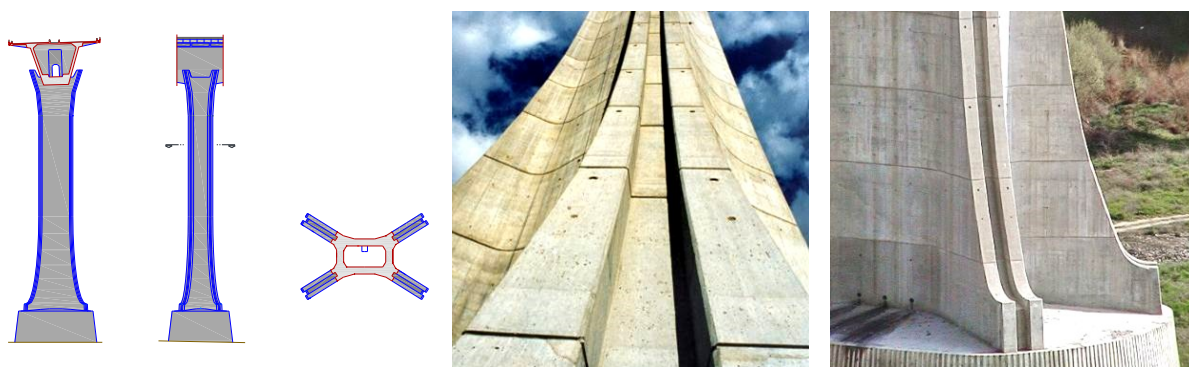


Figura 6 - Pilares principais

Embora estes pilares pareçam ter uma geometria complexa, eles são construídos de forma simples, quase como se fossem de secção constante.

Quanto ao tabuleiro, a necessidade de acomodar os numerosos cabos de pré-esforço levou a introduzir alterações na secção transversal tradicional tendo sido criadas "esteiras" especiais no betão das lajes superior e inferior para os instalar, bem como às suas ancoragens, fora das almas evitando-se, assim, os habituais desvios e curvaturas excessivas nos traçados que levam a perdas significativas especialmente em cabos de grande extensão (Fig. 7).

Isto simplifica muitíssimo as armaduras de reforço e evita cortes e modificações de geometria nos estribos para permitir a tradicional entrada dos cabos nas almas a fim de aí os ancorar.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Figura 7 - Ponte Miguel Torga - Pré-esforço do tabuleiro – arrumação dos cabos

Como atrás foi dito, essas concepções foram evoluindo tendo sido bastante simplificadas e ajustadas para outras geometrias e dimensões de tabuleiros e de pilares de obras de avanços sendo, actualmente, frequentemente utilizadas em obras de grande vão e de grande altura como, por exemplo e entre muitas outras, as já citadas nova ponte do Douro, viaduto de Vila Pouca e nova ponte do Tua.

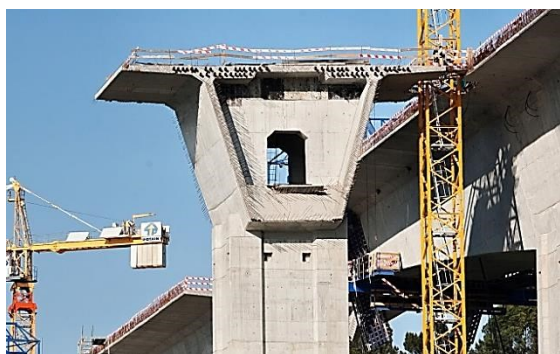


Figura 8 - Nova ponte do Douro. Pré-esforço do tabuleiro - arrumação dos cabos

A Nova ponte do Douro tem 730 m de comprimento, 2 x 19,30 m de largura, tramos principais de 150 m, uma altura de 50 m acima do rio, fundações a 50 m de profundidade e foi construída em 18 meses (Fig. 8).



