

Comportamento diferido do betão observado nas pontes 4 de Abril e 17 de Setembro em Angola

Luís Oliveira Santos

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa

Teresa O. Santos

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Lisboa

Martinho Ferreira Moreira

Laboratório de Engenharia de Angola, Divisão de Materiais de Construção, Luanda

RESUMO: A observação do comportamento estrutural de duas pontes de grande dimensão em Angola incluiu a caracterização *in situ* do comportamento diferido do betão. Pretende-se nesta comunicação divulgar os resultados obtidos estabelecendo a sua comparação com os modelos de previsão considerados no EC2.

1 INTRODUÇÃO

A modernização das infraestruturas rodoviárias em Angola levanta diversos desafios, face às especificidades locais, designadamente, do ambiente, dos materiais e das sobrecargas envolvidas. A observação do comportamento estrutural de duas grandes pontes em betão armado pré-esforçado recentemente construídas, a Ponte 4 de Abril, na via rápida entre Benguela e Lobito, e a Ponte 17 de Setembro, na estrada entre Catete e Muxima, no âmbito de uma parceria entre o Laboratório de Engenharia de Angola (LEA) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) constitui uma excelente oportunidade para aprofundar conhecimentos que poderão ser de maior utilidade na construção de novas obras de arte e, inclusive, na previsível revisão da regulamentação nacional angolana.

O comportamento diferido do betão, para além de particularmente influenciado pelas condições ambientais, é também muito sensível às propriedades do material, dependentes dos constituintes do betão e das condições de fabrico. Em ambas as pontes referidas foi efetuada a caracterização *in situ* do comportamento diferido do betão.

Pretende-se, nesta comunicação, divulgar os resultados obtidos, dando uma indicação das tendências evidenciadas. Como termo de referência, os valores obtidos são comparados com os modelos de previsão do Eurocódigo 2 (IPQ, 2010).

Para este efeito, nesta comunicação, após uma breve descrição de ambas as pontes, são descritos os procedimentos experimentais adotados para a caracterização *in situ* do comportamento diferido do betão, são apresentados os principais resultados experimentais obtidos e identificadas as principais tendências.

2 DESCRIÇÃO DAS OBRAS DE ARTE

2.1 Ponte 4 de Abril sobre o rio Catumbela

A Ponte 4 de Abril atravessa o rio Catumbela junto à vila com o mesmo nome, estando integrada na via rápida que liga Benguela e Lobito. A ponte foi projetada pelos Eng^{os} Armando Rito e Pedro Cabral, tendo a sua construção sido efetuada pelo consórcio Mota-Engil/Soares da Costa e decorrido entre julho de 2007 e julho de 2009.

É uma ponte atirantada de suspensão total, que forma uma estrutura contínua com os viadutos de acesso em ambas as margens do rio, perfazendo uma extensão total de 438 m (Rito, 2010).

A ponte, em betão armado pré-esforçado, é constituída por duas torres em forma de U, com cerca de 46 m de altura, e por três vãos suspensos através de tirantes dispostos em semi-harpa. O comprimento do vão central é de 160 m e dos tramos laterais é de 64 m. Os viadutos de acesso são constituídos por tramos de betão armado pré-esforçado com vãos de 30 m, sendo três situados na margem esquerda e dois na margem direita.

O tabuleiro da ponte, com 24,5 m de largura, é formado por uma laje dotada de duas nervuras longitudinais, aligeiradas, dispondo de carlingas espaçadas de 4,0 m.

As torres são em betão armado pré-esforçado, fundadas através de estacas encimadas por maciços de encabeçamento, ligados por vigas transversais pré-esforçadas.

Os tirantes são constituídos por feixes paralelos de cordões de aço, de 15,7 mm de diâmetro, auto-protegidos, ancorados no tabuleiro, com um afastamento de 8,0 m entre si. Os primeiros três tirantes estão ancorados nas torres, enquanto os restantes passam nas torres através de selas.

