

TUBAGENS DE BETÃO PARA CONDUTAS EM PRESSÃO: CONCEITO, INSTALAÇÃO, REPARAÇÃO

José MASSANO-ANDRÉ

Eng.º Metalúrgico, PREBESAN, Cabeço do Alecrim, Louriceira, Almoester, 2005-111 Santarém,
+351.243.491.736, jma@prebesan.com

Resumo

As tubagens de betão armado ou betão pré-esforçado com alma de aço destinam-se a obras de abastecimento de água, redes de rega, condutas industriais, mini-hídricas, emissários submarinos e ainda tubagens para serem aplicadas pelo método de cravação (ex. sob linhas de caminho de ferro). Além dos tubos também podem ser produzidas com esta tecnologia peças especiais (curvas, tês, derivações...). O presente artigo descreve o produto, os tipos de junta, o âmbito de aplicação, os processos de fabrico, o controlo de qualidade e as condições de uso (aspectos considerados no cálculo e aspectos não considerados no cálculo).

Palavras-chave: tubagens pré-fabricadas de betão com alma de aço

1 - BREVE REFERÊNCIA HISTÓRICA

No final do século XIX, existiam em Paris graves problemas de saneamento básico, para cuja resolução eram necessárias tubagens de grande dimensão que não estavam disponíveis no mercado, pois o ferro fundido, material usado para tubagens até essa data, não permitia o fabrico de tubos de grande diâmetro.

Em 1893, o engenheiro francês Aimé Bonna, que trabalhava para os serviços municipalizados de Paris, inventou os tubos de betão armado com alma de aço, tendo a fábrica de Conflants Ste-Honorine começado a produzir tubagens em 1894 (Figura 1 e 2).

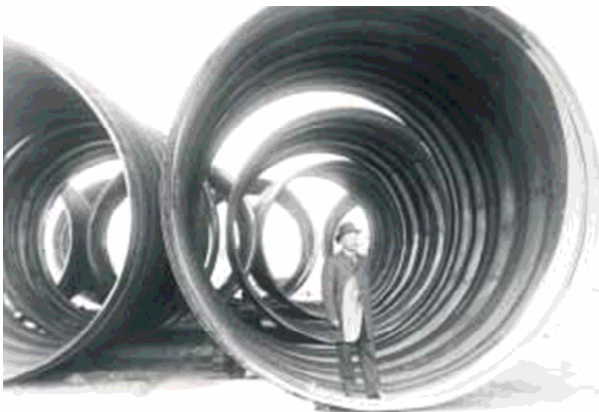


Figura 1 – Aimé Bonna em tubo DN 6.000



Figura 2 – Ensaio de compressão diametral ... em 1895

Nas décadas seguintes foram instalados, só na zona de Paris, cerca de 300 km de tubagens de betão armado com alma de aço, a maior parte das quais ainda hoje se encontra em serviço e é visitável.

Actualmente, existem fábricas para a produção deste produto na maior parte dos países desenvolvidos, pois a possibilidade de utilizar materiais e mão-de-obra nacionais induz vantagens económicas (cada vez mais importantes face à actual crise económico-financeira). Em Portugal existem 3 fábricas em actividade para a produção deste tipo de tubagem.

2 – DESCRIÇÃO DA TUBAGEM

2.1 Tubagem de Betão Armado com Alma de Aço

O tubo de betão armado com alma de aço é constituído por um cilindro de aço revestido interior e exteriormente com betão. O revestimento exterior é de betão armado, enquanto o interior é argamassa ou betão ligeiramente armado.

A principal função da alma de aço é conferir estanqueidade ao tubo, embora participe também na resistência mecânica do tubo em conjunto com o revestimento exterior de betão armado. Para lá de conferir resistência mecânica ao tubo, o betão exterior evita o contacto da

alma de aço com o terreno que envolve o tubo. O betão interior evita o contacto directo da água com a alma de aço, evitando assim a sua corrosão de forma eficaz pois esta fica embebida num meio fortemente alcalino (Figura 3a).

A armadura do revestimento exterior é composta por gaiolas formadas por varões longitudinais e transversais inter-soldados e dispostas numa ou mais camadas, cuja função é colaborar na resistência mecânica do tubo, suportando sobretudo os esforços de tracção originados pela pressão da água e pelas cargas exteriores.