Figura 9 - Viaduto de Vila Pouca

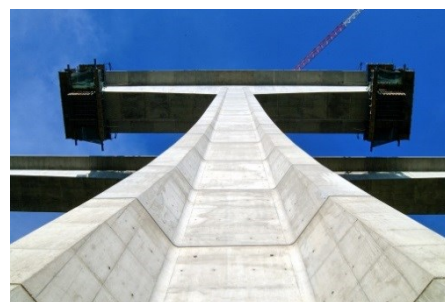


Figura 10 - Pilares principais

O viaduto de Vila Pouca tem 1 350 m de comprimento, atravessa o vale a 100 m de altura, tem vãos principais de 130 m e levou 20 meses a construir (Figs. 9 e 10).



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Figura 11 - Nova ponte do Tua



Figura 12 - Pilar Sul

A nova ponte do Tua tem 500 m de comprimento, um vão central de 220 m e atravessa o vale a cerca de 140 m de altura (Fig. 11) tendo o pilar Sul 90 m de altura e cujo fuste foi construído por cofragem deslizante em 27 dias (Fig. 12). A obra foi construída em 22 meses. A estrutura da ponte, incluindo fundações e encontros, foi executada em apenas 19.

4. O conceito de estaca/pilar

Em fundações indirectas por estacas foi, no princípio dos anos 90, introduzido o conceito de estaca/pilar, em que o pilar é a extensão natural da estaca.

Com efeito, a ideia inicial foi a de que, se para apoio de cada uma das vigas de um tabuleiro “II” bastava, dependendo do vão, um pilar com um diâmetro entre um a dois metros, fazia pouco sentido construir para cada pilar uma fundação indirecta com várias estacas de diâmetro mais reduzido além do inevitável maciço de encabeçamento para aí o suportar. Porque não fazer a estaca com o diâmetro necessário para o pilar e prolongá-la como pilar dispensando, assim, os pesados maciços de encabeçamento de estacas, as obras, materiais, ensecadeiras, tempo adicional e equipamentos necessários para a sua execução?

Após um teste aplicado com êxito numa pequena ponte construída já no fim dos anos 80, este conceito foi aplicado na ponte do Fão com tabuleiro “II” construída tramo-a-tramo, com vãos de 45 m e fundações com 2 estacas de 2,00 m diâmetro por secção de apoio a profundidades de 50 m (1993) e na ponte Internacional de Monção, construída por avanços, com um vão central de 100 m e duas estacas de 2,20 m diâmetro (1995) por secção de apoio.

Devido aos bons resultados alcançados e à sua economia e facilidade de construção, esta concepção foi também usada nos cerca de 4 km do longo viaduto Sul da ponte Vasco Gama sobre o rio Tejo, em Lisboa, (1998) numa das zonas de maior sismicidade do país e para a qual foram impostas exigências excepcionais de segurança em relação aos sismos. Neste viaduto, foram construídas cerca de 22 km de estacas/pilar com 2,00 e 1,80 m de diâmetro.

Na mesma altura esteve em construção a ponte do Sado e o seu viaduto de acesso na A2 tendo-se, aí, utilizado nas fundações um outro conceito adicional que foi o da injeção dos solos da ponta das estacas o qual permitiu grandes ganhos de segurança devidos ao considerável aumento da contribuição da resistência de ponta. Esse aumento levou, como



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

consequência, a substanciais economias e a uma maior rapidez nos trabalhos de execução das estacas graças à redução que foi possível obter no seu comprimento.



Figura 13 - Ponte do Sado (1997)

A ponte do Sado na Auto-Estrada do Sul A2 tem 1 800 m de extensão e uma largura de 2 x 18,60 m. O viaduto de acesso Sul, com vãos de 45 m, tem 1 452 m de comprimento e a ponte, com três tramos e um vão central de 135 m, tem 302 m de comprimento.

