

DIMENSIONAMENTO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO INCORPORADAS EM OBRAS DE CONDUTAS DE ABASTECIMENTO

C. Félix ^[1], H. Silva ^[2], C. Tuna ^[3], J. Gabriel Silva ^[4], J. Figueiras ^[5]

^[1] Prof. Coordenador do Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP/LABEST; ^[2] Engenheiro Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP/LABEST; ^[3] Engenheira Civil, Águas de Douro e Paiva, S.A. (AdDP); ^[4] Director de Engenharia da Águas do Douro e Paiva, S.A. (AdDP) e Equiparado a Professor Adjunto do ISEP; ^[5] Professor Catedrático, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP/LABEST

RESUMO

As condutas de abastecimento de água são geralmente enterradas. No entanto em casos específicos, como por exemplo em travessias aéreas, existem troços de conduta que estão ou suspensos ou à superfície do terreno encontrando-se sujeitos às acções resultantes das variações de temperatura. Nestas situações é comum dotar o troço de conduta, normalmente fixo entre duas ancoragens, de juntas de dilatação que absorvam as dilatações e contracções a que estão sujeitos.

Contudo, a presença de juntas de dilatação no sistema adutor introduz no sistema conduta/junta de dilatação acções de valor não desprezável. Assim é da maior importância que em fase de projecto as características destas juntas sejam devidamente especificadas, sejam claramente identificadas e quantificadas as acções envolvidas, se dimensionem os apoios/guiamentos da conduta e se avalie a segurança da conduta com base em modelos de análise que tenham em atenção efectivas condições de apoio, em particular a interacção conduta/ estrutura de apoio.

Nesta comunicação identificam-se os aspectos mais importantes a considerar nas várias fases das obras que incorporem juntas de dilatação telescópicas.

PALAVRAS CHAVE

Conduta, junta de dilatação, monitorização, comportamento estrutural

DESCRIÇÃO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO TELESCÓPICAS

As juntas telescópicas são constituídas essencialmente por dois elementos tubulares rectos, por uma caixa contendo os elementos de vedação ou vedantes e por um sistema de aperto dos vedantes, como ilustra a Figura 1. Um dos elementos tubulares (tubo interior) é constituído por um tubo de aço de diâmetro interior idêntico ao da conduta em que se insere e o outro (tubo exterior) consiste numa virola em aço com diâmetro interior superior ao diâmetro exterior do primeiro, de forma a funcionarem em conjunto como um êmbolo. O curso da junta de dilatação é assim realizado através do deslizamento do tubo de menor diâmetro dentro do outro tubo e deve permitir a máxima variação do comprimento da tubagem em qualquer um dos sentidos.

A estanqueidade do conjunto é assegurada pela caixa contendo os elementos de vedação, colocados em tensão entre os dois tubos, por intermédio de um aro de aperto. Os elementos que constituem este sistema, e dos quais se faz uma descrição mais detalhada em sequência, são: virola de fundo da caixa dos elementos de vedação, anel de vedação, anel de guiamento em teflon, aro de aperto, pernos e anilhas.

O fundo da caixa de alojamento do anel de vedação e de guiamento é materializada por uma virola de aço interior solidária ao tubo exterior. O mesmo tubo é dotado de uma virola exterior de aço com furação adequada para servir de sede de aplicação e aperto da caixa de vedação.

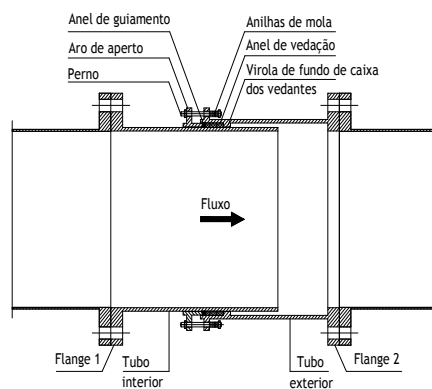


Figura 1
Corte longitudinal
de uma junta de
dilatação do tipo
telescópica

O anel de vedação é constituído por um conjunto de empanques em cordão ensebado ou, preferencialmente, em cordão ensebado reforçado com elementos de teflon nos cantos. Estes empanques devem ser em número adequado, a definir pelo fabricante da junta, tendo em atenção as características específicas da junta de dilatação (pressões de serviço e ensaio, diâmetro, curso previsto e o próprio material dos empanques) e a sua deformabilidade deve ser suficiente para que permita os deslocamentos axiais previstos.

