

Antônio Domingues de FIGUEIREDO⁽¹⁾;
Pedro Jorge CHAMA NETO⁽²⁾

⁽¹⁾ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Construção Civil Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Caixa Postal 61548 CEP 05508-900, e-mail: antonio.figueiredo@poli.usp.br; ⁽²⁾ Engo Civil, M.Sc., Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), e-mail: pedrochama@ajato.com.br

RESUMO

A ABNT publicou em 2007 a revisão da norma NBR 8890:2007 - *Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios*. Além de atualizar a tecnologia, esta norma incorporou a possibilidade de se usar o reforço de fibras de aço para os tubos ao invés da armadura convencional constituída por vergalhões. O novo sistema de reforço exige uma nova metodologia de avaliação do desempenho mecânico.

Neste trabalho são apresentados os aspectos fundamentais do novo método de ensaio de compressão diametral de tubos reforçados com fibras de aço e suas diferenças em relação ao método utilizado para avaliação do tubo convencional. Conclui-se que a norma apresenta um caráter inovador por incorporar uma nova tecnologia que ainda não foi empregada em escala de obra e, por isso mesmo, tem um caráter conservador dado o elevado nível de exigência associado ao concreto reforçado com fibras de aço quando comparado com o reforço convencional.

ABSTRACT

The Brazilian standards association (ABNT) had published in 2007 the new standard NBR 8890:07 *Precast circular concrete pipe for pluvial and sanitary drain – Requirements and test methods*. This standard had incorporated some important technological innovations, like the possibility of steel fibers use as reinforcement, instead steel bars. The use of fibers requires a different test method procedure for the mechanical evaluation by the three-edge bearing test execution.

In this work, some fundamental aspects related to this new test procedure for steel fiber reinforced concrete pipes are presented and compared to the traditional test. This new standard could be considered as an innovative one because incorporate a new technology that was not applied in the Brazilian market up to its application. On the other hand, it was conservative too due to the higher requirements associated to this new kind of reinforcement for pipes.

Palavras-chave: tubos de concreto, fibras de aço, desempenho, controle, método de ensaio.

Key words: concrete pipes, steel fibers, performance, control, test method.

1. INTRODUÇÃO

É notória a necessidade de implantação de sistemas de saneamento básico e a carência de recursos para tal que caracterizam o Brasil. Portanto, é absolutamente essencial a busca pela viabilização de novas tecnologias que permitam executar este tipo de obra com mais economia, ou com maior durabilidade e, preferencialmente, com ambas as coisas. Neste sentido, algumas pesquisas vêm sendo realizadas no Brasil há algum tempo no sentido de se viabilizar o uso de fibras de aço como material de reforço de tubos de concreto (CHAMA NETO, FIGUEIREDO, 2003; RAMOS, 2004).

Com este trabalho prévio, foi possível inserir na última revisão da norma brasileira NBR 8890:2007 - *Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários* da possibilidade de utilização das fibras como reforço regular dos tubos. Estas pesquisas foram fundamentais devido a uma peculiaridade das obras de saneamento, que consiste no ambiente típico de aplicação do tubo de concreto, qual seja, o fato de serem empreendimentos desenvolvidos majoritariamente com dinheiro público. Assim, é muito difícil haver a aplicação de um componente que não esteja previsto pela normalização nacional.

Deste modo, para se evitar o erro de inibir a inovação tecnológica por não haver aplicação prévia da técnica, optou-se por manter uma postura conservadora, no sentido de ser mais exigente para o tubo com novo sistema de reforço. Portanto, foi possível realizar a incorporação da nova tecnologia na norma, mesmo não havendo aplicação corriqueira prévia. Para que isto fosse possível, um dos aspectos fundamentais que foram trabalhados nesta norma foi o próprio método de ensaio para avaliação do desempenho mecânico do tubo, qual seja o ensaio de compressão diametral. Este ensaio guarda algumas diferenças metodológicas quando aplicado para tubos com os diferentes sistemas de reforço, ou seja, vergalhões e fibras de aço, sendo algo mais rigoroso para este último. Neste trabalho, o método é descrito e seus principais aspectos são discutidos.

2. MÉTODO DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DOS TUBOS

O método de ensaio para a verificação da adequação do desempenho mecânico dos tubos de concreto para águas pluviais e esgoto é o de compressão diametral (Figura 1). Esta concepção básica é uma prática tradicional para este tipo de avaliação adotada tanto na Europa (NBN EN1916 *Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fibre and reinforced*) como no Brasil (NBR 8890:2007).

Para que haja um melhor entendimento é necessário fazer uma breve descrição das duas metodologias de ensaio e seus respectivos requisitos de desempenho. Apesar de algumas diferenças nos procedimentos de ensaio o princípio das exigências é similar. No ensaio para tubos

reforçados com armadura convencional, o componente é submetido a um carregamento contínuo até a sua ruptura e são determinadas as cargas de fissura e de ruptura. A carga de fissura é definida como a carga medida no instante em que, no tubo submetido ao ensaio, apresenta uma fissura com abertura de 0,25 mm e comprimento de, no mínimo, 300 mm.