Em 6 meses foi aberta ao tráfego a estrutura do lado Leste, e no fim do mesmo ano a do lado Oeste tendo toda a obra sido executada no prazo de cerca de um ano [13].

Para a obtenção deste curtíssimo prazo contribuiu determinadamente o ter-se introduzido, também nesta obra, o conceito do controlo da resistência dos betões por métodos maturimétricos os quais, com betões expressamente estudados para o efeito, permitem fazer a aplicação integral do pré-esforço entre as 12 e as 24 horas após as betonagens sem necessidade de recurso sistemático a ensaios de provetes. Este processo é, actualmente, de utilização corrente em Portugal. Note-se que a obra foi, integralmente, betonada “in situ”.

Cada um dos dois pilares da ponte do Sado é composto por 4 estacas de 2,50 m de diâmetro tendo-se, aqui, alargado a aplicação do conceito de estaca/pilar. Por razões estéticas, cada par é, na sua parte visível, ligado transversalmente por diafragmas ligeiramente curvos. O viaduto de acesso é suportado em estacas/pilar com 1,50 m diâmetro. Não houve, como é evidente, necessidade de executar ensecadeiras nem quaisquer maciços de encabeçamento (Fig. 14).

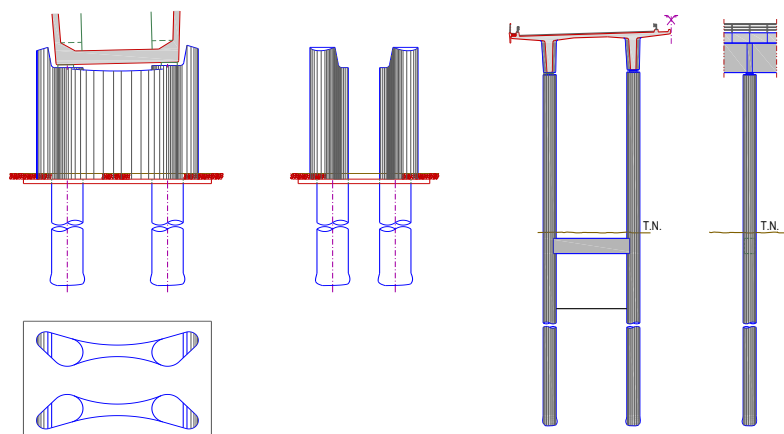


Figura 14 - Fundações estaca/pilar da ponte e do viaduto de acesso

A concepção e construção na mesma altura das pontes Vasco da Gama e do Sado e a publicação destas duas obras contribuíram para a difusão do conceito estaca/pilar que, a partir daí, passou a ser sistematicamente aplicado em Portugal [13], [14].



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



5. Pontes construídas simultaneamente tramo-a-tramo e por avanços

Dada a geometria da secção transversal dos tabuleiros "II" as duas concepções e respectivos métodos de construção anteriormente referidos podem ser combinados de maneira a que as discontinuidades, quer visuais quer físicas, sejam evitadas com evidentes vantagens estruturais e estéticas.

Além da ponte do Sado e de muitas outras, construídas antes e depois dela, dois outros exemplos recentes de pontes com uma concepção semelhante e o mesmo tipo de fundações são as pontes sobre os rios Pranto e Mondego e respectivos viadutos de acesso com larguras de 2 x 18,60 m e, respectivamente, 1 700 m e 1 016 m de comprimento na Auto-Estrada A17 (Figs. 15 e 16) tendo, cada uma das obras, sido construída em 20 meses.

A ponte do Mondego tem completa continuidade estrutural entre encontros. A ponte do Pranto foi dividida longitudinalmente em três módulos integralmente contínuos e com comprimentos aproximadamente iguais, separados por duas juntas de dilatação localizadas nos viadutos de acesso.