O tabuleiro dos viadutos de acesso é idêntico ao tabuleiro da ponte, apoiando-se nos pilares e encontros através de aparelhos de apoio do tipo “pot”, deslizantes nas duas direções. Os pilares têm faces elípticas e são fundados sobre um grupo de quatro estacas de 1,20 m de diâmetro.



Figura 1. Vista geral da ponte 4 de Abril sobre o rio Catumbela

2.2 Ponte 17 de Setembro sobre o rio Kwanza

A ponte sobre o rio Kwanza, situada junto à povoação da Cabala, na estrada entre Catete e Muxina, na província do Bengo, projetada pela Armando Rito Engenharia e construída pela empresa Teixeira Duarte (Cabral, Rito, & Nobre, 2010).

A ponte da Cabala é uma obra de arte com uma extensão total de 1 534 m, que se divide em dois módulos contínuos e independentes, separados por uma junta: o módulo Norte, com um comprimento total de 760 m, é constituído pelo Viaduto de Acesso do lado Norte, com um tramo extremo de 24 m e seis tramos de 30 m, a ponte

principal sobre o rio Kwanza, com um tramo central de 120 m e dois tramos laterais de 68 m, e um troço do Viaduto de Acesso do lado Sul com dez tramos de 30 m; o módulo Sul, com 774 m, é formado por 25 tramos de 30 m e um tramo extremo de 24 m (Figura 2).

O tabuleiro da ponte principal é constituído por uma viga contínua de betão armado e pré-esforçado, em caixão unicelular, com a largura de 14,60 m e uma altura que varia entre 7,00 m e 3,00 m. O tabuleiro dos viadutos de acesso é formado por uma laje vigada, de betão armado e pré-esforçado, com duas vigas de 3,00 m de altura.

Os pilares centrais da ponte principal têm uma forma elíptica e apoiam-se sobre maciços de encabeçamento de nove estacas com 1,50 m de diâmetro. Os pilares dos viadutos de acesso e os pilares de transição da ponte principal para os viadutos de acesso são do tipo pilar-estaca, em betão armado com uma secção transversal circular com diâmetro de 1,50 m, existindo dois pilares por secção de apoio. Estes pilares dispõem de aparelhos de apoio do tipo “pot bearing”, unidireccionais ou fixos.



Figura 2. Vista de montante da ponte sobre o rio Kwanza

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL *IN SITU*

3.1 Ponte 4 de Abril sobre o rio Catumbela

O procedimento experimental seguido para a caracterização *in situ* do comportamento diferido do betão, idêntico em ambas as obras, envolve a execução de provetes, instrumentados com extensómetros no seu interior, betonados em simultâneo com a estrutura e que permanecem na obra de forma a estarem sujeitos às mesmas condições ambientais. Aos provetes termo-higrométricos, destinados à caracterização da retração, não é aplicada qualquer carga, ao contrário do que sucede nos provetes de fluência, que ficam sujeitos a uma tensão constante de compressão.

Na Ponte 4 de Abril foram realizados 9 provetes termo-higrométricos que foram mantidos em dois ambientes diferentes: 4 sobre o tabuleiro e 5 no interior das torres. Os provetes foram executados em simultâneo com duas secções instrumentadas do tabuleiro, ambas no tramo central: a secção S1, situada no meio-vão e betonada em Junho de 2009; a secção S2, próxima da torre do lado de Benguela e betonada em Outubro de 2008.

O estudo da fluência baseou-se em três provetes, betonados com a secção S1, que foram mantidos no interior da torre do lado do Lobito. Na Figura 3 apresenta-se duas vista de provetes, uma do interior da torre e outra de um provete termo-higrométrico sobre o tabuleiro.