O aro de aperto é constituído por um aro que fecha a caixa dos elementos de vedação e que permite a colocação em tensão dos empanques e por uma virola exterior com furação adequada para servir de sede de aplicação e aperto dos pernos da caixa de vedação. Os pernos (tirantes) são roscados e cada um deles é dotado de porca e contra-porca em cada extremidade. No aperto destes tirantes devem ser interpostas anilhas de mola de modo a garantir um aperto contínuo do anel de vedação.

Entre as extremidades da tubagem onde a junta está montada, os deslocamentos axiais permitidos são função da deformabilidade do anel de vedação. Por essa razão, e como é desejável que a restrição aos deslocamentos seja minimizada sem pôr em causa a estanqueidade do conjunto, é recomendável revestir-se o tubo interior da junta de dilatação com uma folha de aço inoxidável polido ou proceder ao seu fabrico em aço inoxidável com a superfície polida para reduzir o atrito. A vantagem do tubo interior ser totalmente em aço inoxidável está relacionada com a durabilidade da peça, uma vez que será um componente da junta em permanente contacto com a água (mesmo na sua superfície exterior), mas sobretudo devido à dificuldade de se conseguir uma perfeita união entre uma folha de aço inox de revestimento e a superfície exterior do tubo interior.

Os dois elementos tubulares rectos (tubos interior e exterior) são dotados, nas extremidades, de flanges que permitam a ligação às extremidades dos tubos onde se verifica a necessidade de instalação da junta de dilatação.

A Figura 2 ilustra o exemplo de uma junta de dilatação telescópica instalada no interior do encontro da Nova Ponte Hintze Ribeiro. A conduta é de aço com o diâmetro aproximado de 800mm e de espessura de parede de 8mm e o curso da junta de dilatação é de aproximadamente 600mm.

Figura 2
Junta de dilatação telescópica instalada na Nova Ponte Hinz-Ribeiro



QUANTIFICAÇÃO DE ACCÕES

A presença de uma junta de dilatação telescópica interposta numa conduta induz ao desenvolvimento de duas forças distintas: a força de fundo anelar e a força de atrito (ASME, 2004). A força de fundo anelar resulta do conjunto de forças provocadas pela variação da secção de escoamento no interior da junta associada à pressão interna. Este conjunto de forças está identificado na Figura 3 de F_1 a F_4 .

A força de atrito resulta do atrito gerado entre o anel de vedação e o tubo interior e denomina-se na Figura 3 por F_a . A estimativa desta força deve ser efectuada em projecto e confirmada em fase de fabrico da junta, através de ensaios convenientes.

p – pressão interna;
 p_a – pressão de aperto;
 μ – coeficiente de atrito entre o anel de vedação e o tubo interior.

Figura 3
Forças originadas por uma junta de dilatação do tipo telescópica



$$F_1 = -p \cdot \pi \cdot (R_2^2 - (R_1 + e_1)^2)$$

$$F_2 = p \cdot \pi \cdot (R_2^2 - (R_1 + e_1)^2)$$

$$F_3 = -p \cdot \pi \cdot ((R_1 + e_1)^2 - R_1^2)$$

$$F_4 = p \cdot \pi \cdot ((R_1 + e_1)^2 - R_1^2)$$

$$F_a = p_a \cdot \mu \cdot (2 \cdot \pi \cdot (R_1 + e_1) \cdot L_{anelvedação})$$

Além destas, devem ser ainda consideradas outras acções que incidem sobre a conduta, tais como:

- . Peso próprio da conduta;
- . Peso próprio da água no seu interior;
- . Pressão da água;
- . Atrito da conduta nos apoios e guiamentos (mesmo em presença de soluções de teflon);
- . Eventuais assentamentos dos apoios.
- . Acção da temperatura (temperatura ambiente, temperatura da água e temperatura da conduta)
- . Acção do vento;
- . Acção sísmica.

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO SISTEMA CONDUTA/JUNTA DE DILATAÇÃO

O comportamento de um sistema conduta/junta de dilatação deve ser analisado com base num modelo que preveja a interacção da junta com a conduta e desta com a estrutura em que se apoia.

Dada a sua importância para a segurança do sistema estrutural, é imprescindível a realização da caracterização completa dos guiamentos/suportes da tubagem, nomeadamente a sua localização, o tipo de restrição que conferem à tubagem e o respectivo dimensionamento. Diversos tipos de apoio podem ser projectados sendo os mais comuns: (i) os apoios de encastramento, constituídos por maciços de betão em geral de grandes dimensões; (ii) e os guiamentos que impedem os deslocamentos verticais mas permitem os deslocamentos longitudinais da conduta.