A abertura da fissura é medida através de uma lâmina padrão feita em chapa de aço de 0,2 mm de espessura e largura de 12,7 mm, afinada na ponta para 1,6 mm. Considera-se a fissura de 0,25 mm de abertura quando a ponta da lâmina padrão penetrar sem dificuldade 1,6 mm, com pequenos intervalos, na distância de 300 mm. Dada a concepção simplista, o método de ensaio não permite avaliar o comportamento mecânico da peça, ficando restrito apenas à verificação da conformidade do componente ao requisito especificado. Além disso, a carga de fissura é sempre um parâmetro duvidoso, pois depende muito da sensibilidade e acuidade do técnico responsável pela realização do ensaio. Apenas a carga atingida na ruptura é um parâmetro confiável, caso a prensa esteja corretamente aferida, pois corresponde à carga máxima atingida durante a realização do ensaio.

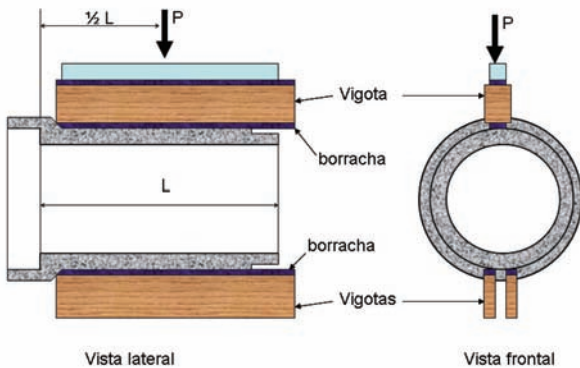


Figura 1: Ensaio de compressão diametral de tubos de concreto para águas pluviais e esgoto.

O ensaio prescrito pela norma NBR 8890:2007 para a verificação de conformidade do desempenho do tubo de concreto reforçado com fibras de aço não está sujeito às subjetividades do ensaio para avaliação do tubo convencionalmente armado. Este ensaio prescreve que o tubo seja carregado progressivamente a uma velocidade constante até a carga atingir o valor equivalente a dois terços da carga de ruptura especificada para o componente.

Esta carga é equivalente à carga de fissura do tubo convencionalmente armado. O procedimento de ensaio continua com a manutenção dessa carga por, no mínimo, um minuto, após o que se deve observar se o tubo apresenta alguma fissura ou qualquer tipo de alteração. Por isto, esta carga foi denominada carga mínima isenta de dano na NBR

8890. Caso seja constatado qualquer dano, o tubo é reprovado e, caso isto não ocorra, o tubo deverá ser carregado até a sua carga máxima, sendo esta registrada imediatamente.

Ou seja, neste procedimento a observação do laboratorista encarregado do exame do tubo é feita com a devida tranqüilidade e a constatação da ocorrência de fissura é um procedimento muito mais simples do que a medida de sua abertura. Assim, o procedimento fica muito menos sujeito à subjetividade do julgamento do laboratorista, ou mesmo de sua falta de habilidade.

Após o carregamento do tubo até a carga máxima (carga de ruptura) ocorre uma progressiva redução dessa carga. Quando o valor da carga medida atingir 95% da carga máxima registrada, o tubo deverá ser totalmente aliviado reduzindo sua carga a zero. Na seqüência, deve-se re-aplicar uma carga equivalente à carga mínima isenta de dano (dois terços da carga de ruptura) e mantê-la por mais um minuto. Neste momento deve-se verificar se o tubo apresenta capacidade de suporte da carga mantida nesta situação.

Caso isto ocorra, o tubo deverá ser carregado novamente e a carga máxima atingida neste re-carregamento deverá ser anotada, sendo a mesma, correspondente à carga máxima pós-fissuração. Esta carga máxima pós-fissuração deverá ser, no mínimo, 5% superior à carga mínima isenta de dano. O esquema da seqüência de carregamento utilizada neste ensaio se encontra apresentado na Figura 2.

Vale ressaltar que a proporção de dois terços é a mesma adotada pela norma brasileira para a relação entre carga de fissura e de ruptura ou carga mínima isenta de danos e carga de ruptura. Assim, o nível de carregamento que o tubo deve sustentar sem dano visível previsto no caso do reforço com fibras de aço é o mesmo que é exigido para a carga de fissura do tubo convencional e, ambas as cargas são adotadas para a definição da classe dos tubos. Ou seja, um tubo reforçado com fibras não deve apresentar dano visível enquanto o tubo convencional admite uma fissura de 0,25 mm para a mesma faixa de carregamento.

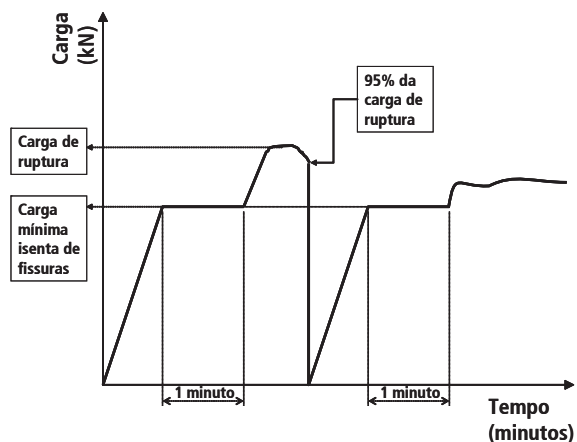


Figura 2: esquema de carregamento do tubo reforçado com fibras de aço segundo a norma NBR 8890:2007.