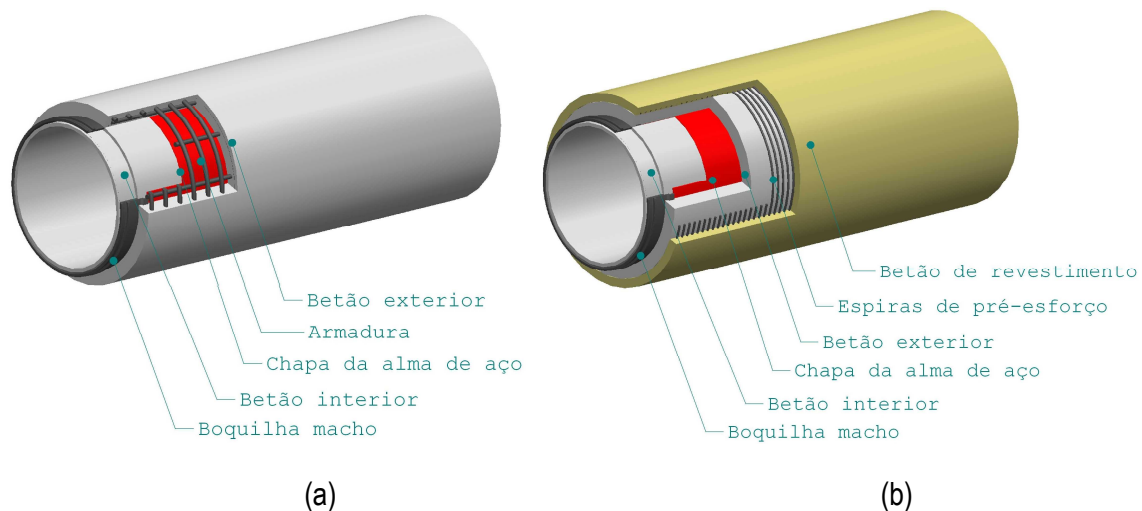


Figura 3 – Tubagem de Betão (a) Armado com Alma de Aço e (b) Pré-esforçado com Alma de Aço

2.2 Tubagem de Betão Pré-Esforçado com Alma de Aço

O tubo de betão pré-esforçado com alma de aço é constituído por um núcleo com um enrolamento helicoidal de arame de aço de alta resistência, que é depois revestido exteriormente com betão (Figura 3b).

O núcleo consiste num cilindro de aço revestido de betão. Existem 2 tipos de revestimento dando origem a 2 tipos de tubo:

a) **De alma de aço revestida:** quando o núcleo é formado pelo cilindro revestido de betão somente pelo interior, sendo o arame de pré-esforço aplicado directamente sobre a chapa de aço;

b) **De alma de aço embebida:** quando o núcleo é formado pelo cilindro revestido de betão pelo interior e pelo exterior, sendo o arame de pré-esforço aplicado sobre a camada de betão exterior à alma de aço.

O pré-esforço, executado com arame de aço de alta resistência, é enrolado helicoidalmente à volta do núcleo sob tensão controlada e tem como principal função participar na resistência mecânica do tubo, suportando principalmente os esforços de tracção originados pela pressão da água e pelas cargas exteriores.

O betão de revestimento colocado sobre as espiras de pré-esforço não participa na resistência do tubo, sendo o seu único objectivo evitar o contacto do aço com o terreno e assegurando assim a sua protecção contra os agentes exteriores.

Os tubos de betão pré-esforçado com alma de aço usam-se sobretudo quando as pressões de serviço das tubagens são elevadas ou muito elevadas, o que obrigaria em caso de tubagens de betão armado ao uso de grandes quantidades de aço e grandes espessuras de parede, inviabilizando economicamente o seu uso.

