

A Influência da Adição de Fibras de Aço em Tubos de Concreto



Luiz Claudio dos Santos Matni¹; Antonio Adelmo Freire Beserra²; Bernardo Borges Pompeu Neto³

^{1, 2 e 3} Universidade Federal do Pará - UFPA

RESUMO

A utilização de fibras no concreto tem se tornado cada vez mais comum, uma vez que oferece soluções para algumas exigências técnicas da prática devido ao seu alto potencial de resistência e inovação. O concreto, apesar de sua grande versatilidade ainda possui limitações, principalmente quanto a sua baixa resistência à tração. Nesse contexto, o combate ao surgimento de patologias do concreto é um dos maiores desafios da ciência. A ocorrência de fissurações devido à retração da mistura vem sendo amplamente estudada através de proposições de adição de fibras de aço à matriz. Assim, pesquisas revelam que este novo compósito vem demonstrando possibilidades reais de ganhos em resistência mecânica neste tipo de concreto. A grande diferença do uso de fibras de aço no concreto está na geometria das fibras, que tem importante papel neste processo, pois atuam como pontes de transferência de tensões dentro da matriz, dependendo principalmente do fator de forma e da fração volumétrica acrescidos à mistura. Este trabalho analisou a influência destas variáveis como fatores que melhoram a resistência mecânica do concreto de tubos de esgoto, e diante dos resultados confirmaram-se essas hipóteses. Deste modo, o objetivo principal desta pesquisa é identificar como e porque tais fatores contribuem para que essa melhora ocorra. Para alcançar esse objetivo, propõe-se fazer análises dos resultados de pesquisas anteriores quanto a essas variáveis na formação dos compósitos apresentados nos experimentos, realizadas a partir das fontes de livros, artigos científicos e dissertações atuais.

Palavras-chave: Tubos de concreto. Fibra de aço. Geometria das fibras. Resistência.

ABSTRACT

The use of fibers in concrete has become increasingly common as it offers solutions to some of the technical requirements of the practice because of its high potential for strength and innovation. Concrete, although its great versatility still has limitations, mainly as to its low tensile strength. In this context, combating the onset of concrete pathologies is one of the major challenges of science. The occurrence of fissures due to the retraction of the mixture has been extensively studied through propositions of addition of steel fibers to the matrix. Thus, research reveals that this new composite has been demonstrating real possibilities of gains in mechanical resistance in this type of concrete. The great difference in the use of steel fibers in the concrete lies in the fiber geometry, which plays an important role in this process, since they act as stress transfer bridges within the matrix, mainly depending on the shape factor and the volumetric fraction added to the mixture. This work analyzed the influence of these variables as factors that improve the mechanical strength of concrete from sewage pipes, and the results confirmed these hypotheses. Thus, the main objective of this research is to identify how and why such factors contribute to this improvement. To achieve this goal, it is proposed to analyze the results of previous research on these variables in the formation of the composites presented in the experiments, based on the sources of books, scientific articles and current dissertations.

Keywords: Concrete pipes. Stainless steels. Geometry of fibers. Resistance.

1. INTRODUÇÃO

A imensa versatilidade e facilidade de aplicação, principalmente devido a sua enorme capacidade de adaptação a diversos tipos de formas, tamanhos e condições de produção, fazem do concreto um dos materiais mais utilizados na construção civil.

Por outro lado, tem sido frequente a ocorrência de manifestações patológicas nesse material, tipicamente frágil devido sua baixa resistência no que se refere a esforços de tração, em razão da presença de poros, de falhas de concretagem provenientes de altas taxas de armadura.

Notadamente, nosso sistema de saneamento básico carece ampliar sua rede em grandes proporções, sobretudo dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto e águas pluviais. Para isso, precisa otimizar a produção de tubos de concreto para esses fins.

A proposta tecnológica de reforço de tubos de concreto com fibra de aço traz muitas vantagens em seu emprego que vão desde a redução de custos com insumos e mão de obra, passando por menor tempo de produção, e facilidade de lançamento do concreto na forma. Além destes avanços, verifica-se que o emprego de fibras em tubos de concreto melhora a durabilidade e vida útil das obras de rede de esgoto, uma vez que reduzem a abertura das fissuras (fundamental para evitar contaminação do solo) melhoram na tenacidade, e resistência ao impacto (BENTUR e MINDESS, 1990).

A adição de fibras de aço ao concreto promove modificações em suas propriedades mecânicas, sobretudo na capacidade de resistência residual à tração, mesmo após a ocorrência das primeiras fissuras. Sendo assim, esta pesquisa objetiva investigar a influência das fibras de aço em tubo de concreto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Concreto com fibras de aço

Entre as alternativas tecnológicas empregadas para melhorar o desempenho do concreto, está o reforço com fibras de aço (CRFA). O concreto reforçado com fibras também é considerado um compósito, que apresenta pelo menos duas fases distintas principais: a fase do concreto (matriz) e a da fibra de aço (fase dispersa) (CALLISTER, 2012).

