

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TUBO DE FERRO FUNDIDO DÚCTIL (F^oF^o) E DE POLICLORETO DE VINILA ORIENTADO (PVC-O)

Autores: Cláudio Henrique Milfont de Magalhães¹; José Roberto Gonçalves de Azevedo²

RESUMO

O tubo de Ferro Fundido Dúctil está presente no saneamento e na hidráulica aqui no Brasil desde 1910. Desde então vem evoluindo, principalmente na modularização e também nos revestimentos interno e externo. Os tubos de PVC vêm sendo utilizados no Brasil desde 1975, ou seja, quando o ferro fundido já tinha 65 anos de uso no país um novo material chegou como opção. Em 41 anos houve muito progresso nas resinas e nas resistências mecânicas e hidráulicas dos tubos de PVC. Visando comparar estes dois tipos de tubos que são amplamente usados no Brasil foi realizado um estudo de caso comparando a performance dos dois. Para tal, foi realizado um teste de campo na cidade de Garanhuns/PE em condições reais de operação. Os resultados apontam que o PVC-O é uma opção ao Ferro Fundido e não substituto, quando nas mesmas condições hidráulicas e de assentamento é muito mais barato utilizá-lo.

ABSTRACT

The Ductile Iron pipe is present in sanitation and hydraulic in Brazil since 1910. Since then it has evolved, especially in modularization and also the internal and external coatings. The PVC tubes have been used since 1975 in Brazil, namely, when the iron had 65 years of use in the country reached a new material as an option. In 41 years there has been much progress in resins and mechanical and hydraulic resistance of PVC pipes. To compare these two types of pipes which are widely used in Brazil was carried out a study comparing the performance of two. To this end, we conducted a field test in the city of Garanhuns / PE in actual operating conditions. The results show that the PVC-O is an option to cast iron and no substitute, when the same hydraulic conditions and settlement is much cheaper to use it.

Palavras-chave: PVC-O; estudo comparativo; tubos

¹ Engenheiro Civil da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa); Mestrando da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); E-mail: claudiomilfont@gmail.com

² Doutor Professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Engenheiro Civil

1 - INTRODUÇÃO

O mercado de tubos e conexões de PVC no Brasil representa anualmente cerca de 500.000 toneladas de resina vinílica, sendo que esse segmento é proporcional a quase metade do consumo aparente de resina no Brasil (INSTITUTO DO PVC, 2015). A principal aplicação desse produto é o transporte de água potável e esgoto em instalações prediais e sistemas de infraestrutura, além do uso industrial (MARTINS; FREIRE; HEMADIPOUR, 2009).

Dentro de uma abordagem mais específica, anos de pesquisas sobre o processamento do Policloreto de Vinila (PVC) permitiram o desenvolvimento de um novo conceito de fabricação, incorporando a tecnologia de orientação molecular, com objetivo de obter produtos com melhorias notáveis em relação à tenacidade, rigidez, ductilidade, resistências à pressão hidrostática interna, ao impacto, ao cloreto de metileno, à compressão diametral, à deformação, fadiga e transmissão de fissuras (MOLL, 2010).

Assim como outros polímeros, o PVC pode ter as propriedades mecânicas melhoradas quando se orientam as cadeias moleculares no sentido da solitação. Orientar um polímero significa alinhar suas cadeias macromoleculares numa direção ou plano determinado, ao invés de deixá-las desordenadas e emaranhadas umas nas outras (MANRICH, S, 2005).

Entre as indústrias pioneiras de mecânica e metalurgia brasileiras, do início do século XX, um fato notável foi a invenção brasileira da fabricação de tubos de ferro fundido por centrifugação, de autoria dos Engenheiros Fernando Arens e Demètre Sensaud de Lavaud, patenteado pelos inventores e hoje em dia de uso generalizado em todo mundo. As primeiras experiências para elucidar os problemas que ocorrem na centrifugação do metal líquido e determinar a velocidade ótima de rotação do molde, foram feitas a partir de 1909.

Objetivo Geral: Demonstrar o uso de tubo PVC-O (Poli Cloreto de Vinila Orientado) como opção ao tubo de FºFº (Ferro Fundido).

