



CRF - Concreto Reforçado com Fibras - Mito e Realidade

Resumo dos artigos do Prof. Sidney Mindess

- *“Fibre Reinforced Concrete – Myth and Reality” Advances in Cement and Concrete - ASME – American Society of Civil Engineers – 1994*
- *“Fiber reinforced concrete” – capítulo 22 do livro – “Concrete”- Prentice Hall-2002*

Concreto reforçado com fibras (CRF) pode ser definido como um material feito com cimento Portland, agregados, e contendo fibras descontínuas misturadas.

O Concreto Reforçado com Fibras (**CRF**) vem sendo usado desde 1960.

As fibras têm sido encaradas como uma panacéia para todos os problemas que possam ser encontradas nas obras de concreto. Infelizmente, isso é incorreto.

Embora as fibras possam melhorar algumas das propriedades do concreto, o seu uso nunca resultará em um concreto sem fissuras.

Em 1960 foram usadas fibras de asbestos misturadas ao cimento. Desde então têm sido usados outros tipos de fibras como: aço, polipropileno, carbono, vidro, nylon, celulose, acrílico, polietileno, madeira, sisal, etc.

As fibras mais usadas são as fibras de aço e as fibras de polipropileno.

As fibras são usadas em lajes de concreto sobre o terreno (60 %) , em concretos projetados (25 %) e em pré-moldados (5%) e outras aplicações diversificadas.

Algumas dessas fibras têm módulo de elasticidade maior que o do concreto, outras têm módulo de elasticidade menor que o do concreto.

Porque deveríamos usar fibras no concreto?

Concreto simples, não armado, é um material frágil, quebradiço, com uma baixa resistência à tração e uma baixa capacidade de alongamento na tração.

O papel das fibras descontínuas, distribuídas aleatoriamente, é o de atravessar as fissuras, que se formam no concreto, seja quando sob a ação de cargas externas ou quando sujeito a mudanças na temperatura ou na umidade do meio ambiente.

As fibras provocam uma certa ductilidade após a fissuração.

Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em bastante quantidade, elas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras.

Permitirão ao **CRF** resistir a tensões de tração bem elevadas, com uma grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração. (o chamado “*strain softening*”)



Infelizmente as fibras são imaginadas como sendo uma panacéia para todos os problemas encontrados nas construções de concreto, pelo menos quando se lê os prospectos dos fabricantes de fibras. Isso algumas vezes gera desapontamento entre os usuários quando as fibras não produzem um concreto sem fissuras.

Embora as fibras possam de fato produzir melhorias no comportamento do concreto, devemos ser realistas quanto ao que realmente podemos esperar das fibras, principalmente se a quantidade de fibras for pequena, (menos de 1% em volume), como é o caso geral.

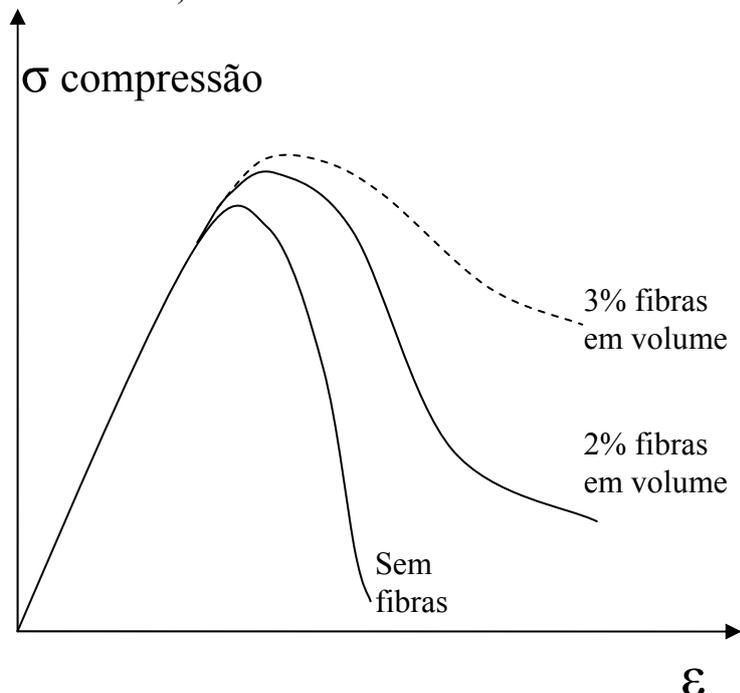
Como as fibras são relativamente caras, devemos estar preparados para responder à pergunta : “ A mesma quantidade de dinheiro não poderia ser usada para colocar uma armadura adicional com barras, ou para escolher um traço melhor para a matriz cimentícia, ou para seguir melhores procedimentos de cura, etc. ? ”.