Figura 3. Provetes de retração e provete de fluência na ponte 4 de Abril

3.2 Ponte 17 de Setembro sobre o rio Kwanza

A caracterização do comportamento diferido do betão da Ponte 17 de Setembro é baseada em 18 provetes, executados em simultâneo com três secções instrumentadas da obra, betonadas em 2010-05-06 (S2), 2010-06-26 (S3) e 2010-07-01 (S1). Estes provetes permaneceram *in situ* de forma a estarem sujeitos às mesmas condições ambientais da estrutura: 12 provetes termo-higrométricos, dos quais 6 são mantidos no interior do caixão e 6 sobre o tabuleiro; 6 provetes de fluência, todos mantidos no interior do caixão. Na Figura 4 apresentam-se duas vistas destes provetes: uma de provetes de fluência e termo-higrométricos no interior do caixão e outra de provetes mantidos sobre o tabuleiro.



Figura 4. Provetes termo-higrométricos e de fluência na Ponte 17 de Setembro

No Quadro 1 apresenta-se uma síntese dos provetes de cada tipo considerados no estudo que se apresenta, num total de 30 provetes distribuídos pelas duas obras.

Quadro 1. Provetes termo-higrométricos e de fluência considerados no estudo.

Ponte	Provetes termo-higrométricos		Provetes fluência	Total
	Exterior	Interior	Interior	
4 de Abril	4	5	3	12
17 de Setembro	6	6	6	18
Total	10	12	9	30

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Ponte 4 de Abril sobre o rio Catumbela

As extensões de retração medidas nos provetes termo-higrométricos da Ponte 4 de Abril estão representadas graficamente na Figura 5 (secção S1) e na Figura 6 (secção S2). Nos gráficos destas figuras as extensões medidas nos provetes mantidos em ambiente exterior estão representadas a azul, estando as interiores assinaladas a verde. Em ambos os gráficos estão igualmente assinaladas as curvas resultantes da aplicação do modelo de previsão do EC2, considerando valores de humidade relativa de 50% e de 60%.

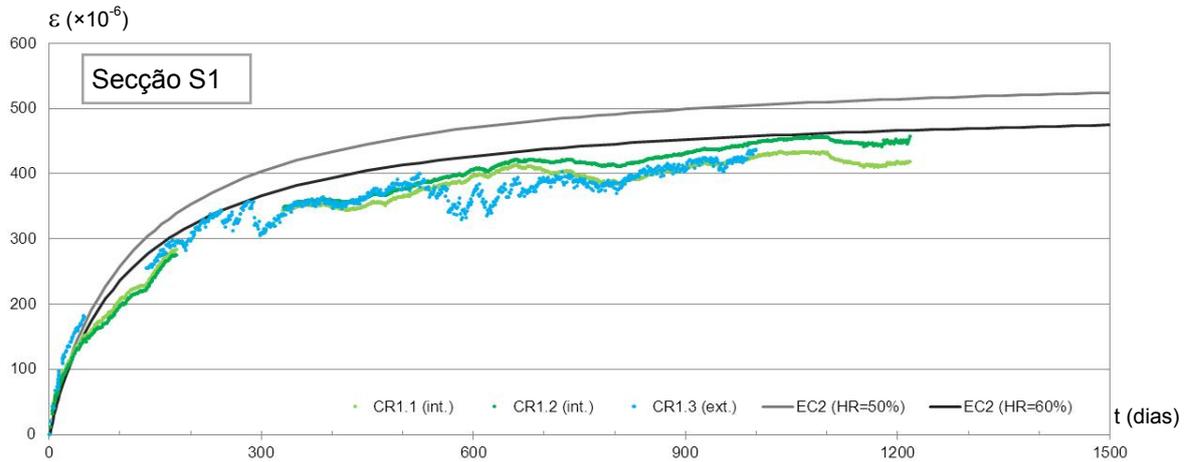


Figura 5. Ponte 4 de Abril: extensões de retração (secção S1)