2.3 Sistemas de União entre Tubos (Juntas)

No que diz respeito ao tipo de união entre tubos, quer sejam armados ou pré-esforçados, distinguem-se 2 tipos principais:

a) **Junta soldada ou rígida:** a união entre 2 tubos consecutivos realiza-se através da soldadura das boquilhas (terminais macho e fêmea dos tubos) com preenchimento posterior de betão no interior e no exterior da junta. A soldadura das boquilhas é feita pelo interior ou pelo exterior do tubo, dependendo das condições da obra e do diâmetro da tubagem (Figura 4).

i. **Vantagens:** permite o aterro das condutas depois da soldadura e do preenchimento das juntas com betão, visto não existir risco de fugas;

ii. **Desvantagens:** 1) menor ritmo de montagem; 2) perigo de esforços sobre os tubos em caso de assentamentos diferenciais; 3) perigo de danos nos tubos devido a dilatação longitudinal da tubagem enquanto está a descoberto, quando o número de tubos soldados é excessivo.

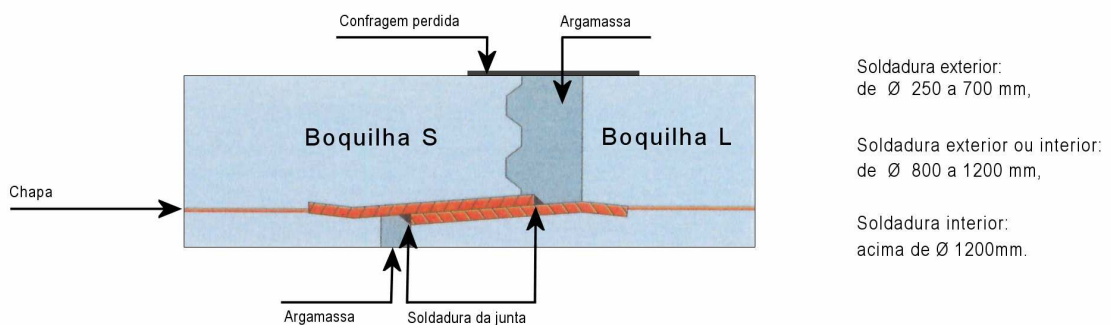


Figura 4 – Junta soldada

b) **Junta flexível:** a união entre 2 tubos consecutivos realiza-se através do uso de um cordão de borracha (elastómero) entre as boquilhas macho (que possui uma ranhura adequada para receber o elastómero) e fêmea dos tubos. O elastómero fica comprimido entre as duas boquilhas e garante a sua total estanqueidade. As boquilhas são protegidas contra a corrosão com tintas epoxi de grande longevidade (Figura 5).

i. **Vantagens:** 1) elevado ritmo de montagem; 2) evita soldaduras e betonagem das juntas, sendo por isso uma solução mais económica; 3) permite assentamentos diferenciais da conduta;

4) não existe perigo de tracções por dilatação/contractão dos troços montados; 5) a descontinuidade eléctrica promovida pela junta é uma protecção adicional contra correntes anódicas na tubagem.

ii. **Desvantagens:** 1) maiores cuidados durante a montagem dos tubos ; 2) maior probabilidade de fuga nas juntas (que pode ser minimizada ou anulada se a montagem for executada por equipa especializada), aconselhando a não aterrar completamente a conduta até execução dos ensaios (de evitar em época de chuvas).

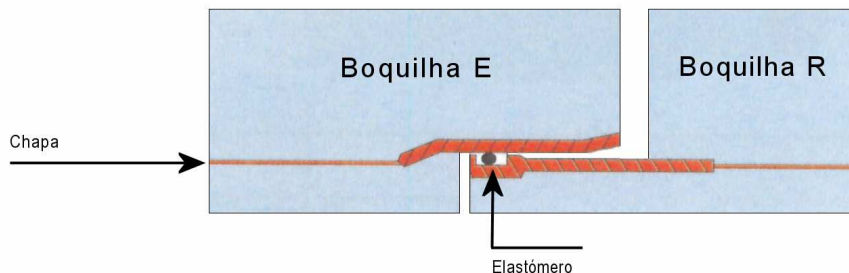


Figura 5 – Junta flexível

2.4 Vantagens e Propriedades da Tubagem de Betão com Alma de Aço

O campo de aplicação deste tipo de tubos é muito grande, sendo especialmente recomendados para o transporte de fluidos submetidos a uma grande gama de pressões, assim como quando garantir a estanqueidade da conduta seja um factor determinante.