3. COMPORTAMENTO DOS TUBOS REFORÇADOS COM FIBRAS DURANTE O ENSAIO

Para melhor compreensão do comportamento do concreto reforçado com fibras de aço em relação ao concreto reforçado com telas metálicas ou vergalhões, foram realizados vários estudos onde se empregou um sistema de medida de deformação diametral do tubo concomitantemente ao seu carregamento. Para estes ensaios, o equipamento utilizado teve que ser dotado de um sistema de aquisição de dados compatível com as necessidades de levantamento das curvas de carga por deformação diametral do componente.

Para maior confiabilidade e precisão dos resultados, também foi implantado um sistema para aquisição das deformações dos tubos através de LVDTs, posicionados nas extremidades dos tubos e apoiados na borda oposta conforme o apresentado na Figura 3. Com esta forma de posicionamento dos transdutores evitou-se que deformações extrínsecas à peça ensaiada interferissem no resultado medido. Na Figura 4 pode ser observado em detalhe o posicionamento do LVDT na parte superior interna do tubo durante o ensaio de compressão diametral.

Este posicionamento ocorreu sobre uma pequena folha de acetato (Figura 4b) de modo a se evitar que o LVDT entre na fissura que se forma no tubo durante o ensaio. Com este arranjo de ensaio tornou-se possível levantar a curva de carga por deslocamento médio medido em ambos os LVDTs. Vale ressaltar que, para a norma, não é necessário este tipo de sofisticação para a realização do ensaio, bastando apenas a utilização de um sistema que possibilite a leitura precisa do nível de carregamento independentemente do nível de deformação diametral a ele associado.

dos LVDTs para medida contínua de deformação dos tubos de concreto.

Pode-se observar pelos resultados de Chama Neto (2002) apresentados na Figura 5, que a capacidade resistente do tubo reforçado com fibras para baixos níveis de deslocamento é tão maior quanto maior for o teor de fibras de aço. Estes ensaios foram feitos seguindo a metodologia do carregamento contínuo, diferentemente daquilo que foi definido pela norma brasileira mais recentemente. No entanto, os mesmos tornam possível comparar o desempenho do reforço com fibras com o reforço convencional quando atuam em um tubo de concreto.

Para o teor de 40 kg/m³ a capacidade resistente oferecida pelas fibras nesta situação é bem superior que o reforço convencional. A situação se inverte quando se observa a evolução dos resultados para níveis maiores de deslocamento, onde o tubo reforçado com tela passa a ter um comportamento superior ao da fibra. No entanto, deve-se ressaltar que o comportamento mais interessante é, justamente, do tubo reforçado com fibras dado que sua maior capacidade resistente ocorre para os baixos níveis de deformação e conseqüentemente, baixos níveis de fissuração.

Este comportamento é explicado pelo fato da fibra reforçar toda a espessura do tubo, ao contrário da tela que, para garantir o recobrimento mínimo de proteção, acaba por ser posicionado junto à linha neutra da parede do tubo (Figura 6). Por outro lado, deve-se ter o cuidado de evitar que consumos muito baixos de fibra sejam utilizados, pois acabam por conferir uma baixa resistência pós-fissuração.

34
DAE
set./08



Figura 3: configuração inicial do sistema de posicionamento

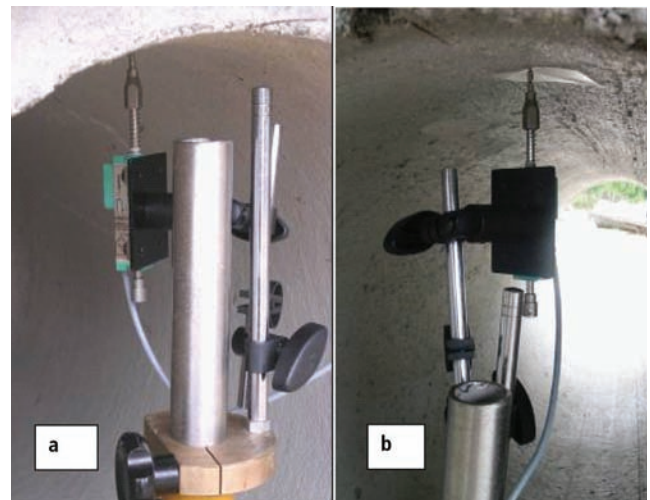


Figura 4: (a) detalhe do suporte para posicionamento do LVDT para leitura da deformação do tubo de concreto durante o ensaio de compressão diametral e (b) da folha de acetato que evitava a entrada da agulha em uma possível fissura.

DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE PIPES

O comportamento positivo do concreto reforçado com fibras de aço para controle da fissuração e o fato de se armar toda a espessura do tubo acabam por trazer outras vantagens, como a redução do nível de perdas durante armazenamento, transporte e aplicação dos tubos. Apesar de ser possível aumentar a capacidade de redução de perdas com a utilização de baixos teores, não se pode esquecer que a capacidade de reforço é muito dependente do teor de fibra utilizado (Figura 7). Assim, baixos teores de fibras comprometem o comportamento do tubo durante o ensaio e fazem com que o mesmo não tenha condições de atender aos requisitos especificados pela norma brasileira, como está mais bem discutido a seguir.