Figura 15 - Ponte do Pranto



Figura 16 - Ponte do Mondego



Figura 17 - Ponte e viaduto Norte

Ainda outra obra semelhante às anteriores é a ponte “17 de Setembro” sobre o rio Kwanza a qual cruza, na Cabala, a grande bacia aluvionar do rio nesse local onde o “bed-rock” se encontra a muito grande profundidade no leito de cheia.

Esta obra, com 1 540 m de extensão, está localizada a cerca de 70 km a leste de Luanda e é, presentemente e de longe, a mais extensa de Angola (Figs. 17 a 21).

As obras começaram em Setembro de 2008 e foram concluídas em Agosto de 2010.

Os viadutos de acesso e o tabuleiro têm concepção e sistemas construtivos idênticos aos das obras deste tipo atrás descritas. Também as fundações são idênticas tendo atingido



profundidades da ordem do 75 m. Apenas as fundações da ponte são de tipo mais corrente, com grupos de estacas e maciços de encabeçamento, pois tiveram que ser dimensionadas para sustentar um impacto frontal de 3 000 kN devido a barcaças e barcos de até 50 toneladas de DWT já que o Kwanza é navegável até cerca de 200 km a montante da sua foz.

Apresentam-se, a seguir, algumas figuras ilustrativas da obra.

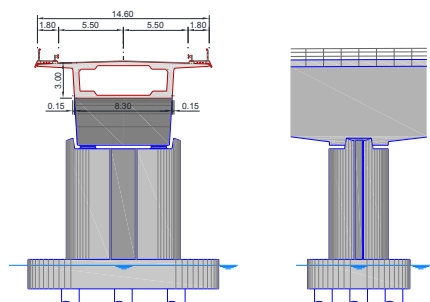


Figura 18 - Ponte - Tabuleiro e Pilares

Figura 19 - Vista da ponte e do viaduto Sul

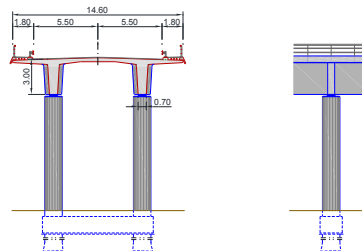
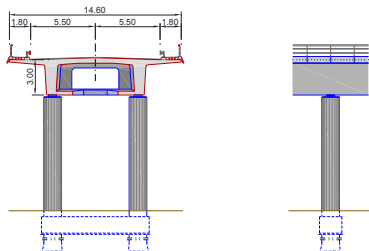


Figura 20 - Transição ponte/viadutos

Figura 21 - Viadutos de acesso

A ponte da Cabala está a ser monitorizada desde o início de sua construção e permanecerá sob observação durante pelo menos dez anos numa parceria entre o LEA (Angola) e o LNEC (Lisboa). Os dados que forem sendo obtidos, nesta e noutras obras já construídas ou a construir em Angola, serão extremamente valiosos para entender e poder vir a prever o comportamento dos cimentos, agregados e betões locais e a sua relação com os diversos e distintos ambientes regionais [15].

6. Pontes com tabuleiro em viga "II" construídas por lançamento incremental

Como atrás referido, este tipo de tabuleiro, quando dotado de um talão inferior, constitui uma solução muito simples, económica e eficaz e é bastante adequada para a construção de pontes em locais em que o acesso dos materiais e equipamentos é difícil e/ou em que ocorrem períodos de cheias violentas e prolongadas.

O lançamento incremental tem sido adoptado na construção de várias pontes em Angola e foi aí introduzido em 2008 com a ponte do Cubal-da-Hanha estando já construídas por esse método 4 obras e em início a construção de outras duas (Figs. 22 a 24).



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Figura 22 - Lançamento de um tabuleiro

O talão inferior largo destes tabuleiros baixa o centro de gravidade, acomoda facilmente os cabos de pré-esforço inferiores e os de continuidade, confere bom comportamento e resistência no lançamento e em serviço e simplifica as operações de lançamento.