Costumam empregar-se tubos de betão com alma de aço nas seguintes condições:

- **Diâmetros:**..... maiores que 500 mm
- **Comprimentos:**..... entre 2,5 m e 7 m
- **Pressões:**.....de 0 a 4 MPa

3 – ÂMBITO DE APLICAÇÃO (EXEMPLO DE OBRAS)

3.1 Abastecimento de Água

A tubagem de betão com alma de aço é usada frequentemente para o transporte, a grandes distâncias, de grandes caudais de água. A possibilidade de produzir com esta tecnologia tubagens até 6.000 mm de diâmetro (para os maiores diâmetros as tubagens são produzidas no local da obra) tem contribuído para serem a opção no abastecimento de água a grandes cidades em todo o mundo.

Em Portugal, são exemplos de obras executadas com este tipo de tubagens:

- Abastecimento de água a Lisboa com origem no Castelo de Bode (Figura 6)

- 80.000 m – DN 1.800 mm – Betão PEAA – 1980 a 1984
- 30.000 m – DN 1.800 mm – Betão PEAA – 1994 a 1996
- Abastecimento de água ao Algarve (Barlavento e Sotavento)
 - 80.000 m – DN 600 a 1.500 mm – Betão PEAA – 1996 a 1998



Figura 6 – Adutor Castelo de Bode – Lisboa DN 1.800 – 110.000 m

3.2 Redes de Rega

O uso de tubos de betão com alma de aço para a construção de condutas destinadas a redes de rega está bastante difundido a nível mundial. Tanto as redes primárias (ligação entre barragens construídas com tubos de grande diâmetro), como as redes secundárias (construídas com tubos de diâmetro médio) podem ser vantajosamente executadas com este tipo de tubos. A facilidade de implantação de fábricas em zonas longínquas e usando matérias-primas e mão-de-obra local tem permitido irrigar grandes áreas de terras aráveis, que de outro modo seria inviável (Ex. irrigação de 250.000 ha na Patagónia, Argentina)

São exemplos de Redes de Rega executadas com este tipo de tubos em Portugal:

- Regadio da Cova da Beira (Dono de Obra – DGADR) (Figura 7)
 - 47.340 m – DN 600 a 1.600 mm – Betão AAA e PEAA – 1992 a 2010



Figura 7 – Regadio da Cova da Beira (imagens)

- Regadio do Alqueva (Dono de Obra – EDIA) (Figura 8)
 - 153.950 m – DN 600 a 2.800 mm – Betão AAA e PEAA – 2000 a 2011



Figura 8 – Regadio do Alqueva (imagens)

3.3 Conduitas Industriais e Mini-hídricas

Exemplos de obras executadas com este tipo de tubagem no país:

- Conduto de Água de Refrigeração da Central Eléctrica do Pego – DN 1.200 a 2.500 mm
- Conduto de Água para a Central Térmica do Parque das Nações – DN 900 – 1.000 m (Figura 9)
- Mini-Hídrica de Catapereiro – DN 1.400 mm – 7.700 m



Figura 9 –Conduto de água da Central Térmica do Parque das Nações– DN 900

3.4 Emissários Submarinos

Exemplos de obras executadas com este tipo de tubagem:

- Emissário Submarino de Vila Nova de Gaia – DN 760 mm – 840 m
- Emissário Submarino de Leça – DN 1.600 mm – 700 m
- Emissário Submarino de Albufeira – DN 1.200 mm – 300 m (Figura 10)



Figura 10 – Construção do Emissário Submarino de Albufeira

3.5 Tubagem para Cravação

Exemplos de obras executadas com este tipo de tubagem:

- Passagem sob Rio Douro junto à Barragem de Crestuma – DN 1.800 mm – 350 m
- Passagem sob o IP2 em São Manços – DN 2.500 – 40 m (Figura 11)
- Emissário Submarino de Vila do Conde – DN 1.200 mm – 300 m



Figura 11 – Passagem sob o IP2 em São Manços

4 – O TUBO DE BETÃO COM ALMA DE AÇO

4.1 Processo de Fabrico

O fabrico da tubagem de betão com alma de aço pode sintetizar-se nas seguintes fases:

- Produção dos cilindros de chapa de aço;
- Corte, enrolamento, soldadura e expansionamento das boquilhas macho e fêmea;
- Assemblagem do cilindro de aço e das boquilhas por soldadura, formando a alma de aço;

- Fabrico das armaduras, com soldadura dos varões longitudinais aos transversais (Figura 12);
- Betonagem do tubo em posição vertical;
- Cura, Acabamento, Pintura das boquilhas e Marcação.