O comportamento típico de um tubo reforçado com fibras de aço se encontra apresentado no gráfico apresentado na Figura 8, o qual foi obtido com o controle eletrônico das deformações diametrais em conjunto com o carregamento. Para melhor compreensão do comportamento do tubo durante o ensaio, vale observar que existe um trecho elástico inicial que é seguido por um trecho mais abatido indicando o início da fissuração. Após esse início da fissuração o tubo ainda mostra uma capacidade de suportar aumento no carregamento com maiores deformações.

Em seguida ocorre a carga máxima, onde ocorre a

propagação da fissura, que é seguida de uma instabilidade (caracterizada pela redução dos pontos obtidos pela aquisição de dados) devido à transferência de carga da matriz para as fibras. Depois dessa região de instabilidade, ocorre um certo patamar de escoamento característico de *softening*. Quando a carga atinge 95% da carga máxima há o alívio do tubo caracterizado por uma linha descendente com pontos bem afastados devido à maior velocidade de remoção de carga.

Vale notar que existe um acúmulo de pontos lidos em torno dos 120kN de carga no trecho inicial e no trecho de re-carregamento, devido ao tempo em que esta carga foi mantida durante a realização do ensaio. Nota-se que durante o re-carregamento o tubo perdeu rigidez devido ao seu estado de fissuração. Nesta situação, os elementos responsáveis pela rigidez são as fibras de aço que atuam como ponte de transferência de tensão ao longo das fissuras que ocorrem no topo, base e laterais do tubo (Figueiredo, 2005). Depois da manutenção da carga a 120kN, percebe-se que não ocorre perda de rigidez do material, que segue a mesma tendência de recuperação de carga nesta região de re-carregamento até atingir a nova carga máxima. Após atingir a carga máxima no re-carregamento, não ocorre instabilidade e o tubo apresenta o característico comportamento de *softening* novamente.

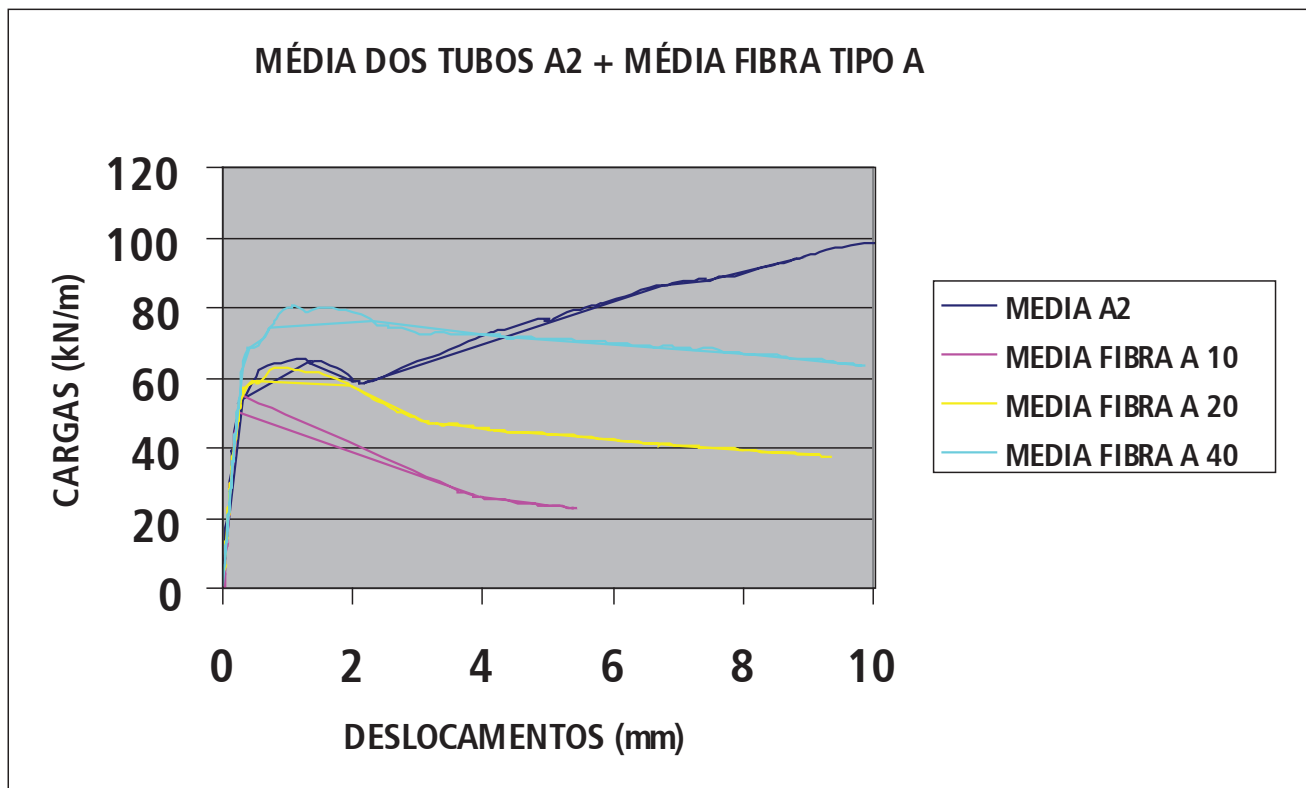


Figura 5: Resultados médios obtidos por Chama Neto (2002) comparando os ensaios de tubos de concreto com reforço de vergalhões (A2) e reforçados com fibras com 10kg/m³ (A 10), 20kg/m³ (A 20) e 40kg/m³.