Quando as fibras (descontínuas) são adicionadas à matriz cimentícia, elas atuam (elemento de contenção) como pontes de transferência de tensões dentro da matriz visando evitar a propagação das fissuras, melhorando as propriedades do compósito, sobretudo de resistência à tração (FIGUEIREDO, 2011).

Em razão de seu elevado módulo de elasticidade, as fibras de aço, quando adicionadas ao concreto, dificultam a propagação das fissuras. Pela capacidade portante pós-fissuração que o compósito apresenta, as fibras permitem uma redistribuição de esforços no material mesmo quando utilizada em baixos teores. Isto é particularmente interessante em estruturas contínuas como os pavimentos e os revestimentos de túneis (FIGUEIREDO, 1997).

Nesse contexto, reduz-se a velocidade de propagação das fissuras e o concreto passa a ter um comportamento pseudo-dúctil, ou seja, continua mostrando-se portante, mesmo após sua fissuração (FIGUEIREDO, 2011).

As variações de comportamento dependem das características das fibras, da matriz de concreto e da interação entre si. A partir de então, o compósito passa a ter exigências específicas para seu controle da qualidade, dosagem e mesmo aplicação, diferentes do concreto convencional, permitindo maiores possibilidades de aplicação do material. (FIGUEIREDO, 2000).

Na Figura 1a verifica-se o comportamento do concreto sem fibras quando submetido a concentrações de tensão, aumentando a propagação de fissuras proveniente do aumento das tensões a ele imposta. Já na Figura 1b, as fibras atuam como pontes de transferência, diminuindo essas concentrações.

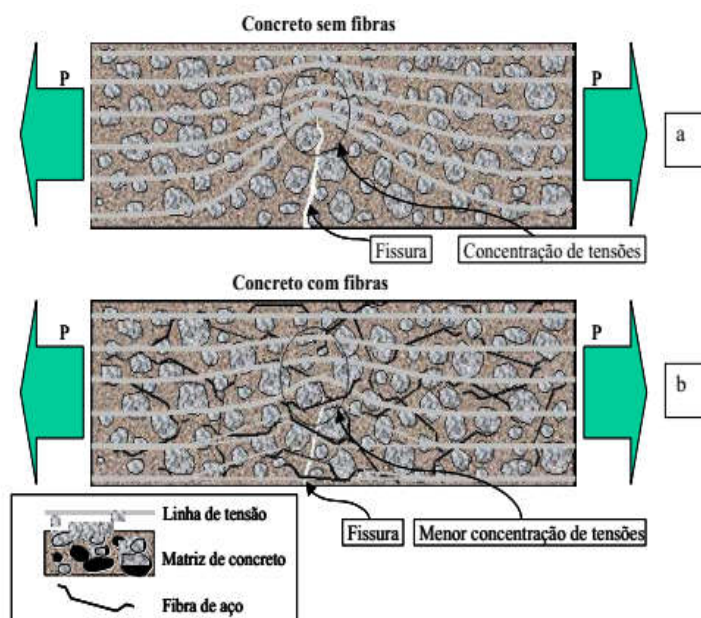


FIGURA 1 - CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES PARA UM CONCRETO SEM E COM REFORÇO DE FIBRAS
Fonte: FIGUEIREDO (2000)

Com a utilização de fibras de aço, mesmo quando o concreto está fissurado, ele continua apresentando capacidade portante, dado o seu comportamento pseudo-dúctil, inclusive quanto a esforços cíclicos.

2.2. Trabalhabilidade

Alguns aspectos negativos foram observados durante o preparo dessa mistura. A trabalhabilidade do concreto reforçado com as fibras foi prejudicada, pois as fibras tendem a embolar-se umas com as outras, formando novelos de fibras. Com o objetivo de mitigar esse efeito, foi tentado restringir o tamanho do agregado graúdo a ser utilizado (BALAGURU e SHAH, 1992).

Com o incremento de fibras de aço na mistura, a trabalhabilidade do concreto é afetada em proporção direta à fração volumétrica das fibras. Concretos reforçados com altos teores de fibras, produzidos de forma convencional, apresentam difícil dispersão das fibras, observando-se o agrupamento de fibras. Para combater estes problemas, indica-se o uso de aditivos superplastificantes que deixam a mistura mais trabalhável, sendo possível observar que fibras com gancho conseguem o mesmo resultado que fibras retas, em quantidades menores (BENTUR e MINDESS, 2007).

3. Comportamento das fibras

3.1. Interação fibra-matriz

A compreensão da interação entre as fibras e a matriz é necessária para estimar a contribuição das fibras no desempenho do compósito e prever o seu comportamento. Esta interação é influenciada pelas seguintes variáveis:

- O material, resistência e o módulo de elasticidade das fibras;
- A resistência e o módulo de elasticidade da matriz;
- A geometria das fibras: mecanismo de ancoragem, comprimento, fator de forma (relação l/d);
- O teor de fibra incorporado;
- Orientação da fibra;

A distribuição aleatória das fibras na matriz (Figura 2b) é o grande diferencial em relação às armaduras convencionais (trabalham centralizadas), pois reforçam toda a peça, sendo muito interessante sua aplicação para tubos de concreto por possuírem baixa espessura de parede em relação às estruturas convencionais. As armaduras (telas ou vergalhões) dos tubos exigem um recobrimento mínimo para sua proteção, obrigando o reforço trabalhar ao centro, próximo à linha neutra (Figura 2a), contribuindo para sua deformação e fissuração, e, por conseguinte reduzindo a vida útil do componente. Já com as fibras, esse recobrimento não tem tanta importância, pois as mesmas são mais resistentes à corrosão. Portanto, em se

tratando de reforço dos tubos submetidos a baixos níveis de deformação e/ou fissuração, as fibras representam um maior nível de desempenho (FIGUEIREDO, 2008).