O sistema é de aplicação rápida e simples exige muito pouco equipamento e apenas uma pequena equipe, qualidades que em regiões de difícil acesso são determinantes.



Figura 23 - Vista inferior de um tabuleiro



Figura 24 - Vista geral de uma das pontes

7. A suspensão total em pontes de tirantes

Em situações em que as restrições locais aconselham vãos médios/grandes a razoavelmente grandes ou em pontes emblemáticas, as pontes de tirantes são geralmente as melhores opções.

Esteticamente, é uma solução muito bem sucedida devido à sua clara visibilidade e à compreensão imediata do seu sistema estrutural.

A esbeltez do tabuleiro e das torres e a leveza da “teia” criada pelo sistema de atirantamento confere a estas estruturas uma graciosidade inigualável.

A suspensão total, evita os momentos negativos elevados nas secções dos tabuleiros junto às torres quando eles se apoiam aí condicionando desfavoravelmente o seu dimensionamento. Isso obriga a dotá-los de maior altura útil recorrendo à viga caixa tornando-os, portanto, consideravelmente mais rígidos, mais pesados, mais complexos e mais caros.

Esta suspensão permite dimensionar tabuleiros mais leves e esbeltos e a conseqüente flexibilidade permitem-lhes acomodar deformações significativas e deslocamentos verticais e horizontais consideráveis das torres e das suas fundações sob a acção dos sismos ou de outras acções acidentais sem originar esforços significativos podendo, desta forma, evitar com muito maior probabilidade os danos deles resultantes.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Com efeito, com este tipo de suspensão liberta-se o tabuleiro que actua como um pêndulo, desligando-o praticamente das acções horizontais aliviando assim, muito significativamente, os esforços sobre as infra-estruturas que o suportam [16].

Note-se, ainda, que tabuleiros menos pesados e mais simples representam economias de materiais, incluindo o atirantamento, e de tempo de execução além de as obras resultarem esteticamente mais apelativas.

Apresentaremos a seguir, três exemplos.

7.1. Ponte do Arade

A Ponte do Arade [17], [18], [19], concluída em Agosto de 1991, tem um tabuleiro de betão armado pré-esforçado, totalmente contínuo e com 850 m de comprimento. Os 470 m da ponte são totalmente suspensos e, portanto, sem apoios nas torres (Figs. 25 a 27).



Figura 25 - Ponte do Arade (1991)



Figura 26 - Ponte do Arade

O tabuleiro, com 18 m de largura, é muito esbelto com apenas 1,40 m de altura útil para os seus 256 m de vão entre torres. Os viadutos e a ponte são visualmente idênticos.

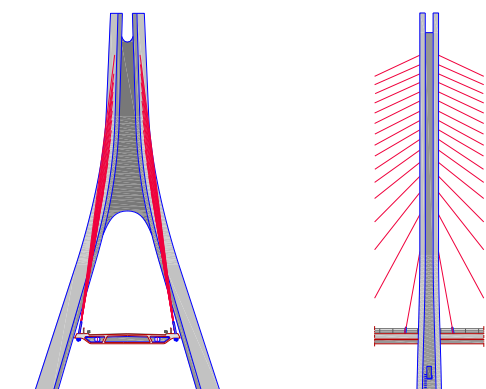


Figura 27 - Ponte do Arade - Torres e suspensão



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



O uso de selas além de ter permitido o dimensionamento de torres também muito esbeltas, as quais foram objecto de um tratamento estético detalhado tentando conferir-lhes, em simultâneo, um aspecto de leveza e robustez permitiu, ainda, um tratamento eficiente das linhas de ancoragem.

O LNEC instrumentou e monitorizou a ponte desde o início da sua construção iniciada em meados de 1989 e a monitorização ainda continua. A última campanha de observação e recolha de dados foi realizada em Abril de 2014.