Um exemplo de tubo de concreto reforçado com fibras de aço em conformidade com os requisitos da norma está apresentado na Figura 9, através da curva de carga por deformação diametral obtida como resultado do ensaio de compressão diametral. Percebe-se nitidamente, que o tubo atende ao requisito da carga mínima isenta de dano no trecho linear inicial da curva, onde o concreto responde preponderantemente pelo comportamento do material com a cooperação da fibra. Depois de atingida a carga de pico ocorre o descarregamento do componente e, no re-carregamento, o ganho de carga não ocorre com o mesmo nível de rigidez do trecho inicial.

A retomada de carga segue uma linha quase reta e mais abatida que a primeira, como se houvesse uma redução do módulo de elasticidade do material. Nota-se até que se ultrapassa com sobras os requisitos de desempenho da norma, o que pode ser atribuído ao fato de se ter utilizado um elevado consumo (40kg/m^3) de fibras de aço trefilado com ancoragem em gancho com elevado comprimento (60mm) e fator de forma (80).

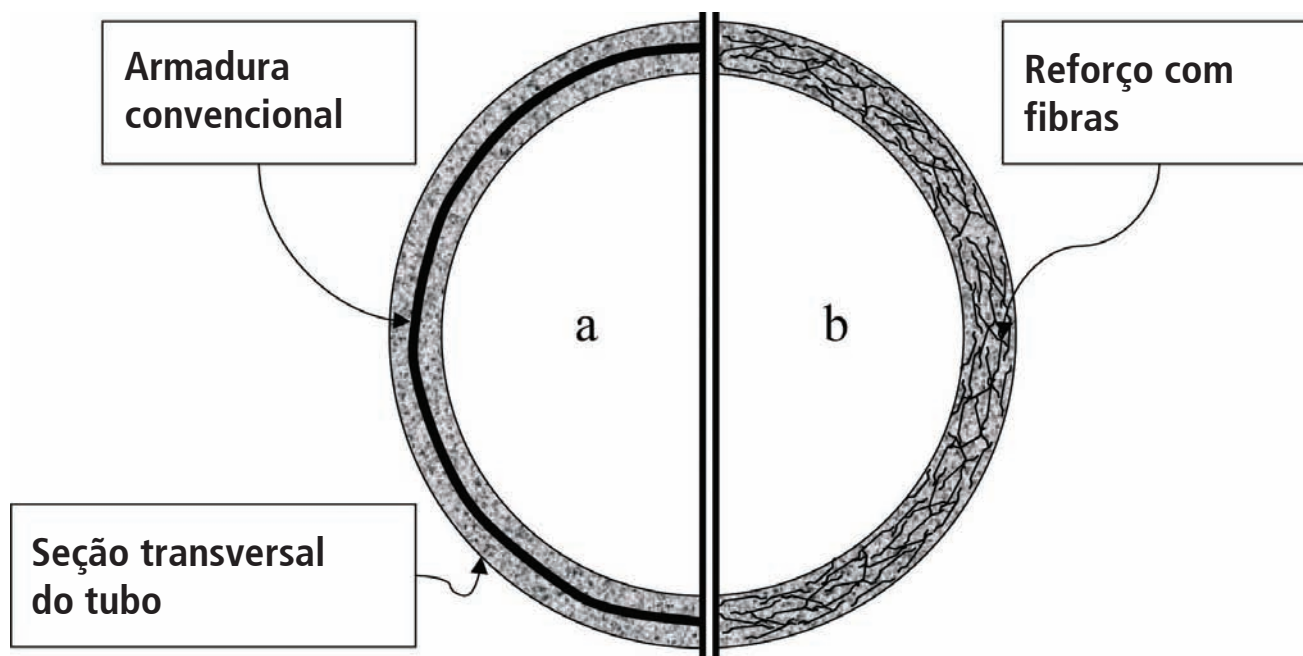


Figura 6: Esquema de concentração de tensões para um concreto sem e com reforço de fibras.

No entanto, o uso de uma fibra de elevado desempenho como o mostrado no exemplo anterior, não é garantia de conformidade para o tubo. Uma prova disto é o exemplo de ensaio de compressão diametral com controle de deformação apresentado na Figura 10. Neste gráfico pode-se observar a não conformidade do tubo com consumo de apenas 10 kg de fibra por metro cúbico. Inicialmente, o mesmo atende ao requisito da carga mínima isenta de dano no trecho linear inicial da curva, onde o concreto é o principal responsável pelo comportamento do tubo. No entanto, com o prosseguimento do carregamento, não consegue atingir a carga de ruptura mínima correspondente a 180kN. Da mesma forma, ao se proceder ao re-carregamento do mesmo, não se consegue atingir a carga mínima isenta

de dano e, muito menos, mantê-la por um minuto conforme é exigência da norma. Assim, apesar deste tubo ter uma condição de trabalho razoável se não houver fissuração do mesmo, a norma o reprovava pelo fato de não atender ao requisito de resistência e por não apresentar uma ductilidade mínima, caracterizada pela resistência pós-fissuração que o tubo apresenta durante o seu re-carregamento. Esta ductilidade é uma condição de segurança para a utilização do tubo para sistemas de coleta de águas pluviais e esgoto. Isto ocorre porque a ruptura frágil do mesmo poderá significar elevados riscos ao pessoal que venha a trabalhar no seu interior, bem como para qualquer que seja a utilização dada à superfície da região onde o mesmo tenha sido enterrado.