A Figura 4 ilustra alguns dos guiamentos adoptados na conduta adutora que atravessa o Rio Douro na Nova Ponte Hintze Ribeiro. A interposição de pastilhas em teflon permitiu reduzir o atrito entre a conduta e estes apoios. Como se pode observar, estes guiamentos conferem à conduta diferentes graus de mobilidade transversal. Nestas condições, para a determinação da carga crítica de encurvadura de uma conduta assume especial importância a avaliação da rigidez transversal (vertical e horizontal) de cada um dos guiamentos e, como adiante se verá, o atrito longitudinal desenvolvido nos apoios, mesmo quando dotados de pastilhas de teflon.



Figura 4
Diferentes condições de apoio da conduta na Nova Ponte Hintze Ribeiro: a) Guiamento com travamento vertical; b) Conduta suspensa em carlingas da ponte através de pendural e c) Pendural com travamento transversal.

A amplitude expectável dos movimentos da junta de dilatação quantifica-se tendo em conta as diversas combinações de acções. Entre os diversos cenários possíveis salienta-se a possibilidade da conduta estar vazia ou cheia. Na primeira hipótese, a temperatura a considerar para a conduta será idêntica à ambiente e na segunda hipótese, à temperatura da água no seu interior. Os movimentos da junta de dilatação resultam não só da variação da temperatura, mas também da variação da pressão da água. De facto, o aumento da pressão da água originará, em princípio, a contracção da conduta, quer por efeito de Poisson, quer pelo aumento da resultante das compressões induzidas pela junta de dilatação (força de atrito e força de fundo anelar). Para a avaliação da segurança é necessário determinar a carga crítica de encurvadura da conduta para a solução adoptada, tendo em atenção a geometria da conduta e da(s) junta(s) de dilatação e a rigidez conferida pelos apoios/guiamentos. Para o efeito devem ser utilizados modelos de cálculo que tenham em atenção, entre outros aspectos, as efectivas condições de apoio da conduta.

FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO

Na fase de aquisição de juntas de dilatação telescópicas é necessário que o fabricante especifique todas as características geométricas e materiais do respectivo equipamento e que sejam determinadas as forças de atrito e de fundo anelar induzidas pela sua presença. Só assim será possível validar a avaliação da segurança efectuada em fase de projecto de um dado sistema adutor em análise.

A caracterização da junta de dilatação deve ser efectuada previamente à sua instalação em obra através de pelo menos dois ensaios conduzidos em fábrica. Um deles deve ser realizado à pressão de ensaio definida no projecto para a conduta em que a junta vai ser interposta, segundo o procedimento habitual dos ensaios de pressão de condutas, que permita comprovar a segurança em relação às tensões desenvolvidas nos diversos elementos e respectivas ligações, bem como a eficiência do sistema de vedação. O outro ensaio a realizar é o que permita determinar a força de atrito gerada pelos empanques ajustados para garantir a estanqueidade durante o referido ensaio de pressão.

Na montagem da junta de dilatação, as porcas dos pernos de fixação do aro de aperto da caixa de vedação não deverão ser apertadas a fundo mas tão-somente até ao valor suficiente para assegurar a sua estanqueidade definido no ensaio de pressão supra referido.

Após a conclusão da obra deve ainda ser conduzido um ensaio de pressão em obra que permita caracterizar o comportamento de todo o sistema estrutural constituído pela junta de dilatação, conduta e respectivos guiamentos.

É importante que todo o processo de instalação da junta de dilatação em obra seja devidamente acompanhada por um técnico especializado da empresa fornecedora da junta, o qual deve elaborar um relatório final de instalação do equipamento, contendo toda a informação considerada relevante.

MONITORIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM JUNTA DE DILATAÇÃO

Introdução

Com vista à obtenção de informações complementares acerca do comportamento do sistema estrutural constituído por junta de dilatação, conduta e respectivos guiamentos, foi instrumentado e observado o comportamento de um troço de conduta de adução de água que atravessa o rio Douro, suspensa na Nova Ponte Hintze Ribeiro (ver Figura 5). Este estudo permitiu ainda observar a interacção existente entre a ponte e a conduta (Silva et. al, 2005b).