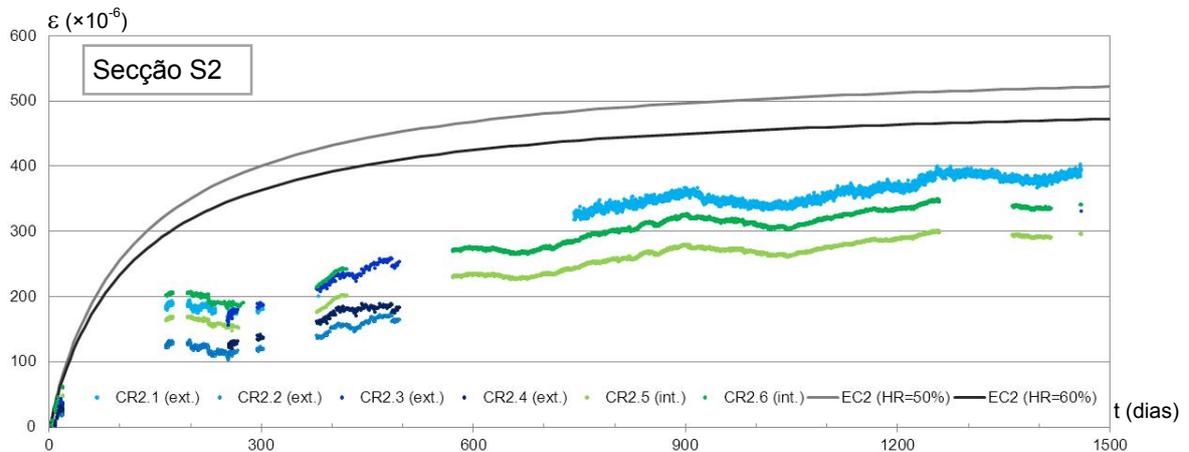


Figura 6. Ponte 4 de Abril: extensões de retração (secção S2)

Na análise destes gráficos constata-se que os valores relativos ao betão da secção S2 abrangem um período de cerca de 4 anos, embora com algumas discontinuidades, em particular no período inicial, e que a maioria dos provetes desta secção, colocados no exterior deixou de funcionar precocemente, devido a vandalismo.

A comparação das duas secções permite verificar que na secção S1, apesar de ter uma idade um pouco inferior, se alcançam valores mais elevados de extensão (entre 420×10^{-6} e 450×10^{-6}) do que na secção S2 (de 300×10^{-6} a 400×10^{-6}). Desta forma, as extensões da secção S1 seguem um andamento semelhante à da curva correspondente a HR=60% do modelo de previsão do EC2, enquanto as extensões da secção S2 são inferiores.

É de referir que nesta obra, a retração do betão mantido em ambiente exterior é bastante próxima da retração medida no ambiente exterior, contrariamente ao que se tem verificado em provetes de betão de obras situadas em Portugal (Santos, 1995, 2006).

A evolução dos coeficientes de fluência obtidos a partir das extensões medidas nos respetivos provetes constitui a Figura 7. Os resultados obtidos nos três provetes evidenciam uma evolução semelhante, contudo um dos provetes alcança valores máximos de 1,2, claramente inferiores aos atingidos pelos restantes provetes (1,6 e 1,7) bem como aos valores estimativos do modelo do EC2 (1,8 para HR=60%).