Figura 12 – Fabrico de tubos armados: etapa da produção das armaduras

No caso de tubos pré-esforçados com alma de aço as fases de fabrico são as seguintes:

- Produção dos cilindros de chapa de aço (Figura 13a);
- Corte, enrolamento, soldadura e expansionamento das boquilhas macho e fêmea;
- Assemblagem do cilindro de aço e das boquilhas por soldadura, formando a alma de aço;
- Produção dos núcleos com betonagem em posição vertical;
- Enrolamento do arame de aço de alta resistência à volta do núcleo (pré-esforço) (Figura 13b);
- Revestimento do arame de pré-esforço com betão, em posição horizontal;
- Cura, Acabamento, Pintura das boquilhas e Marcação.



(a)



(b)

Figura 13 – Fabrico de tubos pré-esforçados: (a) etapa da produção dos cilindros de chapa de aço; (b) etapa do enrolamento do aro de aço à volta do núcleo

4.2 Controlo de Qualidade e Normativa Aplicável

Cada tubo produzido em qualquer fábrica que se dedica à produção deste tipo de tubagem é sujeito a um rigoroso controlo de qualidade.

Por imposição das normas europeias, as empresas que possuem fábricas para esta produção terão de ser certificadas pela Norma ISO 9001:2008, face à necessidade de garantir a máxima qualidade em produtos que podem servir para abastecimento de água às populações, onde se incluem muitos milhões de pessoas.

Assim, são sujeitos a um rigoroso controlo de qualidade quer as matérias-primas usadas, quer os processos de fabrico. Para garantia de adequado funcionamento em obra é também rigoroso o controlo dimensional de cada tubo em várias das suas vertentes (Figura 14).



Figura 14 – Controlo dimensional das boquilhas

Para lá das normas genéricas aplicáveis às matérias-primas, as normas específicas para a produção deste tipo de tubos são as seguintes:

- NP EN 639 – Requisitos comuns para tubos de betão para condutas de pressão, incluindo juntas, acessórios e peças especiais;
- NP EN 641 – Tubos de betão armado com alma de aço para condutas sob pressão, incluindo juntas e peças especiais;
- NP EN 642 – Tubos de betão pré-esforçado, com ou sem alma de aço, para condutas sob pressão, incluindo juntas e peças especiais, e requisitos especiais para o arame de pré-esforço dos tubos

4.3 Transporte, Descarga em obra e Montagem

Finalizado o processo de produção, podemos sintetizar assim a sequência das fases seguintes:

- Armazenagem dos tubos em fábrica;
- Transporte até à obra correspondente;
- Descarga e armazenagem em obra;
- Montagem da tubagem em vala (escavada com as dimensões adequadas);

Na maior parte dos casos, a tubagem de betão com alma de aço é aterrada depois de instalada. É importante referir, em primeiro lugar, que todas as condições de instalação que ocorrem em obra foram tidas em conta no cálculo para o dimensionamento (hidráulico e mecânico) dos tubos, pelo que a sua resistência em obra está totalmente garantida.

De forma a garantir uma correcta instalação da tubagem, a montagem deve ser realizada por pessoal especializado, que posteriormente deve vigiar o aterro e a sua compactação.

Para a movimentação dos tubos, devem ser usados meios adequados ao seu diâmetro, peso e comprimento, evitando choques que danifiquem o tubo (Figura 15).



Figura 15 – Movimentação de tubos – colocação em vala

Em caso de junta soldada, deve proceder-se à limpeza das boquilhas antes do encaixe. Após a montagem, procede-se à soldadura interior ou exterior (depende do diâmetro) das duas boquilhas, verificando-se a qualidade da mesma através de ensaio de líquidos penetrantes. Quer a junta interior quer a exterior são depois preenchidas com argamassa.