7.2. Ponte “4 de Abril”, em Angola

A Ponte “4 de Abril” sobre o rio Catumbela está inserida na auto-estrada entre Benguela e Lobito e cruza o rio Catumbela a cerca de 7 km da sua foz no Sul de Angola [20].



Figura 28 - Ponte da Catumbela (2009)

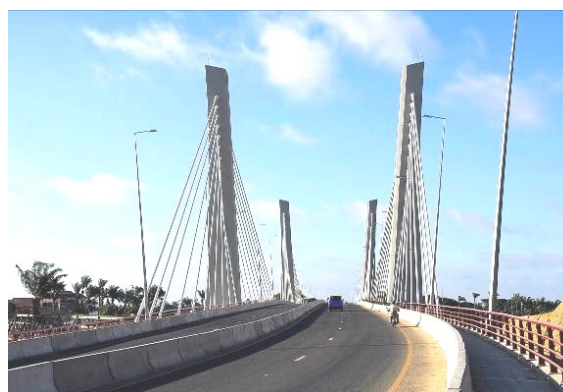


Figura 29 - Torres - suspensão

O projecto desta ponte baseou-se numa solução semelhante proposta em 1986 para outra obra a ser construída em Portugal a qual teria seis faixas de rodagem e um vão central de 260 m.

A ponte da Catumbela tem um vão central de 160 m, dois vãos laterais de 64 m cada um e dois viadutos de acesso com vãos múltiplos de 30 m constituindo uma estrutura contínua de 438 m (Figs. 28 a 33).

A suspensão nas torres em forma de "U" com 50 m de altura é total com um arranjo de tirantes em semi-leque (Fig. 30).

Além dos aspectos estéticos, a ideia das torres abertas com mastros ligeiramente curvos para fora foi a de jogar com as componentes horizontais e verticais das forças do atirantamento e respectivos braços para obter um equilíbrio quase total sob a acção das cargas permanentes e, com isso, conseguir uma grande transparência espacial quer para os observadores externos quer para os que circulam no interior da obra.

O tabuleiro, com 24,50 m de largura, é uma viga de betão armado e pré-esforçado de duas nervuras aligeiradas ligadas transversalmente pela laje e por travessas pré-esforçadas afastadas entre si de 4 em 4 m (Fig. 31).

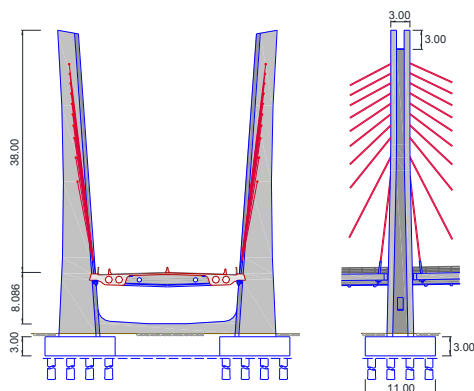


Figura 30 - Alçados das torres

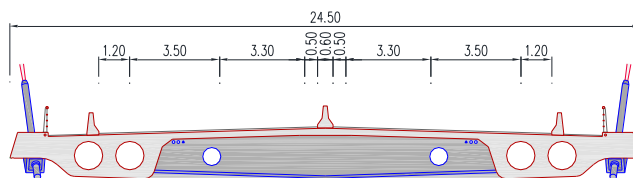


Figura 31 - Secção do tabuleiro da ponte

Os tirantes atravessam os mastros através de selas, excepto os primeiros três onde ancoragens tradicionais são utilizadas. As selas foram desenvolvidas e ensaiadas especialmente para esta obra.



Figura 32 - Vista de Sul



Figura 33 - Vista geral

A estrutura foi totalmente betonada "in situ". A construção da ponte começou em Julho de 2007 e foi concluída em Julho de 2009.

Tal como a ponte da Cabala, a ponte da Catumbela está a ser monitorizada pelos LNEC-LEA desde o início da sua construção devendo permanecer sob observação durante, pelo menos, dez anos.