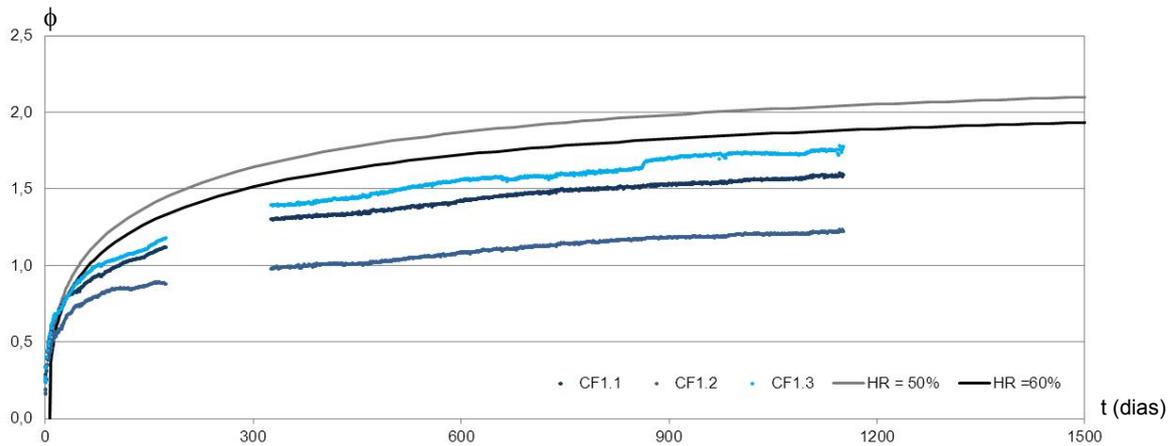


Figura 7. Ponte 4 de Abril: coeficientes de fluência

Por fim, com o objetivo de caracterizar as condições ambientais, apresenta-se na Figura 8 a evolução da temperatura e da humidade relativa ambientes medidas às 6h00. Verifica-se uma variação sazonal clara no que diz respeito à temperatura e uma dispersão em termos de humidade relativa, com valores compreendidos entre 70% e 90%.

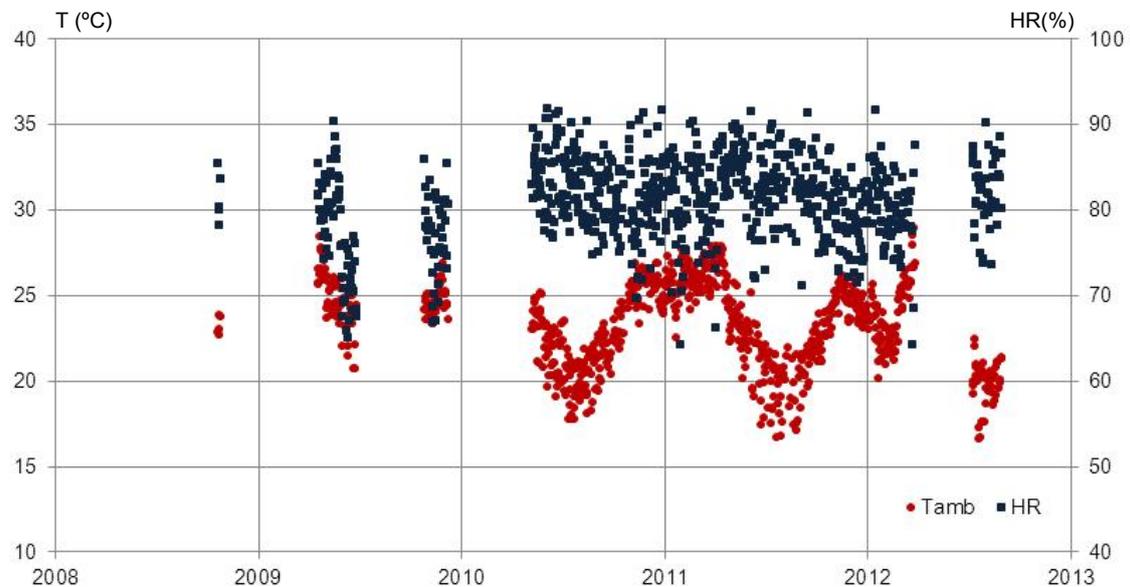


Figura 8. Ponte 4 de Abril: coeficientes de fluência

4.2 Ponte 17 de Setembro sobre o rio Kwanza

De forma análoga as extensões medidas nos provetes termo-higrométricos executados com as secções S2 e S3 estão representadas na Figura 9 e na Figura 10, respetivamente.

No betão desta ponte é clara a distinção, em termos qualitativos, entre a retração dos provetes mantidos nos dois ambientes, sendo evidente o efeito sazonal nos provetes exteriores. Quantitativamente verifica-se que a retração dos provetes interiores é um pouco superior à dos provetes exteriores.

Os valores do coeficiente de fluência obtidos a partir das deformações medidas nos respetivos provetes estão representados graficamente na Figura 11. Reuniram-se no mesmo gráfico os valores provenientes das três secções, representando-se apenas os valores de quatro provetes, em resultado de terem ocorrido anomalias nos restantes.