Objetivo Específico: Mensurar o aumento de produtividade no uso de tubo PVC-O em comparação ao tubo de FºFº

2 – REVISÃO DA LITERATURA: FABRICAÇÃO DOS TUBOS PVC E TUBOS DE FERRO FUNDIDO DÚCTIL

A orientação molecular de polímeros pode ser feita a partir de materiais semicristalinos como Polipropileno (PP) e Politereftalato de Etileno (PET) ou amorfos como Poliestireno (PS), Polimetilmetacrilato (PMMA) ou mesmo o PVC. Sabe-se que o potencial de melhoria no desempenho mecânico quando orientado é maior para os semicristalinos (MANRICH, S, 2005), mas há vantagens significativas nos termoplásticos amorfos.

O processo pode envolver apenas um eixo de orientação, como ocorre axialmente em fibras sintéticas, onde a resistência à tração é aumentada com orientação monoaxial, ou envolver dois eixos como mostrado na figura 1 (produtos “bi orientados”), axialmente e radialmente, como nos filmes plásticos “BOPP”, telhas de PVC “Ondex®” (RENOLIT ONDEX, 2008), embalagens de refrigerante em PET, tubos “Biax®” (MEXICHEM, 2009), dentre outros.

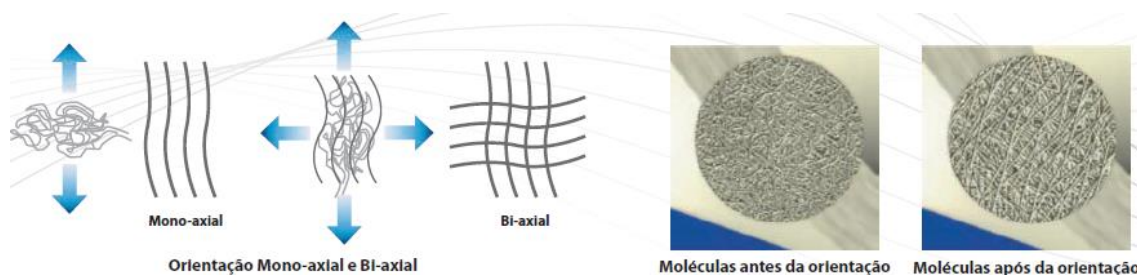


Figura 1 – Desenho esquemático da orientação molecular em uma e em duas dimensões e ao lado amostra de material mono e bi orientado. Fonte Mechixen – Amanco, 2014

O principal esforço que age sobre uma tubulação conduzindo água ou esgoto sob pressão, é a pressão hidrostática interna. Ela gera uma tensão circunferencial na parede do tubo.

Para que o tubo trabalhe adequadamente, a tensão circunferencial atuando em sua parede, não deverá exceder a resistência do material, ou seja, a sua tensão admissível (σ).

No Brasil, os Tubos de PVC têm particularidades únicas, que os distinguem dos Europeus ou Norte-Americanos, a começar pelas suas características dimensionais. Além disso, não foi estabelecida nas Normas Técnicas Brasileiras uma classificação do material em termos de resistência mínima requerida ao projeto, baseada em modelos matemáticos e estatísticos, podendo ser levantada conforme padrões mundialmente aceitos, da maneira que é tratada nos dias atuais pelos Países Europeus, por meio da Norma ISO 12162, resultando, dessa forma, em diâmetros e espessuras completamente diferentes dos mundiais.

Assim, para os Tubos de pressão para condução de água, foi estabelecido no Brasil dois padrões de materiais:

- Os atualmente designados por “PVC 6,3”, ou seja, Tubos que podem ser submetidos continuamente, em condições ideais de serviço e temperatura, a tensões circunferenciais admissíveis de 6,3 MPa, com a garantia de resistir no mínimo por cinquenta anos, de cor marrom, destinados à instalação em sistemas prediais de água fria com pressões de serviço de no máximo 750 kPa, à temperatura de 20°C, sendo 500 kPa de pressão estática e 250 kPa de sobre pressão, sendo regulados pela Norma ABNT NBR 5648;
- Os designados por “PVC 12”, conhecidos por “DEFOFO”, ou seja, Tubos que podem ser submetidos continuamente, em condições ideais de serviço e temperatura, a tensões circunferenciais admissíveis de 12 MPa, com a garantia de resistir no mínimo por cinquenta anos, de cor azul, com diâmetros externos compatíveis com os Tubos em ferro fundido, almejando substituição de um pelo outro, sem necessidade de adaptações, e destinados à execução de adutoras e redes de distribuição em sistemas enterrados de abastecimento de água, com pressões de serviço, incluindo sobrepressões provenientes de variações dinâmicas, inclusive Golpe de Aríete, de até 1,6 MPa, à temperatura de 25° C, sendo regulados pela Norma ABNT NBR 7665.