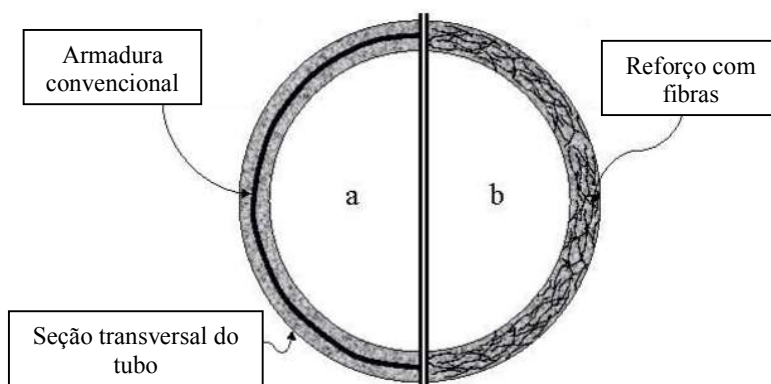


FIGURA 2 – ESQUEMA DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES PARA UM CONCRETO SEM FIBRA (a) E COM FIBRA (b)
 FONTE: FIGUEIREDO (2008)

3.2. Classificação e geometria das fibras de aço

As fibras de aço possuem diferentes geometrias, podendo ser lisas ou ainda corrugadas, com ou sem ancoragem. A diferenciação destas características podem influenciar na aderência entre a fibra e a matriz, resultando em diferentes comportamentos mecânicos. Os diâmetros podem estar na faixa entre 0,10 mm e 1,00 mm, o comprimento variando de 5 mm a 65 mm, com módulo de elasticidade de 200 GPa a 210 GPa e as tensões de ruptura podendo chegar em 2100 MPa (VELASCO, 2008). A Figura 1 ilustra os tipos e classes de fibras de aço.

Tipo	Classe da fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

FIGURA 3 – CLASSIFICAÇÃO E GEOMETRIA DAS FIBRAS DE AÇO
 FONTE: ADAPTADO DE FIGUEIREDO, 2011.

A norma sobre fibras de aço (NBR 15530/2007) procura estabelecer parâmetros de classificação para as fibras de aço e dispor sobre os requisitos mínimos de forma geométrica, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento. Embora estes requisitos estejam bem definidos na Norma, não se pode garantir um desempenho adequado ao concreto reforçado com fibras de aço (CRFA). Assim, deve-se ressaltar o fato de que uma fibra que atenda a norma não terá garantido o desempenho final no CRFA, dado que isto depende de uma série de fatores ligados às características das fibras e do concreto e de sua interação (FIGUEIREDO, 2005). A tabela 1 apresenta os níveis de resistência mínima e fator de forma das fibras de aço para cada classe.

TABELA 1 – REQUISITOS ESPECIFICADOS PELA NORMA NBR 15530 (ABNT, 2007) PARA AS FIBRAS DE AÇO.

Classe da fibra	Fator de forma (λ)	Limite de resistência à tração do aço Mpa (*)fu
A I	40	1000
A II	30	500
C I	40	800
C II	30	500
C III	30	800
R I	40	1000
R II	30	500

(*) Esta determinação deve ser feita no aço, no diâmetro equivalente final imediatamente antes do corte.

Segundo na NBR 15530/2007 o desempenho satisfatório das fibras de aço depende da sua configuração geométrica e classe. A configuração geométrica subdivide-se em três tipos básicos:

- Tipo A, fibra de aço com ancoragens nas extremidades;
- Tipo C, fibra de aço corrugada;
- Tipo R, fibra de aço reto.

A classe da fibra está relacionada à resistência a tração do aço e ao fator de forma. O formato pode ser trefilado ou laminado e depende o tipo de aço utilizado na produção. Portanto, a classe das fibras está associada ao material de origem, como:

- Classe I, fibra origem de arame trefilado a frio;
- Classe II, fibra origem de chapa laminada cortada a frio;
- Classe III, fibra origem de arame trefilado e escarificado.



(a)



(b)

FIGURA 4 – (a) FIBRA DE AÇO CURTA E LONGA SOLTAS; (b) FIBRA DE AÇO CURTA COLADA EM PENTE

As fibras de aço possuem comprimentos variando de 25mm a 60mm e diâmetros de 0,5mm a 1mm para as fibras curtas e longas, respectivamente. As dobras nas extremidades servem para aumentar a ancoragem e podem ser fornecidas soltas ou coladas em pentes, facilitando o processo de mistura e homogeneização da mistura. As fibras longas acabam por serem as preferidas para uso em tubos de concreto pelo fato de proporcionarem maior desempenho final ao componente.