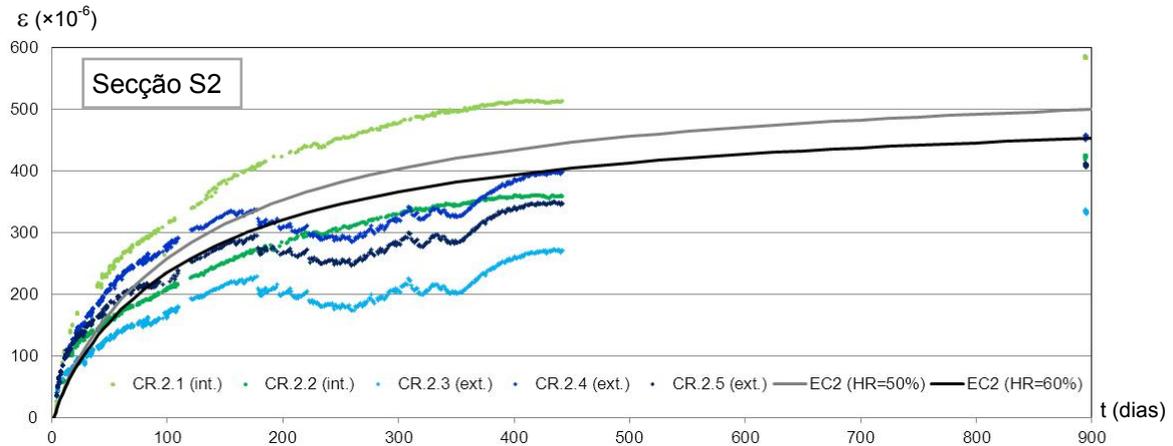


Figura 9. Ponte 17 de Setembro: extensões de retração (secção S2)

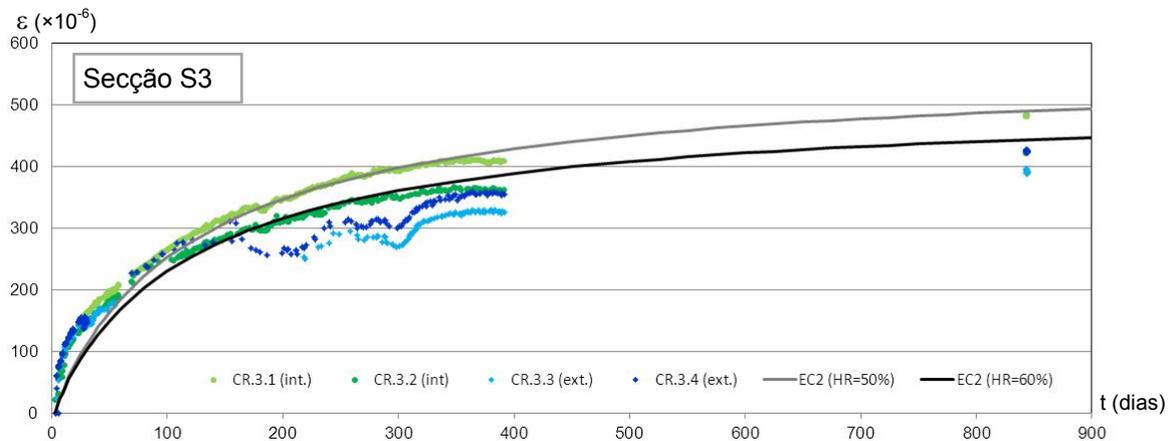


Figura 10. Ponte 17 de Setembro: extensões de retração (secção S3)

A análise deste gráfico permite constatar a pequena influência sazonal, apesar da diferença de cerca de dois meses entre as datas de betonagens das diferentes secções. Sobressai igualmente a semelhança entre as diversas curvas com uma evolução qualitativamente idêntica às curvas do modelo de previsão do EC2, embora atingindo valores um pouco inferiores.