Figura 5
Panorâmica da nova
ponte Hintze-Ribeiro



É um tema menos estudado e pouco explorado no âmbito da Engenharia Estrutural, não tendo sido encontrados na bibliografia especializada estudos similares. O passado recente e as conclusões deste estudo permitem afirmar, no entanto, que os técnicos envolvidos no projecto e construção destes sistemas devem ter em consideração a interacção entre a conduta e a estrutura de suspensão para um correcto dimensionamento e controlo da segurança dos

órgãos do sistema adutor. Nos pontos seguintes são resumidas algumas das observações e conclusões que foram apresentadas no decorrer do trabalho.

Sistema de monitorização instalado

A instrumentação da conduta incidiu sobre 7 secções conforme se ilustra na Figura 6 (Silva et. al, 2005a). Nas secções S1 a S3 foram instalados LVDT's (ver Figura 6a) que permitiram observar os deslocamentos longitudinais e transversais da conduta e nas secções S4 a S7 foram colados extensómetros à superfície da conduta que permitiram observar localmente as deformações longitudinais e circunferenciais (ver Figura 6b).

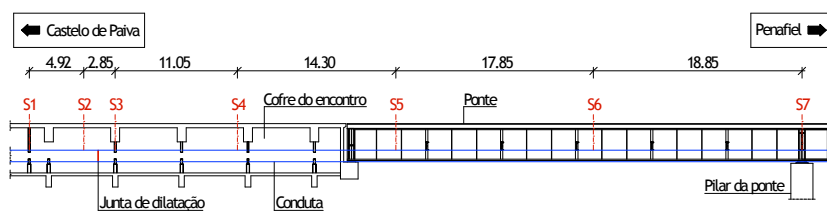


Figura 6
Localização das secções instrumentadas



Figura 7
Instrumentação: a) LVDT na secção S3 e b) extensómetros na secção S5: EL_S51 e EC_S51

Foram ainda observados os movimentos da junta de dilatação localizada no cofre do encontro (ver Figura 2), a temperatura ambiente, dentro e fora do encontro, a temperatura de pontos da ponte e temperatura da conduta.

Todos os sensores foram ligados a um sistema de aquisição automático que permanece em funcionamento observando em permanência o comportamento deste órgão do sistema adutor.

As principais características da conduta estão resumidas no Quadro 1.

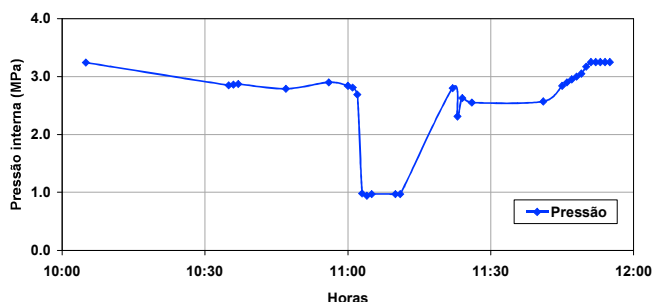
RAIO INTERIOR DA CONDUTA	398.5MM
ESPESSURA DE AÇO	8MM
ESPESSURA DO REVESTIMENTO INTERIOR EM ARGAMASSA	10MM
MÓDULO DE ELASTICIDADE DO AÇO	210GPA
COEFICIENTE DE POISSON DO AÇO	0.30

Ensaio de abaixamento da pressão interna

A pressão interna instalada no troço de conduta que atravessa o rio Douro, tem um valor praticamente constante e igual a 3.25 MPa (32.5 bar), uma vez que resulta do desnível topográfico existente entre o reservatório da ETA de Castelo de Paiva, localizado a montante, e o local

onde se realiza a referida travessia. Através de alguns procedimentos acordados com a AdDP, foi possível conduzir um ensaio que compreendeu uma diminuição de pressão interna até um valor mínimo de 0.94 MPa (ver Figura 8). No decorrer deste ensaio todo o sistema de medição permaneceu em funcionamento contínuo. O valor da pressão foi observado num manómetro instalado na conduta, nas proximidades da junta de dilatação.

Figura 8
Pressão interna na conduta observada durante o ensaio



No decorrer do ensaio, no troço da conduta em análise, verificou-se uma variação de pressão de 2.28MPa. Esta variação de pressão conduziu a uma variação da força de fundo anelar de $\Delta F_r = 93.5\text{kN}$ (ver Figura 3). A esta variação de força está associada uma variação de tensão circunferencial de $\Delta\sigma_c = -114.7\text{MPa}$, e uma variação de tensão longitudinal na conduta de $\Delta\sigma_l = +4.6\text{MPa}$.