3.3. Resistência mecânica versus módulo de elasticidade

TABELA 2 - VALORES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA E MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA DIVERSOS TIPOS DE FIBRA E MATRIZES. (BENTUR; MINDESS, 1990)

Material	Diâmetro (µm)	Densidade (g/cm ³)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5-500	7,84	190-210	0,5-2,0	0,5-3,5
Vidro	9-15	2,60	70-80	2-4	2-3,5
Amianto	0,02-0,4	2,6	160-200	3-3,5	2-3
Polipropileno	20-200	0,9	5-7,7	0,5-0,75	8,0
Kevlar	10	1,45	65-133	3,6	2,1-4,0
Carbono	9	1,9	230	2,6	1,0
Nylon	–	1,1	4,0	0,9	13-15
Celulose	–	1,2	10	0,3-0,5	–
Acrílico	18	1,18	14-19,5	0,4-1,0	3
Polietileno	–	0,95	0,3	0,7x10 ⁻³	10
Fibra de madeira	–	1,5	71	0,9	–
Sisal	10-50	1-50	–	0,8	3,0
Matriz de cimento (para comparação)	–	2,50	10-45	3,7x10 ⁻³	0,02

O fato das fibras de aço possuírem alta resistência e alto módulo de elasticidade são as mais indicadas para o reforço de tubos de concreto para águas pluviais e esgoto que, pela elevada exigência de durabilidade, deve apresentar elevada resistência mecânica, pois devem atuar como um reforço do concreto endurecido, podendo até substituir a armadura convencional com equivalência de desempenho (CHAMA NETO e FIGUEIREDO, 2003).

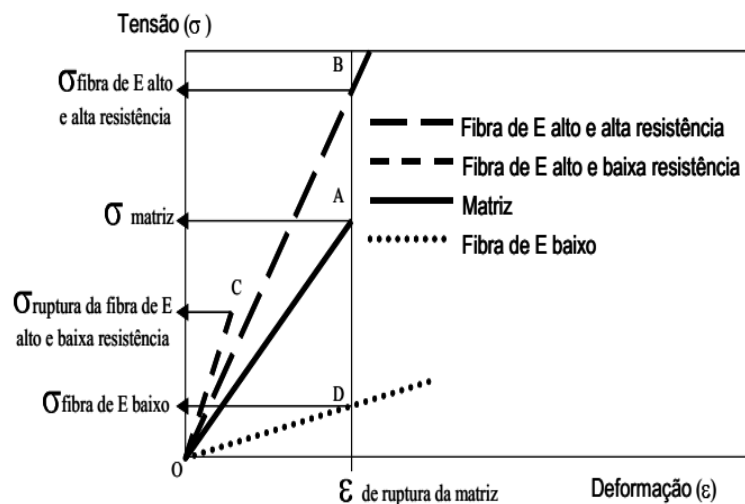


FIGURA 5 – DIAGRAMA DE TENSÃO POR DEFORMAÇÃO ELÁSTICA DE MATRIZ E FIBRAS DE ALTO E BAIXO MÓDULO DE ELASTICIDADE TRABALHANDO EM CONJUNTO (FIGUEIREDO, 2005).

É notória a influência dos teores de fibras adicionados ao concreto. A utilização de baixos teores implica em mudanças no comportamento plástico e na tenacidade do compósito, facilmente observados na Figura 7, que demonstra o alongamento da curva tensão x deformação, evidenciando maior controle da abertura das fissuras no estágio pós-fissuração.

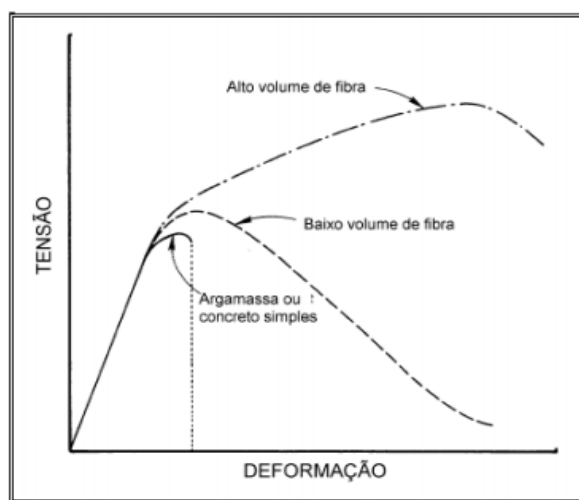


FIGURA 6 - CURVAS TÍPICAS DE TENSÃO DE TRAÇÃO X DEFORMAÇÃO PARA AUSÊNCIA, BAIXO E ALTO VOLUME DE FIBRAS (BENTUR & MINDESS, 1990).