A prática demonstra, não só no Brasil como em outros países, que a pressão interna não é o único fator a ser considerado em uma Tubulação. As cargas externas decorrentes do solo e tráfego, transientes hidráulicos e condições de instalação são extremamente importantes, especialmente em tubos com espessura reduzida.

Genericamente, os ferros fundidos formam uma classe de ligas ferrosas que possui teores de carbono acima de 2,11%. Na prática, contudo, a maioria dos ferros fundidos contém entre 3,0 e 4,5 % C e, além disso, outros elementos de liga. Ainda, alguns ferros fundidos são muito frágeis, e a fundição é a técnica de fabricação mais conveniente.

Para a maioria dos ferros fundidos, o carbono existe como grafita, e tanto a microestrutura quanto o comportamento mecânico dependem da composição e do tratamento térmico. Os tipos mais comuns de ferros fundidos são os ferros fundidos cinzento, nodular, branco e maleável. Os tubos de ferro fundido utilizados atualmente no saneamento são do tipo nodular.

A adição de uma pequena quantidade de magnésio e/ou cério ao aço cinzento antes da fundição produz uma microestrutura e um conjunto de propriedades mecânicas muito diferentes. A grafita ainda se forma, porém como nódulos ou partículas com formato de esfera e não de flocos.

A liga resultante é conhecida por ferro nodular ou ferro dúctil. A fase matriz que circunda essas partículas consiste ou em perlita ou em ferrita, dependendo do tratamento térmico. Ela é normalmente perlita para uma peça no estado bruto de fusão. Contudo, um tratamento térmico por várias horas a aproximadamente 700°C (1300°F) irá produzir uma matriz de ferrita como nessa fotomicrografia.

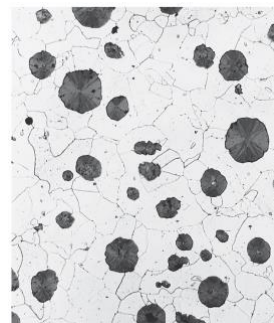


Figura 2 Matriz ferrítica - ferro fundido nodular

A performance do Produto ou Material em plástico depende de quatro elementos:

- Resistência: Falha na máxima Tensão;
- Tenacidade (*Toughness*): Resistência à fratura frágil;
- Ductilidade: Escoamento versus fissuramento, isto é, equilíbrio entre resistência e tenacidade;
- Deformabilidade: Capacidade em absorver deformação.

A resistência ao impacto pode ser considerada como a Energia necessária para romper um corpo de prova padrão por impacto em um teste padronizado. Este parâmetro de projeto é de suma importância para o Projeto de uma Tubulação, tendo em vista que, dependendo da região ou local onde a mesma deverá ser instalada, esta estará sujeita a maiores agressões, oriundas do transporte, manuseios e assentamento do produto. Portanto, a especificação de produto com maior tenacidade ao impacto se faz necessária, assim como uma maior possibilidade de absorção de energia (MOLL, 2010).

O processo de orientação dos tubos PVC-O resulta em tubos de alto desempenho, destacando-se as seguintes características:

- Resistência: o material dos tubos PVC-O apresenta resistência muito superior aos demais materiais termoplásticos disponíveis no mercado. MRS (Resistência Mínima Requerida ou *Minimum Required Strength*), ou seja, a resistência a longo prazo dos materiais – 50 anos à temperatura de 20°C;

- Robustez: excelente resistência aos impactos decorrentes do transporte, manuseio e assentamento. Maior resistência à pressão interna do que materiais similares como PVC -U e PE.
- Leveza: em virtude da sua maior resistência e conseqüentemente menor espessura de parede, proporciona um tubo com menor peso, o que facilita o transporte, manuseio e instalação, dispensando equipamentos pesados. Alinhado ao acoplamento simples (ponta e bolsa com junta elástica) faz a diferença em termos de custo, desempenho e velocidade de instalação em relação à tubulações feitas com outros materiais, principalmente em relação aos tubos de ferro dúctil e polietileno.
- Grande ductilidade (capacidade de deformação plástica), grande tenacidade (resistência à propagação da fissura) decorrente da constituição estrutural da parede, em camadas moleculares e grande resistência a tração. Esse conjunto de fatores incorpora excelente robustez ao tubo.
- Resistência à fadiga: o fenômeno da fadiga devido às cargas cíclicas, está associado à formação e propagação de trincas nos materiais. O PVC-O, com sua estrutura em camadas, dificulta a propagação de trincas na direção radial, apresentando, em decorrência, elevada resistência à fadiga.
- Flexibilidade longitudinal: devido ao processo de orientação bi-axial, o tubo tem também ótima resistência no sentido axial, o que lhe confere resistência a cargas devido a movimentos de acomodação do solo, bem como a economia de curvas de 11° 15' em curvaturas de raio longo.
- Capacidade de vazão: devido à alta resistência do PVC-O, os tubos tem menor espessura de parede e, portanto, maior área de vazão em comparação aos tubos de PVC, PE e mesmo a várias bitolas dos tubos de ferro fundido. Esta característica, associada à superfície interna extremamente lisa, confere aos tubos em PVC-O excelente desempenho hidráulico.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dois materiais com propriedades mecânicas e hidráulicas bem diferentes, tubos de Ferro Fundido (FºFº) e de Policloreto de Vinila Orientado (PVC-O). O experimento foi realizado em campo e dentro do padrão de operação real das equipes de manutenção de adutoras. Tanto o transporte quanto o assentamento.