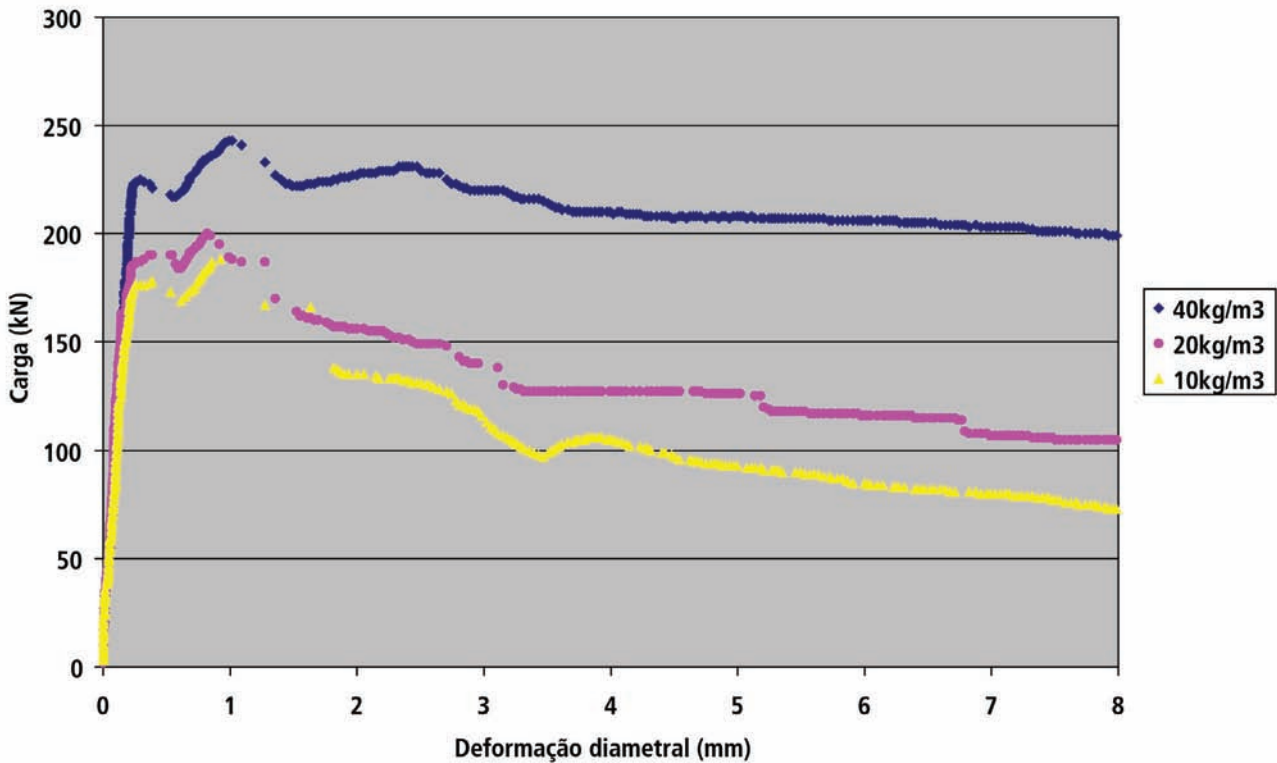


Figura 7: Curvas de carga por deslocamento obtidas no ensaio de compressão diametral de tubos com diferentes consumos de fibra produzidas a partir dos resultados de Figueiredo et al. (2007).