3.4. Fator de forma e fração volumétrica

A NBR 8890 (ABNT, 2007), recomenda as fibras de aço como reforço para tubo de concreto, porém, para serem utilizadas devem ser de aço trefilado com resistência à tração mínima de 1.000 kgf com ancoragem em gancho e fator de forma mínimo de 40, caracterizando uma fibra do tipo AI.

Um baixo volume de fibras aumenta o nível de tensão transferido da matriz para cada fibra, levando mais rapidamente ao rompimento da aderência fibra-matriz e ao arrancamento das fibras. Portanto, para um bom aproveitamento do material deve-se buscar, sempre que possível, uma fração volumétrica que promova aumento de resistência à tração e um bom nível de trabalhabilidade da mistura. O tipo de fibra e sua fração volumétrica têm um efeito significativo nas propriedades do concreto reforçado com fibras.

Com relação a quantidade empregada, é possível classificar em três categorias: a) fibras com baixa fração volumétrica, menor que 1%, utilizadas para reduzir a fissuração por retração (utilizadas em lajes e pavimentos com grande superfície exposta); b) As fibras com fração volumétrica moderada, entre 1% e 2%, aumentam o módulo de ruptura, de tenacidade à fratura e a resistência ao impacto (aplicadas nos concretos projetados e em estruturas que exigem capacidade de absorção de energia, maior capacidade de resistência à delaminação, lascamento e fadiga) e c) As fibras com alta fração volumétrica, maior que 2%, levam ao endurecimento por deformação (compósitos de alto desempenho reforçado com fibras) (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

4. Tubos de concreto com fibras

4.1. Parâmetros de avaliação de um CRF

Várias são as maneiras de analisar o comportamento mecânico de um CRF, porém, a tenacidade é a mais conhecida, por medir a energia absorvida pelo material antes e após a fissuração de sua matriz, ou seja, quando as fibras passam efetivamente a atuar como pontes de transferência de tensão (FIGUEIREDO, 2011).

“O desempenho das fibras em um compósito pode ser avaliado por meio de sua tenacidade, pois a maior parte da energia até a ruptura provém da aderência entre a fibra e a matriz” (SINGH; SHUKL; BROWN, 2004 apud ARIF 2014).

Outra forma de avaliar o CRF, cada vez mais utilizada em razão da compatibilidade com novos modelos de dimensionamento de estruturas com CRF, é através da resistência residual das peças ensaiadas, sendo definida como a propriedade que as fibras possuem em transmitir as cargas aplicadas instantes após a ruptura da matriz (BANTHIA e DUBEY, 2000).

4.2. Ensaio para avaliação de tubos - compressão diametral

O ensaio característico utilizado para a verificação da adequação do desempenho mecânico dos tubos de concreto para águas pluviais e esgoto é o de compressão diametral, conforme ilustrado na Figura 8. Referido ensaio é adotada tanto na Europa (NBN EN 1916 Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fibre and reinforced) como no Brasil (NBR 8890:2007) para qualificar os tubos com fibras de aço, cujo procedimento inicia com o carregamento do tubo de forma contínua (durante um minuto) até atingir uma carga mínima isenta de dano (dois terços da carga de ruptura especificada para a sua classe). Nesta condição, o tubo não poderá apresentar qualquer dano oriundo deste carregamento (chamada pela norma como carga mínima isenta de dano) evoluindo o carregamento até sua carga máxima registrada, e regredindo posteriormente a 95% desse valor, momento em que se retira totalmente a carga e recarrega-se novamente até o limite de carga mínima isenta de dano, mantendo-a por mais um minuto (FIGUEIREDO, 2008).

TABELA 3 – CARGAS MÍNIMAS DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DE TUBOS ARMADOS E/OU REFORÇADOS COM FIBRAS DE AÇO SEGUNDO O ESPECIFICADO PELA NORMA NBR 8890/2007

DN	Água pluvial								Esgoto sanitário					
	Carga mínima de-fissura (tubos armados) ou carga isenta de dano (tubos reforçados com fibras) kN/m				Carga mínima de ruptura kN/m				Carga mínima de fissura (tubos armados) ou carga isenta de danos (tubos reforçados com fibras) kN/m			Carga mínima de ruptura kN/m		
Classe	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4	EA2	EA3	EA4	EA2	EA3	EA4
300	12	18	27	36	18	27	41	54	18	27	36	27	41	54
400	16	24	36	48	24	36	54	72	24	36	48	36	54	72
500	20	30	45	60	30	45	68	90	30	45	60	45	68	90
600	24	36	54	72	36	54	81	108	36	54	72	54	81	108
700	28	42	63	84	42	63	95	126	42	63	84	63	95	126
800	32	48	72	96	48	72	108	144	48	72	96	72	108	144
900	36	54	81	108	54	81	122	162	54	81	108	81	122	162
1 000	40	60	90	120	60	90	135	180	60	90	120	90	135	180
1 100	44	66	99	132	66	99	149	198	66	99	132	99	149	198
1 200	48	72	108	144	72	108	162	216	72	108	144	108	162	216
1 500	60	90	135	180	90	135	203	270	90	135	180	135	203	270
1 750	70	105	158	210	105	158	237	315	105	158	210	158	237	315
2 000	80	120	180	240	120	180	270	360	120	180	240	180	270	360