As correspondentes variações de deformação na conduta, livre de outros efeitos, seriam:

$$\Delta\varepsilon_c = \frac{1}{E} (\Delta\sigma_c - \nu \times \Delta\sigma_l) = -553 \times 10^{-6} \quad (\text{de contracção})$$

$$\Delta\varepsilon_l = \frac{1}{E} (\Delta\sigma_l - \nu \times \Delta\sigma_c) = +186 \times 10^{-6} \quad (\text{de dilatação})$$

Considerando a secção compósita da conduta e admitindo a contribuição da argamassa de revestimento interno para a rigidez, com um coeficiente de homogeneização de argamassa em aço $\alpha=10$, resulta numa espessura equivalente de tubo em aço de cerca de 9mm (aumento de 12.5%). Assim, os valores esperados para a variação de deformação das paredes da conduta seriam:

$$\Delta\varepsilon_c = -492 \times 10^{-6} \quad (\text{de contracção})$$

$$\Delta\varepsilon_l = +165 \times 10^{-6} \quad (\text{de dilatação})$$

Comparando o valor da variação da extensão circunferencial calculado com o valor médio medido nos extensómetros da secção S5 e S7 que é de $\Delta\varepsilon_{c,m} = -478 \times 10^{-6}$ (ver Quadro 2), resulta num erro de apenas +2.8%.

Quadro 2
Variação de extensão longitudinal durante o ensaio de abaixamento de pressão

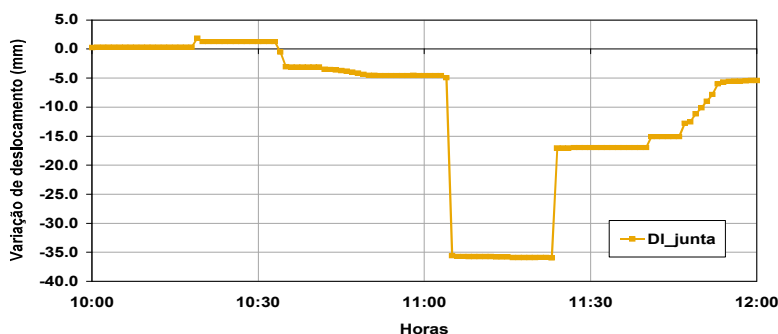
Secção	Extensómetro	$\Delta\varepsilon_{c,max}$ ($\times 10^{-6}$)	Valor médio $\Delta\varepsilon_c$ ($\times 10^{-6}$)
S5	EC_S5 ₁	-494	-504
	EC_S5 ₂	-525	
	EC_S5 ₃	-493	
S7	EC_S7 ₁	-445	-452
	EC_S7 ₂	-458	

No que se refere à comparação entre a variação das deformações longitudinais medidas (ver Quadro 3) e calculadas, as diferenças observadas são muito maiores (+29,5% em média) e em geral estas diferenças vão aumentando (menores valores medidos) à medida que as secções de observação se afastam da junta de dilatação. As diferenças observadas podem resultar da restrição dos apoios à livre deformação da conduta na direcção longitudinal.

Secção	Extensómetro	$\Delta\epsilon_l$ ($\times 10^{-6}$)	Valor médio $\Delta\epsilon_l$ ($\times 10^{-6}$)
S4	EL_S4	136	136
S5	EL_S5 ₁	128	147
	EL_S5 ₂	164	
	EL_S5 ₃	148	
S6	EL_S6 ₁	96	123
	EL_S6 ₂	150	
S7	EL_S7 ₁	126	104
	EL_S7 ₂	82	

Durante o ensaio, a variação de deslocamento medido na junta de dilatação foi de cerca de 36 mm (ver Figura 9), enquanto que, na hipótese de livre deformação longitudinal, a variação esperada seria de:

$$\Delta l_{junta} = 364 \times 10^3 \times 165 \times 10^{-6} = 60 \text{ mm}$$



Quadro 3
Variação de extensão longitudinal durante o ensaio de abaixamento de pressão

Verifica-se aqui de novo uma diferença sensível que só poderá ser justificada com base na restrição ao deslocamento longitudinal da conduta exercida pelos apoios.