7.2. A nova ponte de Barra do Kwanza, em Angola

A nova ponte de tirantes da Barra do Kwanza, que irá cruzar a foz do rio trezentos metros a jusante da ponte actual construída em 1975 e também ela atirantada, é uma obra de suspensão total, com 622 m de comprimento e contínua, tendo os tirantes dispostos num arranjo em semi-leque. Tem um vão central de 300 m, dois vãos laterais de 126 m cada, dois tramos adicionais de acesso de 35 m cada e duas torres com 95 m de altura (Figs. 34, 35).



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Figura 34 - Antevisões da ponte

Nesta ponte, foi recuperada a concepção adoptada para o tabuleiro da ponte Vasco da Gama em Lisboa. É uma estrutura muito simples, esbelta e ligeira (Fig. 35).

Neste momento, a selecção de um empreiteiro para a construção da nova ponte está em curso prevendo-se que a obra seja consignada dentro em breve.

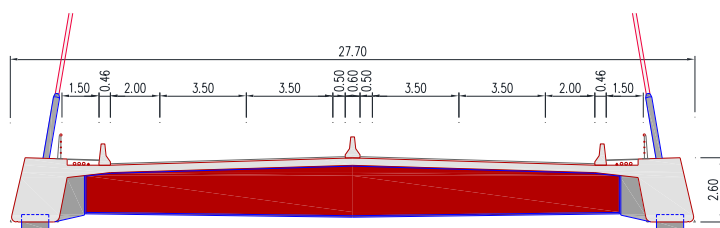


Figura 35 - Secção transversal do tabuleiro

A plataforma tem uma largura de 28 m e é constituída por duas vigas longitudinais de betão armado pré-esforçado localizadas nos bordos da plataforma e ligadas transversalmente pela laje de betão armado da plataforma e por travessas de aço colocados a cada 4 m.

8. Conclusões

Foram apresentados vários conceitos não convencionais aplicados no projecto e construção de pontes cuja introdução e permanente desenvolvimento começou no fim dos anos 70 em Portugal e que tiveram grande expansão, aplicação e aperfeiçoamento com o surto de construção que se verificou desde essa altura até finais de 2013.

Apresentaram-se exemplos da aplicação desses conceitos em obras realizadas em Portugal e Angola mostrando, com estes últimos, que desde que as soluções sejam simples e económicas a experiência obtida num Continente pode ser facilmente aplicada noutros.

Procurou-se chamar a atenção para a importância da monitorização das pontes durante a sua construção e a manutenção dessa observação durante vários anos como forma privilegiada para a investigação e desenvolvimento do conhecimento da resposta do betão estrutural aos vários ambientes regionais e, conseqüentemente, poder logo no projecto garantir às estruturas a necessária boa durabilidade.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