No transporte foi utilizado caminhão para levar os tubos do almoxarifado até o local de aplicação, para carga e descarga do caminhão foi utilizado uma retroescavadeira para o tubo de ferro e encanadores para o transporte dos tubos PVC-O.

Para acoplar os tubos (“bater”) foi utilizado barrote de madeira e mão de força para o tubo plástico e a concha da retroescavadeira para o tubo metálico. A lubrificação da junta elástica (anel de borracha) foi utilizada de forma errada graxa, o correto seria usar lubrificante a base de água.

4 – ESTUDO DE CASO

4.1 – Instalação

A cidade de Garanhuns no Agreste pernambucano foi escolhida para realizar um teste de campo do tubo PVC-O devido a sua topografia bastante acidentada, por ter a saída da tubulação da ETA (Estação de Tratamento de Água) no maior DN fabricado no Brasil (300mm), o trecho, a serem colocadas as tubulações, ser em uma área fora da cidade (zona rural) e por ter grande importância na região. A motivação da realização de um teste de campo foi exatamente comparar o desempenho mecânico e hidráulico do tubo PVC-O frente ao tubo de ferro fundido. Mostrando que o material polimérico entra como uma excelente opção ao ferro.

Foram instalados 120m de tubos PVC-O DN 300 no Município de Garanhuns/PE. Sendo 60m da marca Politejo (portuguesa) fabricado em Portugal e 60m da marca Amanco (mexicana) fabricado no Brasil. Intercalados com 18m de tubos em Ferro Fundido de mesmo diâmetro da marca Saint-Gobain (francesa) fabricado no Brasil.

O tubo da Politejo é na cor azul e o tubo da Amanco é na cor branca. A adutora atual toda em FºFº (Ferro Fundido dúctil) sofreu intervenção para se colocar um *by-pass* e poder fazer a ligação da tubulação nova independente da antiga. Foram colocados em cada extremidade: uma válvula *on-off*, neste caso válvula gaveta com cunha emborrachada e uma junção.

4.2 – Resistência mecânica

O ponto escolhido foi próximo à saída da ETA da cidade, tendo no local uma pressão dinâmica perto de 160 m.c.a. Esta pressão está acima do limite de operação de tubos feitos em

PVC-DEFOFO (80 m.c.a.) e bem abaixo do limite dos tubos de ferro fundido classe k7 (380 m.c.a) e dentro da faixa de operação dos tubos PVC-O que é de 220 m.c.a.

O tempo de assentamento foi cronometrado, tanto dos tubos de ferro fundido quanto os tubos de PVC-O. O tubo PVC-O do mesmo diâmetro do tubo de ferro fundido é muito mais leve, cerca de 300kg para o ferro e 120kg para o PVC-O, o tempo de assentamento do tubo plástico foi oito vezes menor, 5min contra 40min do tubo metálico.

Este aumento considerável na resistência a pressão interna é devido a orientação molecular, com ela a parede do tubo fica mais fina e como consequência ele fica mais leve e com o raio hidráulico maior, o que permite um aumento de vazão

5 – CONCLUSÕES

Os tubos de PVC-O são uma excelente opção aos tubos de Ferro Fundido, não são substitutos. Como todo material polimérico sem tratamento UV (Ultra violeta), não pode ficar exposto ao Sol e nem podem ser utilizados para travessia de rodovias nem por cursos d'água (água bruta). Tendo diâmetro externo igual aos tubos de FºFº pode usar todas as conexões deste material e ser assentado diretamente após este, sem precisar de luva ou qualquer outra adaptação.