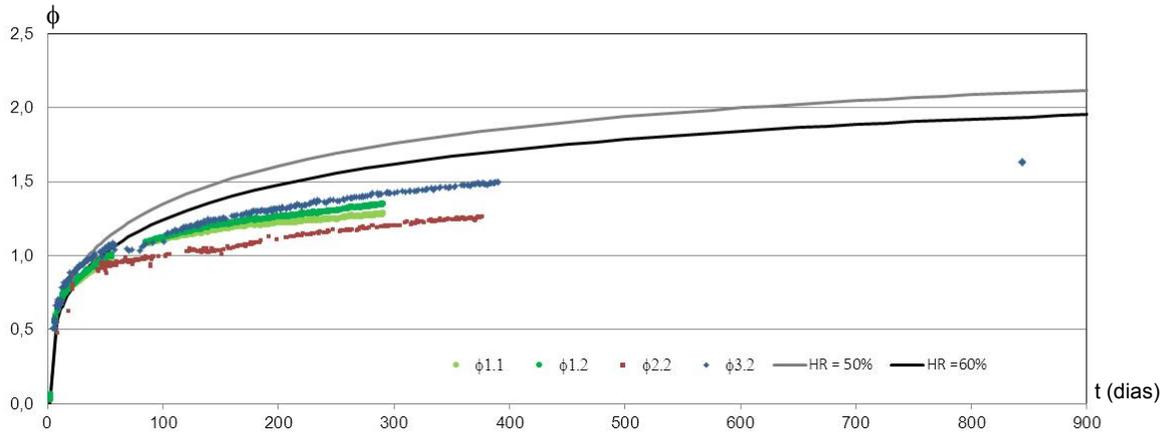


Figura 11. Ponte 17 de Setembro: coeficientes de fluência

4.3 Comparação dos resultados obtidos nas duas pontes

A comparação dos resultados obtidos nas duas pontes é apenas indicativa, dadas as diferenças acentuadas entre as condições ambientais durante a construção. Com efeito, a ponte 17 de Setembro localiza-se próximo de Luanda distando cerca de 70 km da costa, cerca de 400 km a norte da Ponte 4 de Abril, situada entre Benguela e Lobito, a uma distância de apenas 5 km do mar.

Verifica-se, contudo, que a retração da Ponte 4 de Abril, bem como a retração dos provetes exteriores da Ponte 17 de Setembro evidenciam uma evolução com valores um pouco inferiores aos da curva associada ao modelo do EC2 para HR de 60%. A retração dos provetes interiores desta ponte revelou-se um pouco superior aos valores previstos pelo EC2 para HR = 60%

Finalmente, os coeficientes de fluência do betão de ambas as pontes, após os primeiros meses de carregamento, tendem rapidamente para cerca de 80% do valor previsto pelo modelo do EC2, como evidencia a Figura 12, na qual está representada a relação entre os coeficientes de fluência de ambas as obras determinados experimentalmente e os valores resultantes da aplicação do modelo do EC2.