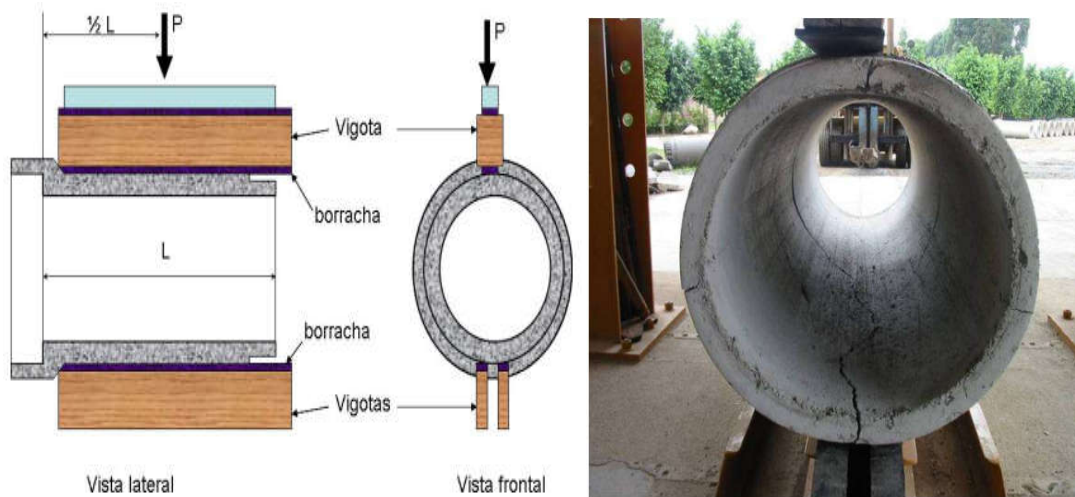


FIGURA 7 E 8 – ENSAIO DE COMPRESSÃO DIAMETRAL DE TUBOS DE CONCRETO COM FIBRAS PARA ÁGUAS PLUVIAIS E ESGOTO. (FIGUEIREDO, 2008)

4.3. Influência das fibras de aço no comportamento mecânico do tubo de concreto

A metodologia deste estudo consiste na coleta de dados de pesquisas realizadas, comparando o desempenho mecânico dos tubos de concreto reforçados com fibras de aço e principalmente a influência destas na interação fibra-matriz.

Ramos (2002) utilizou um tipo de fibra longa e uma de fibra curta em tubos de concreto e observou um crescimento da ductilidade dos tubos com o aumento do teor de fibras de aço, sendo os tubos com fibras curtas com teor incorporado de 30 kg/m³ os que apresentaram melhor desempenho, mostrando comportamento muito semelhante aos tubos armados.

Chama Neto (2002) submeteu tubos de concreto ao ensaio de compressão diametral com três diferentes teores de fibras (10, 20 e 40 kg/m³) utilizando dois tipos de fibra de aço (tipo A - comprimento de 60 mm, fator de forma 80 e resistência à tração 1000 MPa e tipo B - comprimento de 49 mm, fator de forma 47 e resistência à tração 770 MPa) para o diâmetro de 800mm e verificou que na dosagem de 10 kg/m³ os tubos reforçados com fibras não atenderam ao valor mínimo de ruptura prescrito na norma para tubos classe A2 chegando até a apresentar ruptura frágil no caso da fibra tipo B. Já com os teores de 20 e 40 kg/m³ os tubos atenderam ao valor mínimo prescrito por norma, porém muito próximo do limite, exceto no caso dos tubos reforçados com a fibra tipo A na dosagem de 40 kg/m³ que ficou aproximadamente 15% e 31% acima do valor mínimo de carga de trinca e de carga de ruptura prescrito por norma para tubos armados, respectivamente. Portanto, o melhor desempenho encontrado nesse estudo foi para a fibra de aço tipo A na dosagem de 40 kg/m³, confirmando que quanto

maior o teor de fibras, maior será a capacidade resistente do tubo pós-fissuração da matriz. Alerta não haver ganho diretamente proporcional de desempenho com o aumento do teor de fibra, ou seja, não se obtém o dobro de capacidade resistente pós-fissuração, e também não haverá a duplicação desse desempenho se o consumo de fibra for dobrado.

TABELA 4 – ANÁLISE COMPARATIVA DOS EXPERIMENTOS DOS AUTORES REFERÊNCIA. FONTE: AUTOR.