No que se refere aos deslocamentos transversais à conduta medidos em duas secções (S1 e S3), verificou-se que o deslocamento horizontal médio foi de 0,21mm e corresponde de forma aproximada à variação do raio exterior da conduta devido à variação de pressão, isto é:

$$\Delta R = \frac{492 \times 10^{-6} \times 0,813 \times 10^3}{2} = 0,20 \text{ mm}$$

Monitorização sob acção de efeitos térmicos

O ensaio de variação da pressão foi executado num período de tempo relativamente curto, cerca de 2 horas, pelo que na análise anterior os efeitos da variação da temperatura foram

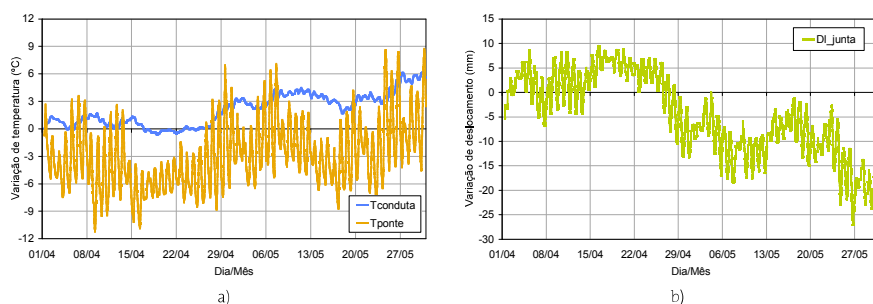
desprezados para clareza da análise, já que se verificou serem pouco significativos quando comparados com os valores das grandezas observadas. A monitorização da conduta sob acção dos efeitos ambientais, e admitindo que a pressão instalada se mantém constante, evidenciou que as variações de temperatura influenciam de forma significativa o comportamento da conduta.

Os extensómetros aplicados à conduta são compensadores das deformações de origem térmica do aço constituinte da conduta, daí que os valores observados são pouco significativos. As variações de deformação observadas podem dever-se a deformações impostas, a variações de pressão e ao facto da conduta ser de constituição compósita não proporcionando uma compensação efectiva para as deformações livres de origem térmica.

A temperatura do material constituinte da conduta parece ser essencialmente determinada pela temperatura da água (ver Figura 10a). O termómetro que efectua esta leitura é o *Tconduta*, que apresenta uma variação semanal e uma variação diária muito ligeira (sempre inferior a 1°C).

Figura 9
Fecho da junta de dilatação durante o ensaio de abaixamento de pressão

Figura 10
Resultados da monitorização permanente: a) Variação da temperatura e b) Deslocamento da junta de dilatação



A variação do deslocamento da junta de dilatação, representada na Figura 10b, mede a integração da deformação longitudinal da conduta ao longo de todo o comprimento ($L = 364$ m). No caso da conduta livre de restrições ao deslocamento longitudinal o valor medido no transdutor *DI_Junta* seria $\Delta l = \Delta T \alpha L$. Verifica-se no entanto uma variação diária mais acentuada (chega a ultrapassar 16mm em 24 de Maio) e influenciada pelas variações de temperatura da ponte o que leva de novo a considerar a interacção entre a conduta e a ponte através das restrições ao livre deslocamento longitudinal proporcionada pelos apoios de suspensão existentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atendendo ao caso estudado na presente comunicação e a outras juntas existentes em condutas adutoras da AdDP, as juntas de dilatação telescópicas indiciam ter uma elevada eficiência na fase de exploração e por isso admite-se que são preferível nas situações mais delicadas, principalmente nos casos de obras em que as pressões são mais elevadas ou em que os cursos exigidos à junta sejam maiores.

A aquisição deste tipo de equipamento obedece a condições particulares, uma vez que a sua definição completa está condicionada pela fase de fabrico e a sua caracterização, nomeadamente o aperto dos elementos vedantes e a força de atrito que este elemento induz no sistema, apenas pode ser definida após realização de ensaios específicos. Finalmente refira-se que os resultados apresentados evidenciam a necessidade de, no dimensionamento de sistemas adutores que incorporem juntas de dilatação, serem devidamente quantificadas todas as acções e considerada a interacção sistema adutor/estrutura envolvente de suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME - "2004 ASME Boiler & Pressure Vessel Code – VIII Division 1 – Rules for construction of pressure vessels", ASME – The American Society of Mechanical Engineers, 2004.
- Silva, H.; Dimande, A.; Félix, C. e Figueiras, J. – "Monitorização do comportamento do sistema conduta/ junta de dilatação instalado na nova ponte Hintze-Ribeiro", Relatório Técnico. FEUP/ LABEST, 2005a.
- Silva, H.; Félix, C. e Figueiras, J. – "Análise do Comportamento de Juntas de Dilatação Telescópicas em Conduatas Adutoras", Relatório Final. FEUP/ LABEST, 2005b.