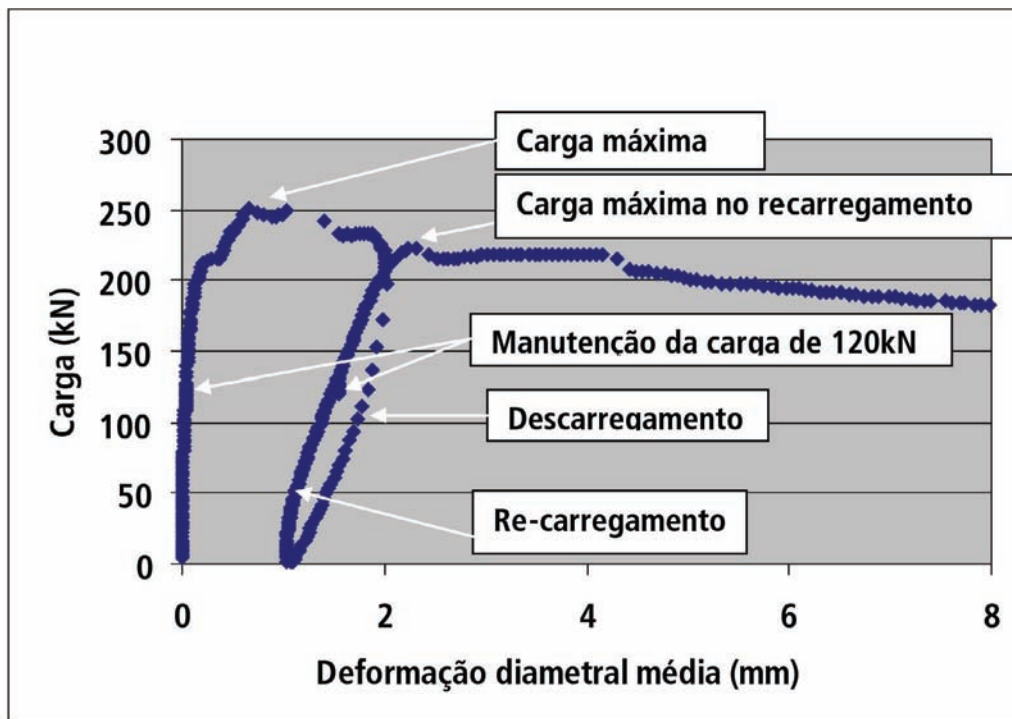


Figura 8: Tubo de concreto com 40kg/m³ de fibras de aço ensaiado segundo a norma NBR 8890:2007 com controle de deformação diametral.

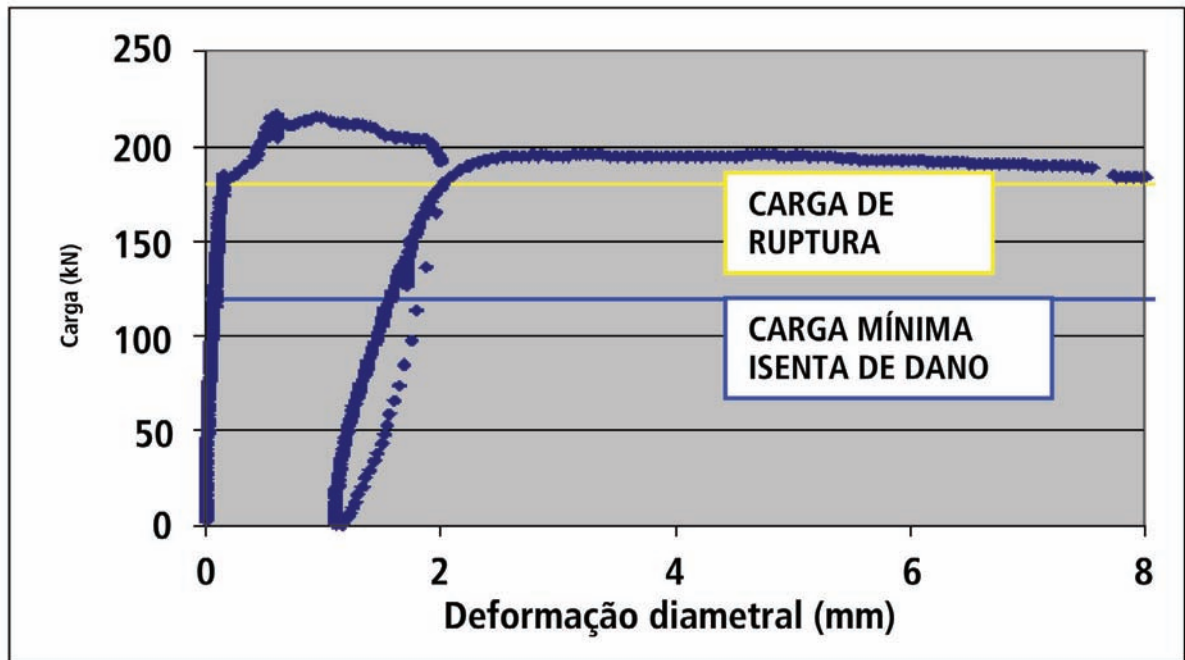


Figura 9: Tubo de concreto EA2 de 2,5m de comprimento com um consumo de fibras de 40kg/m³ ensaiado segundo a norma brasileira apresentando conformidade (exigência de 120kN para carga mínima isenta de dano e 180kN para carga de ruptura).