Autores	Comprimento (mm)	Classe da fibra	Fator de forma	Limite de resistência à tração do aço Mpa (*)fu	Diâmetro Tubo (mm)	Teor de fibra de aço (kg/m ³)
Ramos (2002)	Longa	-	-	-	-	30 kg/m ³
	Curta	-	-	-	-	30 kg/m ³
Chama Neto et al. (2002)	60	A	80	1000	800	10 kg/m ³
						20 kg/m ³
	49	B	47	770	800	40 kg/m ³
						10 kg/m ³
Haktanir (2007)	60	-	80	1000	500	25 kg/m ³
	-	-	-	-	-	40 kg/m ³
Fugii (2008)	60	-	75	>1100	600	10 kg/m ³
	60	-	75	>1100	600	15 kg/m ³
	60	-	75	>1100	600	20 kg/m ³
	60	-	75	>1100	600	25 kg/m ³
	60	-	75	>1100	600	30 kg/m ³
De La Fuente et al.(2010)	-	-	-	-	600	40 kg/m ³
	-	-	-	-	600 até 1500	-
	-	-	-	-	acima de 1500	-
	-	-	-	-	-	acima de 40 kg/m ³

- Atendeu ao valor mínimo para carga de ruptura prescrita por norma.
- Não atenderam ao valor mínimo de ruptura prescrita por norma.
- Atendeu a norma ficando acima dos valores mínimos de carga.

Haktanir, et al. (2007) utilizou um tipo de fibra de aço (comprimento de 60 mm, fator de forma 80 e resistência à tração 1000 MPa) em tubos de concreto de 500 mm de diâmetro e concluiu que o teor ideal de fibras de aço deve ser em torno 25 kg/m³. Observou também que o aumento do teor de fibras de aço de 25 kg/m³ para 40 kg/m³, apresentou melhorias insignificantes na resistência e na fissuração dos tubos de concreto. Verificou que a resistência à compressão diametral dos tubos de concreto com teor de fibras de aço de 25 kg/m³ é maior cerca de 10% em relação aos tubos de concreto armado com tela metálica e, para o mesmo teor, os tubos apresentaram menor abertura das fissuras com a adição de fibras em relação ao tubo armado.

Fugii (2008) realizou ensaios utilizando 10, 15, 20, 25 e 30 kg/m³ de fibras de aço em tubos de concreto, e concluiu que apenas os teores de 20 e 25 kg/m³ poderiam ser comercializados, pois foram os únicos que completaram o plano de carregamento em 100% dos tubos ensaiados, segundo as exigências da norma, sendo necessários estudar melhor os demais teores.

De La Fuente et al. (2010a) concluíram que a adição de fibras de aço em dosagens de até 40 kg/m³ permite eliminar totalmente a armadura convencional em tubos com diâmetro máximo de 600 mm para todas as classes resistentes. Para os tubos de diâmetro acima de 600 mm até 1500 mm concluíram que a melhor alternativa é utilizar armadura mista (tela e fibras). Já para tubos de diâmetro superior a 1500 mm, não foi possível a substituição de nenhuma das malhas da armadura convencional (interior ou exterior) pelas fibras metálicas. De igual modo observaram que dosagens de fibras superiores a 40 kg/m³ são pouco atrativas do ponto de vista econômico e podem não ser tecnicamente viáveis com os sistemas de produção atualmente disponíveis.

5. Discussões

Dentre as pesquisas analisadas podemos comentar alguns aspectos importantes:

Ramos (2002) – Apesar de utilizar fibras longas e curtas, obteve melhor desempenho com as fibras curtas no teor de 30 kg/m³. Com o aumento do teor de fibras de aço, houve um crescimento da ductilidade dos tubos, mostrando comportamento muito semelhante aos tubos armados. Fibras longas dificultam a trabalhabilidade, sobretudo, nos tubos de concreto.

Chama Neto et al. (2002) – Para a geometria das fibras adotadas nos ensaios e diâmetros dos tubos, o melhor teor de fibras foi de 40 kg/m³, atendendo, portanto, a norma e ficando aproximadamente 15% acima do valor mínimo de carga de trinca e 31% acima do valor mínimo de carga de ruptura prescrito pela norma para tubos. Isso se deve ao limite de resistência da fibra, ao comprimento e ao seu fator de forma.

Haktanir (2007) – Obteve o teor ideal em 25 kg/m³ para fibras de comprimento 60mm e resistência de 1000 MPa e fator de forma 80. Para este mesmo teor de fibras, observou que a resistência à compressão diametral dos tubos de concreto é 10% maior em relação aos tubos de concreto armado, apresentado ainda menor abertura das fissuras em relação ao tubo com tela metálica. Apesar de serem de tecnologias diferentes, os tubos reforçados com fibras seguem, segundo a norma, a mesma classificação adotada para os tubos de concreto armado, embora as exigências nos ensaios para tubos reforçados com fibra sejam maiores.

Fugii (2008) – Apesar de utilizar fibras com teores de 10, 15, 20, 25 e 30 kg/m³, constatou que apenas as fibras com 20 e 25 kg/m³ poderiam ser comercializados, pois

completaram o plano de carregamento em 100% dos tubos, obrigatório pela norma, que recomenda atingir uma carga mínima isenta de dano (dois terços da carga de ruptura especificada para a sua classe), conforme visto no item 4.2 - Ensaio para avaliação de tubos - compressão diametral.