A resistência mecânica a choques e impactos é um diferencial, principalmente no transporte, armazenamento e lançamento na vala. Se um tubo de ferro sofrer uma pancada ele deformará, ficará amassado externamente e internamente o revestimento cairá, se for distante mais de um metro da ponta ou da bolsa, o tubo tem de ser trocado porque não é possível o reparo, além de provocar uma perda de carga localizada não prevista em projeto e um possível ponto de corrosão galvânica.

Como o peso de um tubo PVC-O de mesmo diâmetro de um tubo de Ferro Fundido Dúctil é menos da metade, o lançamento na vala fica muito facilitado, no máximo dois homens podem pegar o tubo polimérico e jogar na vala sem danificar o material. Até mesmo pequenas pedras que ficam no fundo da vala em contato direto com a geratriz inferior do tubo não danificam o material pois as camadas orientadas distribuem melhor a tensão.

6 - RECOMENDAÇÕES

Devido a sua leveza, resistência ao impacto o tempo para bater o tubo é oito vezes menor comparado ao tubo de ferro de mesmo diâmetro. Esse tempo bem menor garante maior produtividade as equipes de campo e por consequência direta a diminuição do tempo da obra.

A grande desvantagem do tubo plástico é a limitação de DN (Diâmetro Nominal), atualmente no Brasil o maior DN é 300mm fabricado pela Amanco na planta de Sumaré/SP, a Politejo importa tubos fabricados em Portugal com DN até 500mm, diâmetros maiores a 500mm a escolha por materiais metálicos e quase obrigatória, tubos de ferro e em aço carbono, outra opção polimérica são os tubos em PEAD (Polietileno de Alta Densidade).

Os valores nas atas de registro de preço vigente na Compesa (Companhia Pernambucana de Saneamento) para o PVC-O DN 300mm é R\$ 1.438,38/tubo enquanto para o tubo de Ferro Fundido K7 é de R\$ 1.584/tubo. Na tabela de custos unitários para obras e serviços de engenharia sem desoneração e com encargos complementares da mesma companhia o valor do assentamento para tubo plástico DN 300mm é de R\$ 30,42/tubo e de R\$ 62,64/tubo para o tubo de ferro fundido de mesmo DN. Portanto para colocar um tubo polimérico no fundo da vala o valor total (tubo + assentamento) é de R\$ 1.468,80 e para o tubo metálico é de R\$ 1.646,64, sendo portanto cerca de 10% mais barato.

Para assentar o PVC-O ele é 8 vezes mais rápido e custa 10% menos do que o valor do Ferro Fundido Dúctil. Com isso o projeto ficará mais econômico e terá sua conclusão em 1/8 do tempo estimado.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistemas para adução e distribuição de água – Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos; NBR 7665. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tubulações de PVC-O (cloreto de polivinila não plastificado orientado) para sistemas de transporte de água ou esgoto sob pressão – Requisitos e métodos de ensaios; NBR 15750. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água – Requisitos; NBR-7675. Rio de Janeiro, 2005

CALLISTER, William D. Materials Science and Engineering an Introduction. Wiley. p.1000, Estados Unidos da América, 2010.

FUMIRE, J. A New, Revolutionary Process for PVC Bi-Oriented Pipes. KRV Nachrichten, vol. 1, p. 25, Alemanha, 2008.

INVENTORES.COM.BR, Disponível em: <www.inventores.com.br>. Acesso em: 14 de agosto de 2016.

LIMA JR, FRANCISCO ALVES DE. Estudo do efeito da orientação molecular nas propriedades mecânicas de tubos em Policloreto de Vinila (PVC). Dissertação de mestrado, UFPE, 2015.

MANRICH, S. Processamento de Termoplásticos. Artliber Editora, São Paulo, 2005.

MARTINS, J. N.; FREIRE, E. & HEMADIPOUR, H. Polímeros, vol. 19, (2009).

MEXICHEM. Manual Técnico da Linha de Tubos BIAX. 44 f., 2009.

MOLL, J.N. Tubos de PVC Orientado: Uma Alternativa Tecnológica para a Condução de Água e Esgoto sob Pressão em Saneamento. SANEAS, vol. 36, nº X, p. 26-28, 2010.

MOLL, J.N.; PIRES, R.M. Avaliação da performance do PVC DEFOFO rígido x PVC DEFOFO dúctil: uma alternativa também necessária no Brasil. SANARE Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, vol. 22, nº 22, p. 25-37, 2004.

RENOLIT ONDEX. Disponível em: <www.ondex.com>. Acesso em: 08 de junho de 2016.