38
DAE
set./08

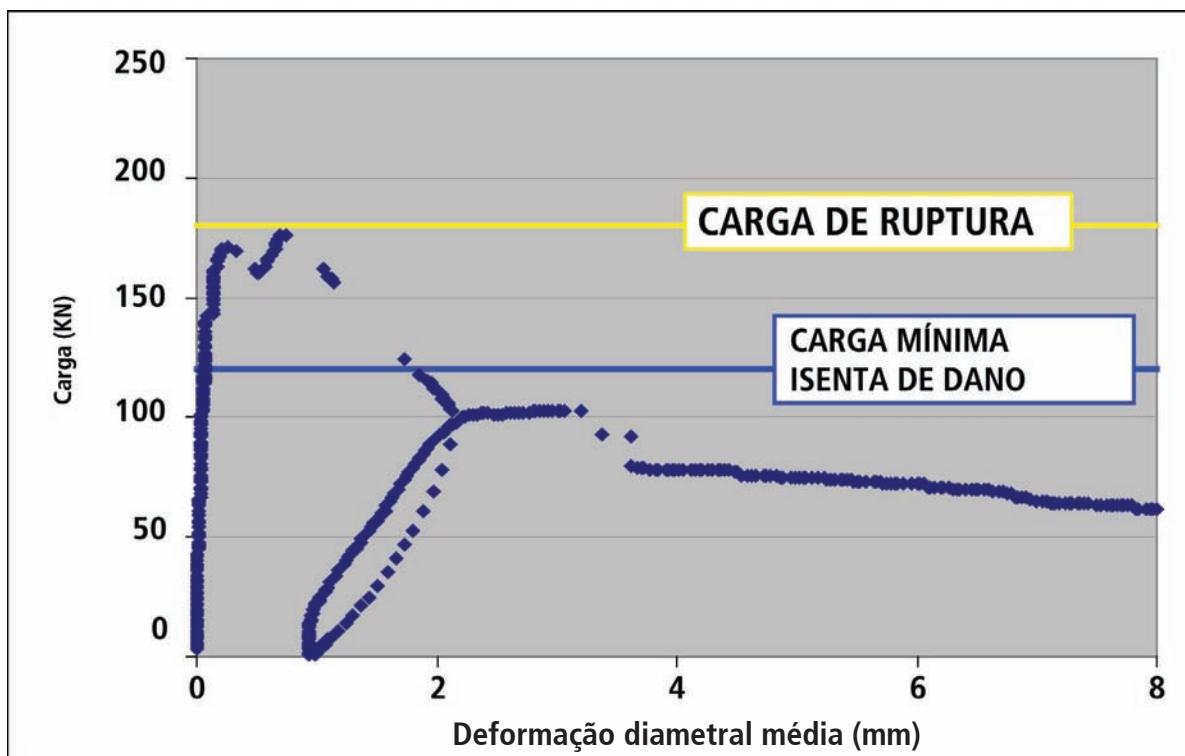


Figura 10: Tubo de concreto EA2 de 2,5m de comprimento com um consumo de fibras de 10kg/m³ ensaiado segundo a norma brasileira e não apresentando conformidade (exigência de 120kN para carga mínima isenta de dano e 180kN para carga de ruptura).

4. CONCLUSÕES

A norma NBR 8890:2007 para tubos de concreto para água pluvial e esgoto pode ser considerada uma das grandes conquistas brasileiras na área da tecnologia do concreto. Isto ocorre porque esta norma é a primeira a regular a aplicação do material concreto reforçado com fibras de aço, tendo sido desenvolvida concomitantemente à norma de especificação da fibra de aço para reforço do concreto (NBR 15530:2007). Esta norma é uma grande inovação, pois foi publicada antes mesmo de se ter uma aplicação regular do produto.

Esta situação peculiar ocorreu pelo fato da operação de compra de tubos de concreto ser realizada, fundamentalmente, por órgãos governamentais que devem lançar mão de um edital de licitação. Com isto, apenas tubos regularmente normalizados são passíveis de serem comprados. Por outro lado, o fato de não se ter ainda uma aplicação em larga escala, fez com que a norma apresentasse uma postura que pode ser considerada conservadora, dado que o uso do concreto com fibras estará restrito a tubos com diâmetro nominal igual ou inferior a um metro. Isto foi adotado no sentido de se minimizar riscos de aplicação, os quais são maiores para as redes coletoras de maiores dimensões.

Além disso, a norma foi bem mais exigente para os tubos de concreto com fibras, os quais devem suportar a carga de fissura do tubo convencionalmente armado sem apresentar qualquer tipo de dano. Isto, além de estar a favor da segurança do ponto de vista de resistência mecânica, também é extremamente conservador do ponto de vista de durabilidade, dado que se espera uma menor susceptibilidade da fibra à corrosão eletrolítica. Assim, espera-se que a vida útil dos tubos de concreto reforçado com fibras seja ainda maior. Vale ressaltar também que a norma introduziu algumas novidades, mesmo para a normalização internacional, como a necessidade de se controlar a carga máxima pós-fissuração, o que poderá ser utilizado em condições práticas para a otimização do teor de fibra para cada condição de produção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários.** NBR 8890, ABNT, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fibras de aço para concreto - Especificação.** NBR 15530:07, ABNT, Rio de Janeiro.

CHAMA NETO, P. J. **Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço.** São

Paulo: USP, 2002. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2002.

CHAMA NETO, P. J.; FIGUEIREDO, A. D. de. **Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço.** In: 45o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON), 2003, Vitória. 2003.

FIGUEIREDO, A.D. **Concreto com Fibras.** Capítulo 39. Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. pp. 1195-25

FIGUEIREDO, A.D.; CHAMA NETO, P. J.; QUINTA, M. T.; GIMENEZ, A. B. **Avaliação de metodologia de ensaio de tubos de concreto reforçado com fibras para esgoto.** Revista Concreto & Construções do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2007. Aceito para publicação.

NBN EN1916 **Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fibre and reinforced.** Belgisch Instituut voor normalisatie (BIN), Brussel, December 2002.

RAMOS, M.F. **Análise experimental de tubos de concreto reforçado com fibras de aço.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP. 2004.