No caso mais frequente de montagem de tubos com junta flexível, é crucial proceder à sua montagem respeitando os seguintes aspectos/passos:

- Utilizar equipamento que não danifique as boquilhas;
 - Limpar eficazmente as boquilhas macho e fêmea (muita atenção a areias);
 - Pincelar a boquilha Macho no interior da ranhura e a Fêmea em toda a superfície com vaselina ou sabão neutros;
 - Colocar o elastómero na ranhura da boquilha Macho e proceder, com máximo cuidado, à distribuição por igual do seu volume em todo o perímetro da boquilha (Figura 16);
 - Proceder ao encaixe dos tubos consecutivos com estes completamente alinhados;
 - Proceder ao correcto posicionamento do tubo, deflectindo-o, se necessário;
 - Calçar o tubo lateralmente antes de retirar os equipamentos de movimentação;
 - Verificar se o elastómero está no seu lugar e devidamente comprimido.
- Aterro parcial ou total da tubagem;

- Prova de estanqueidade da conduta (Figura 17);
- Aterro final da conduta (Figura 18);
- Compactação final;
- Colocação em serviço da conduta

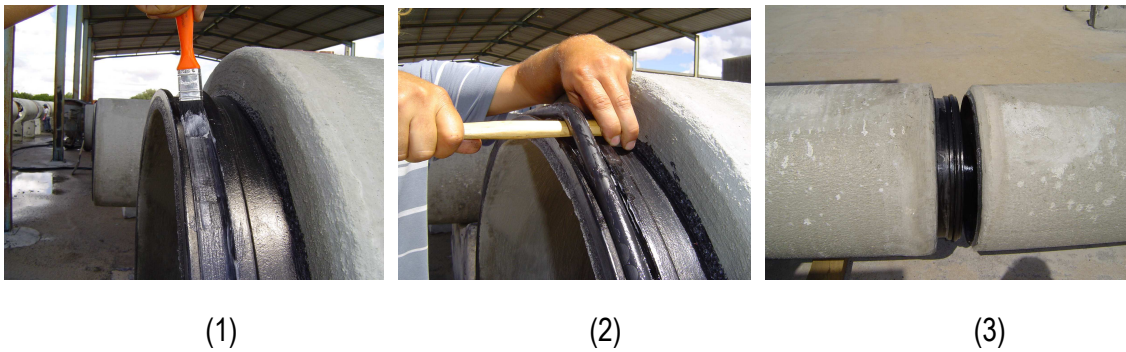


Figura 16 – Colocação do elastómero – etapas de preparação para encaixe (1), (2) e (3)



Figura 17 – Prova de estanqueidade da conduta



Figura 18 – Aterro final da conduta

5 – CONDIÇÕES DE USO

5.1 Aspectos considerados no Cálculo

Para o dimensionamento hidráulico e mecânico do tubo, são tidas em consideração as acções seguintes a que o tubo pode ser submetido:

- Peso próprio do tubo;
- Carga do fluido transportado;
- Cargas verticais do aterro;
- Cargas eventuais concentradas;
- Impulso lateral das terras;
- Pressão Máxima de Funcionamento

5.2 – Aspectos não considerados no Cálculo

Descrevem-se aqui algumas das causas mais frequentes de mau uso das tubagens de betão com alma de aço e que podem gerar danos nas condutas, pelo que devem ser totalmente eliminadas:

- Maior altura de aterro do que o considerado no cálculo;
- Compactação excessiva das terras sobre os tubos;
- Material do aterro lateral desadequado ou mal compactado;
- Vala com dimensões diferentes do projectado;
- Deficiente preparação do leito de assentamento;
- Apoio do tubo diferente do projectado (p.e. brita em vez de betão);
- Defeitos de soldadura nas juntas soldadas;
- Deficiente colocação da argamassa na junta interior e/ou exterior;
- Falta de lubrificação nas juntas flexíveis;
- Elastómero cortado, trilhado ou fora do encaixe (Figura 19);
- Ângulo de deflexão maior que o admissível;
- Encaixe com os tubos desalinhados;
- Pressão de ensaio maior que a considerada no cálculo;
- Falta ou mau funcionamento dos equipamentos de protecção (p.e. ventosas..)
- Golpe de aríete negativo (quando negligenciado no projecto);
- Flutuabilidade em caso de inundação acidental da vala (Figura 20);
- Insuficiente ou inadequada ancoragem de peças especiais, válvulas...;



Figura 19 – Elastómero trilhado



Figura 20 – Flutuabilidade em caso de inundação

5.3 Reparações

Indicamos aqui a forma de executar reparações em 2 casos específicos que podem ocorrer neste tipo de tubagem após a montagem e antes ou após a entrada em serviço.