Na breve revisão que segue, alguns dos mitos que envolvem o uso de fibras no concreto serão comparados com a prática moderna do **CRF**.

Mito Nº 1 : Fibras aumentam a resistência do concreto.

As fibras, por si só, têm pouco efeito nas propriedades mecânicas estáticas, particularmente quando se usa pouca quantidade de fibras, como é de praxe.

A **resistência à compressão**, não aumenta mais que 25%, mesmo com grande volume de fibras de aço (2% em volume).



Fibras de polipropileno e fibras de carbono em grandes volumes, chegam a reduzir um pouco a resistência do concreto, porque as fibras tendem a aumentar o volume de ar incorporado ao concreto durante a mistura.



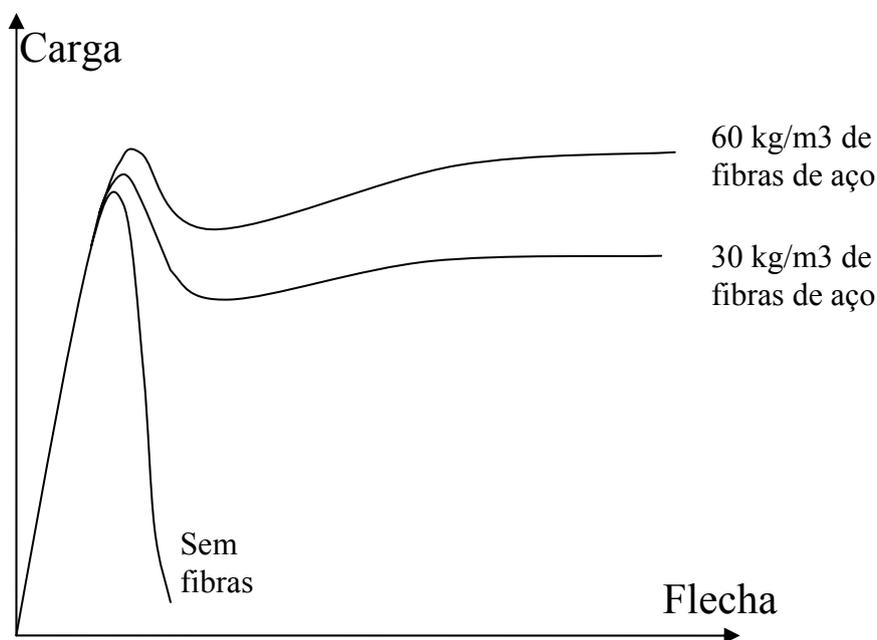
De um modo geral, as fibras :

- não afetam muito a **resistência à tração axial**, embora, para grandes volumes de fibra, possa haver um aumento da resistência à tração de até 6%.
- têm um grande efeito na **resistência à tração na flexão**. Há relatos de aumento de mais que 100% na resistência, para elevados teores de fibra.
- têm pouco efeito na **resistência à torção** ou na **resistência ao cisalhamento**.
- têm pouca influência na **resistência à abrasão**.
- são muito eficientes na melhoria das propriedades **dinâmicas** do concreto.
- aumentam a **resistência à fadiga** do concreto.
- melhoram as propriedades do concreto sob a ação de **cargas de impacto**.

Existem, no entanto, outros modos, provavelmente mais baratos, de aumentar a resistência do concreto.

A real contribuição das fibras é de aumentar a ductilidade do concreto.

A ductilidade é definida em função da área sob a curva “Carga × Flecha”, em qualquer tipo de carregamento.



As fibras aumentam pouco a deformação na carga de pico. Aumentam muito a absorção de energia na parte pós-pico da curva Carga × Flecha.



Mito Nº 2 : Fibras podem eliminar a fissuração no concreto.

É praticamente impossível eliminar a fissuração no concreto, em especial a fissuração devida à retração.

Essa fissuração é uma característica inerente à matriz cimentícia, que é fraca na tração, e que tem pouca capacidade de deformação na tração.

O papel das fibras é de reduzir a abertura das fissuras, por meio da ligação entre as duas bordas das fissuras. As fibras não reduzem a quantidade total das fissuras, e, sim, a abertura das fissuras é que fica reduzida.

Fibras de polipropileno, em um teor de 0,1 % em volume, são comercializadas como sendo uma garantia para a redução da retração plástica, retração essa que ocorre nas primeiras 12 horas, antes que o concreto tenha desenvolvido muita resistência.

As fibras, realmente, são bastante efetivas nessa aplicação.