De La Fuente et al. (2010) – Para tubos reforçados com fibras de aço em dosagens de até 40 kg/m³ é possível eliminar totalmente a armadura convencional em tubos com diâmetro máximo de 600 mm para todas as classes resistentes. Sendo antieconômico dosagens superiores a esse teor de fibra. Com relação ao ensaio de compressão diametral as normas especificam o valor da carga de trinca e ruptura em função da classe e diâmetro nominal do tubo. As variáveis escolhidas no ensaio proporcionaram resultados equivalentes aos previstos nas normas.

6. Conclusões.

- Em princípio, a capacidade de reforço que as fibras apresentam depende diretamente do teor de fibra utilizado, quanto maior for o teor, maior será o número de fibras atuando como ponte de transferência de tensão ao longo da fissura, o que aumenta o reforço pós-fissuração do concreto. O uso de teor de fibras mais elevado (40 kg/m³), apesar de interferir na trabalhabilidade das misturas, provoca incrementos significativos no desempenho dos compósitos.

- De modo geral, as conclusões obtidas nesta pesquisa apontam que quando modificadas na matriz, as fibras com maior fator de forma e fração volumétrica tendem a apresentar melhor desempenho na resistência mecânica dos compósitos. Vale ressaltar ainda, que pode ocorrer que duas fibras, com mesmo fator de forma, apresentem desempenho muito diferentes em função do nível de resistência de seus aços, devido seu elevado módulo de elasticidade e grande capacidade de deformação elástica e plástica.

- Em termos da resistência à tração por compressão diametral, o fator de forma das fibras passa a ser um parâmetro bastante influente, sendo que os compósitos com fibras de fator de forma maior tendem a apresentar melhores resultados nas resistências à compressão e à tração.

- Para o ensaio de compressão diametral, a norma NBR 8890/2007 estabelece as cargas mínimas (carga de fissura, carga isenta de danos e de ruptura) para tubos armados e/ou reforçados com fibras de aço em função da classe e diâmetro nominal do tubo. Dentre as variações de tubos utilizados nos experimentos dos autores, De La Fuente et al. (2010), com o teor de fibras de 40 kg/m³, comprovou que é possível fabricar, somente com fibras, tubos com diâmetro de 600 mm para todas as classes. A variação de diâmetro de 500mm até 800mm atende a norma para os teores estudados, com exceção para 10kg/m³ que não atenderam ao valor mínimo de ruptura prescrito por norma.

- No estudo de Chama Neto (2002), comprova-se que um fator fundamental para o bom desempenho da fibra no tubo de concreto é a resistência do aço que lhe deu origem (resistência à tração 1000 MPa). Ele comprovou a superioridade do desempenho das fibras de aço trefilado, confirmando as recomendações da norma (fibras de aço trefilado com resistência mínima à tração de 1.000 kgf, ancoragem em gancho e fator de forma mínimo de 40, fibra do tipo AI). Também foram utilizadas fibras de aço de chapas cortadas que não conseguiram proporcionar um nível de reforço comparável ao da tela metálica, principalmente para elevados níveis de fissuração.

- Resumidamente, a incorporação das fibras interfere nas propriedades dos compósitos. Variações de comportamento dependem das características das fibras, da matriz de concreto e da interação entre si. Verificam-se perdas significativas na trabalhabilidade, sendo o comprimento da fibra o fator preponderante para isso. O fator de forma, a resistência do aço e principalmente o teor de fibras adicionadas são os fatores preponderantes.

- Por fim, observou-se que é possível executar tubos de concreto reforçado com fibras de aço para esgoto sanitário com desempenho mecânico equivalente àqueles reforçados com telas metálicas.

7. Referências bibliográficas.

_____. ABNT NBR 15530:2007 - **Fibras de aço para concreto – Especificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2007.

_____. ABNT NBR NBR 8890:2007 - **Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários**. Rio de Janeiro.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. London: Elsevier, 1990. 449 p.

BALAGURU, P. N.; SHAH, S. P. **Fiber reinforced cement composites**. USA: McGraw-Hill, 1992.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. LTC – Livros Técnicos e Científicos. 8ª. Edição. Rio de Janeiro. 2012.

CHAMA NETO, P. J.; FIGUEIREDO, A. D. **Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço**. Disponível em: www.researchgate.net/publication/294732655, 2003.

DE LA FUENTE, A.; AGUADO, A.; MOLINS, C.; MOLINS, C.; ESCARIZ, R. C. **Nuevas tendencias para el refuerzo óptimo de tubos de hormigón**, V Congreso de ACHE, At Barcelona, España, 2011.

FIGUEIREDO, A. D. **A nova especificação brasileira sobre fibras de aço para concreto**. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 247 p. Tese (Livre-docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, A. D. **Fibras de Aço para Tubos de Concreto**. Disponível em: www.researchgate.net/publication/294088400, 2008.

HAKTANIR, T.; ARI, K.; ALTUN, F.; KARAHAN, O. **A comparative experimental investigation of concrete, reinforced-concrete and steel-concrete pipes under three-edge-bearing test**. *Construction and Building Materials*, v. 8, n. 21, p. 1702-1708, 2007.

SHIMOSAKA, Tobias Jun. **Influência do teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos autoadensáveis**. 2016. 35 a 40p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.