9. Referências

- [1] RITO A. Aesthetics and Bridge Design. Structural Engineering International, IABSE Journal. 1996, SEI Vol. 6, No 2, s. 91-92.
- [2] RITO A. Aesthetics and Structural Design. IABSE Symposium Structures for the Future - The Search for Quality, Rio de Janeiro, 1999.
- [3] RITO A. Designing Bridges - a quest for beauty. fib Symposium Concrete Structures: the Challenge of Creativity, Avignon, 2004.
- [4] RITO, A.; BAPTISTA, A. L. Pontes Construídas Tramo-a-Tramo sobre Cimbra Superior Auto-Lançável. 1º Encontro Nacional Sobre Estruturas Pré-Esforçadas, GPPE86, 1986, LNEC, Lisboa.
- [5] RITO, A.; CATARINO, J. M.; SILVEIRA, P. Duas Pontes Construídas por Avanços Sucessivos: A Ponte de Fagilde Sobre o Rio Dão e a Ponte Sobre o Rio Tua - 1. Solução Estrutural e Processo Construtivo - 2. Observação. 1º Encontro Nacional Sobre Estruturas Pré-Esforçadas, GPPE86, 1986, LNEC, Lisboa.
- [6] RITO, A. As Pontes da Régua e do Varosa e Balsemão no Lanço Régua - Reconcos do IP3. Betão Estrutural94, 5º Encontro Nacional Sobre Estruturas Pré-Esforçadas, GPPE94, 1994, FEUP, Porto.
- [7] RITO, A. Construção das pontes da Régua e do Varosa e Balsemão no lanço Régua-Reconcos do IP3. Betão Estrutural 1996, 6º Encontro Nacional Sobre Estruturas Pré-Esforçadas, GPPE, 1996.
- [8] CIAMPOLI, M. An Oscar-Winner Bridge: The Régua on the Douro River in Portugal. L'Industria Italiana del Cemento, Anno LXIX, 1999, No. 749, s. 897-904.
- [9] RITO, A.; CABRAL, P.; Xavier, L. Construção do Viaduto de Vila Pouca de Aguiar. 4ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, JPEE 2006, 2006, LNEC, Lisboa.
- [10] RITO, A. Vila Pouca Viaduct. L'Industria Italiana del Cemento, Anno LXXIX, 2009, No. 851, s. 220-235.
- [11] RITO, A.; CABRAL, P.; BISPO S.; COELHO, A. Projecto e Construção da Ponte sobre o rio Douro, na A41. BE2010, Encontro Nacional de Betão Estrutural 2010, LNEC, Lisboa, 2010.
- [12] RITO, A.; CABRAL, P.; VIEIRA, T. Projecto e Construção da Ponte sobre o rio Tua no IC5 - Avanços Sucessivos em Consola em Vãos de Grandes Dimensões. Encontro Nacional de Betão Estrutural 2012, FEUP, Porto, 2012.
- [13] RITO, A.; Ferreira, N.; Consolado, A. A Nova Ponte Sobre o Sado em Alcácer do Sal na A2 e o seu Viaduto de Acesso na Margem Sul. Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, JPEE98, 1998, LNEC, Lisboa.
- [14] RITO, A. Os Viadutos Norte e Sul da Ponte Vasco da Gama. Betão Estrutural 1996, 6º Encontro Nacional Sobre Estruturas Pré-Esforçadas, Sessão Especial: Expo'98/Ponte Vasco da Gama, GPPE, 1996, LNEC, Lisboa.
- [15] SANTOS, L. O.; MIN, X.; SANTOS, J. P.; MOLARES d'ABRIL, M. Structural Health Monitoring of Cabala Bridge in Angola. IABSE Conference, Global Thinking in Structural Engineering: Recent Achievements, Sharm El-Sheikh, 2012.
- [16] CAPRA, A.; LEVEILLÉ, L.; Vasco da Gama Main Bridge Seismic Design. NEW TECH Lisbon97, LNEC, Lisboa, Vol. 1, p. 641-648.
- [17] RITO, A. A Ponte Sobre o Rio Arade na Variante de Portimão. 2º Encontro Nacional Sobre Estruturas Pré-Esforçadas, GPPE88, 1988, FEUP, Porto.
- [18] RITO, A. A Ponte Sobre o Rio Arade na Variante à E.N. 125, em Portimão. Pontes Atirantadas do Guadiana e do Arade, Sessão Especial Integrada no 4º Encontro Nacional Sobre Estruturas Pré-Esforçadas, GPPE92, 1992, LNEC, Lisboa.
- [19] RITO, A. Le Pont sur l'Arade à Portimão en Algarve. ANNALES I.T.B.T.P., No 518, Série Travaux Publics 217, Novembre, 1993.
- [20] RITO, A.; CABRAL, P.; XAVIER, L. A Nova Ponte sobre o rio Catumbela, em Angola. BE2008, Encontro Nacional de Betão Estrutural 2008, UM, Guimarães, 2008.