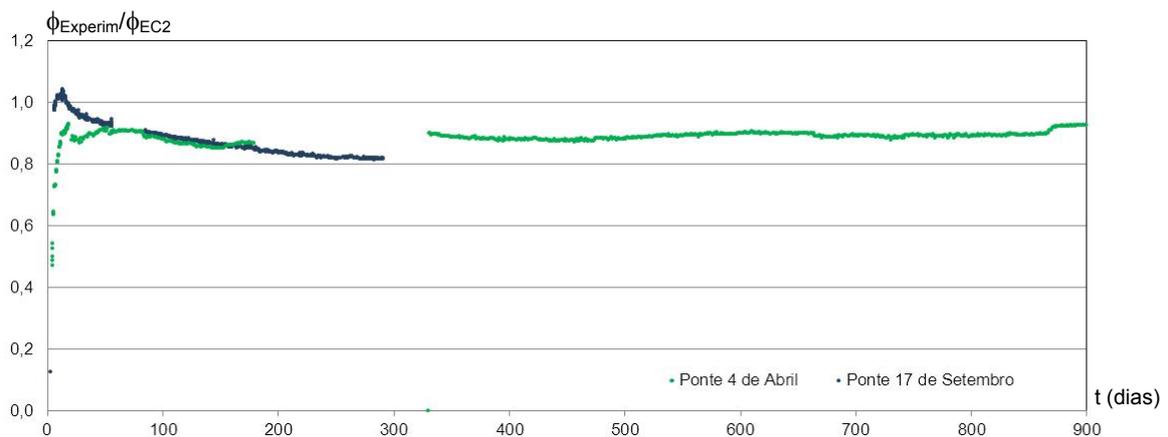


Figura 12. Relação entre os coeficientes de fluência experimentais e os estimados pelo EC2

5 CONCLUSÕES

Nesta comunicação apresentaram-se os valores experimentais da retração e da fluência do betão das pontes 4 de Abril e 17 de Setembro, em Angola, ao longo de três anos e um ano, respetivamente.

Relativamente às extensões de retração é evidente a influência das condições ambientais na sua evolução, designadamente na ponte 17 de Setembro, em que se verifica um comportamento sazonal nos provetes mantidos sobre o tabuleiro

Os resultados obtidos na ponte 4 de Abril não permitem distinguir de forma tão clara a evolução da retração nos provetes interiores e nos provetes exteriores, principalmente devido ao curto período de observação destes últimos. Em qualquer dos casos, as deformações medidas são inferiores às previstas pelo modelo do EC2, considerando uma humidade relativa de 60%.

Na evolução dos coeficientes de fluência de ambas as obras sobressai a menor influência da sazonalidade, não só devido ao facto de todos os provetes se encontrarem em ambiente interior, mas principalmente, pela menor sensibilidade deste fenómeno a essas variações das condições ambientais. Verifica-se também uma pequena dispersão dos resultados, nomeadamente na ponte 17 de Setembro. Nas duas pontes as médias dos coeficientes de fluência determinados experimentalmente está compreendida entre cerca de 80% e 85% dos valores previstos pelo modelo do EC2.

A continuação deste estudo durante um período mais prolongado permitirá a obtenção de indicações mais conclusivas relativamente ao comportamento diferido do betão, fabricado e mantido nas condições ambientais destas duas obras. Finalmente, o progressivo alargamento do estudo a outras pontes construídas em Angola, possibilitará a constituição de uma base de dados que contribuirá de forma decisiva para uma caracterização probabilística do comportamento diferido do betão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Estradas de Angola (INEA) a possibilidade de apresentar a presente comunicação. Um agradecimento é também devido aos Engenheiros Armando Rito e Pedro Cabral, projetistas de ambas as obras, pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- IPQ – Instituto Português da Qualidade, 2010. NP EN 1992-1-1:2010. Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.
- Cabral, P., Rito, A., & Nobre, D. 2010. O Projecto e a Construção da Ponte sobre o rio Kwanza. In *Encontro Nacional de Betão Estrutural 2010; Lisboa, 10-12 Novembro 2010*.
- Rito, A.; Cabral, P. & Xavier, L. 2008. A Nova Ponte sobre o rio Catumbela, em Angola, In *Encontro Nacional Betão Estrutural 2008*, Guimarães, Novembro de 2008.
- Santos, L.O.; Xu, M.; Silveira, P. & D’Abril, M.M. 2010. Observação e ensaio da Ponte 4 de Abril sobre o rio Catumbela em Angola. In *Encontro Nacional de Betão Estrutural 2010; Lisboa, 10-12 Novembro 2010*.
- Santos, L.O.; Santos, J.P.; Xu, M. & D’Abril, M.M. 2011. Monitorização da ponte sobre o rio Kwanza na Cabala. In *ASCP’2011 – 2º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes*, Coimbra, 29 de Junho a 1 de Julho de 2011.
- Santos, Teresa O., 1995. *Retracção e fluência do betão observadas “in situ”*, Dissertação de Mestrado, IST.
- Santos, Teresa O., 2006. *Retracção do betão em pontes. Observação e análise*, Dissertação de Doutoramento, FCT/UNL.