5.3.1 Fuga de água pela junta (caso de junta flexível)

Após detecção da junta que apresenta uma fuga de água, a reparação consiste, como indicado na figura anexa, nos passos seguintes:

a. Demolição do betão pelo interior ou pelo exterior para permitir a execução da soldadura;

b. Se a soldadura é feita pelo interior do tubo, utilização de um vergalhão quadrado de 1 cm de lado para ligar as duas boquilhas; se a soldadura é feita pelo exterior deve usar-se uma anilha dividida em duas meias luas para ligar as boquilhas macho e fêmea (Figura 21);

c. Betonagem da junta pelo interior e pelo exterior, utilizando neste caso uma cinta como cofragem perdida e uma abertura para entrada de argamassa na parte superior. A argamassa deve ser vibrada para uma mais completa penetração na junta.

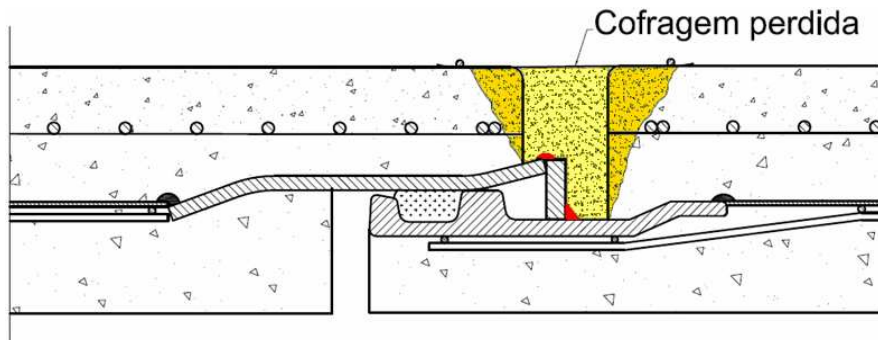


Figura 21 – Reparação de fuga em junta flexível

5.3.2 Fissuração no interior ou exterior da tubagem

Quando se detectam fissuras nos tubos deve, em primeiro lugar, averiguar-se a causa que as provocou.

Se as fissuras estão activas, isto é, se continuam crescendo com o tempo, deve actuar-se sobre a causa que as provoca até que deixem de aumentar, estabilizando o terreno, reduzindo as cargas ou instalando reforços em sítios adequados.

Uma vez estabilizadas as fissuras deve proceder-se à sua reparação segundo os seguintes critérios:

➤ Se a fissura tem uma espessura menor que 0,3 mm, o aconselhável é não intervir, pois a fissura vai autosselar-se por expansão do betão e colmatação, pouco tempo após ser posta em contacto com água (Figura 22);

➤ Se a fissura tem entre 0,3 e 1 mm, deve limpar-se com pincel e tratar-se com um produto isolante;

➤ Quando a fissura tem mais de 1 mm, deve selar-se com um mastique elástico que permita deslocamento, podendo ser necessário abrir a fissura com uma rectificadora para melhor colocação do produto selante.



Figura 22 – Colmatagem de fissura

6 - BIBLIOGRAFIA

BOSH, J.R., MONTOTO, A.R., (2005). AFTHAP - Tubería de hormigón para presión. Madrid (Espanha) Edições AFTHAP

MARMUSE, R., (1990). Les trente premières années de la Société des Tuyaux Bonna. Paris (França), Edições Bonna

NP EN 639:2000 – Requisitos comuns para tubos de betão para condutas de pressão, incluindo juntas, acessórios e peças especiais. Almada (Portugal), Edição IPQ

NP EN 641:2009 – Tubos de betão armado com alma de aço para condutas sob pressão, incluindo juntas e peças especiais. Almada (Portugal), Edição IPQ

NP EN 642:2001 – Tubos de betão pré-esforçado, com ou sem alma de aço, para condutas sob pressão, incluindo juntas e peças especiais, e requisitos especiais para o arame de pré-esforço dos tubos. Almada (Portugal), Edição IPQ

NP EN ISO 9001:2008 (Ed. 3) - Sistemas de gestão da qualidade. Requisitos (ISO 9001:2008). Almada (Portugal), Edição IPQ