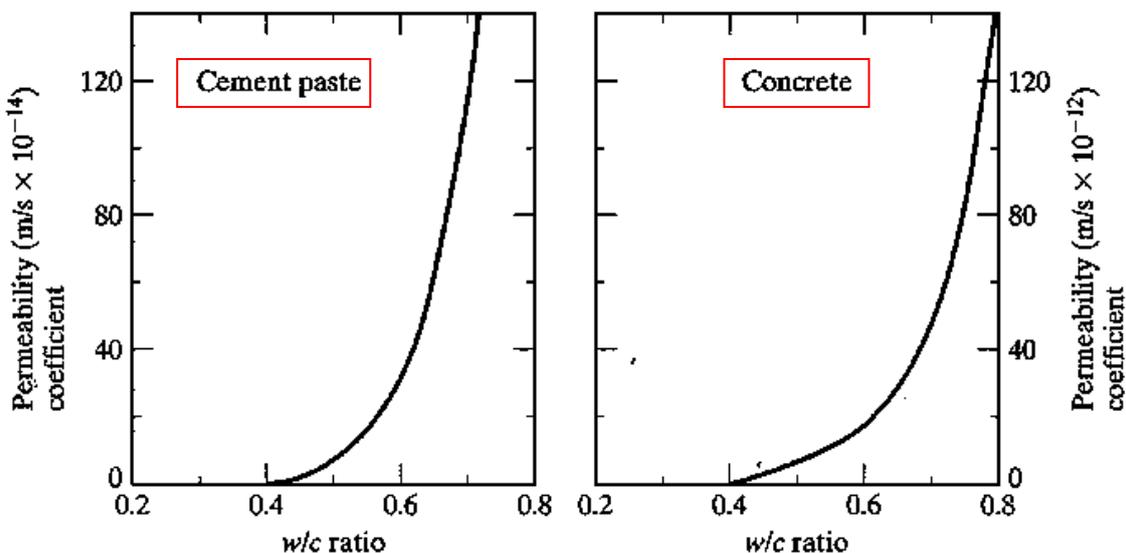
Se, no entanto, for feito um traço correto e se forem tomados cuidados durante o lançamento do concreto, durante a vibração do concreto e durante a cura do concreto, certamente serão obtidos resultados igualmente bons.

Devido ao uso, na prática, de baixos teores de fibras, elas não evitarão a fissuração causada pelas cargas atuantes. As aberturas das fissuras é que serão reduzidas pelas fibras.

Mito Nº 3 : Fibras reduzem grandemente a permeabilidade do concreto.

Em princípio, como as fibras ajudam a controlar a micro-fissuração e a macro-fissuração no concreto, elas deveriam reduzir a permeabilidade também. Isso realmente ocorre, tendo sido relatadas reduções de até 80%. Infelizmente, isso não é uma melhora significativa, como parece.

Para que essa redução fosse significativa, na prática, ela deveria ser, pelo menos, de uma ordem de grandeza (10 vezes menor) . Ver figura abaixo.



- **Pasta de cimento** : T.C. Powers – Journal ACI , Vol 51, No 3 – 1954
- **Concreto** : Concrete Manual – U.S.Bureau of Reclamation – 1975



Mito N° 4 : As fibras podem ser usadas para substituir as barras da armadura de aço no concreto armado.

Esse mito, que pode ser muito perigoso, é devido à falta de compreensão dos diferentes papéis que as fibras e as barras da armadura desempenham no concreto armado.

Barras da armadura (longitudinais e estribos) são colocadas em posições bem definidas nas estruturas, de modo a suportar forças de tração, cisalhamento e ocasionalmente de compressão.

As fibras, sendo descontínuas e dispersas randomicamente na matriz do concreto, não são muito eficientes nesse objetivo.

Embora as fibras possam ser usadas pra substituir algumas das armaduras de cisalhamento (estribos), a sua função primeira é a de controlar a fissuração da matriz do concreto. As fibras são efetivas nesse controle da fissuração porque elas são muito numerosas e porque elas estão pouco espaçadas.

O número de fibras que pode existir no concreto está mostrado nas tabelas adiante, para vários tipos e volumes de fibras de reforço.

As fibras devem ser vistas como um material complementar para ser usado junto com as barras convencionais de armadura.

É sabido que as propriedades de todos os tipos de estruturas em concreto armado melhoram com a presença de um volume suficiente de fibras de aço, de fibras de polipropileno, ou de outras fibras, tanto para cargas estáticas quanto para carga dinâmicas.

Em estruturas de concreto armado contendo barras de aço e fibras, as fibras atuam de dois modos:

- 1-As fibras permitem que a resistência à tração do **CRF** seja usada no projeto, visto que a matriz cimentícia não perderá sua capacidade de carga ao surgir a primeira fissura.
- 2-As fibras melhoram a aderência entre a matriz cimentícia e as barras da armadura, após o início da fissuração, impedindo o crescimento das fissuras que surgem quando as barras se alongam.

Infelizmente, o **CRF** ainda não é usado de modo corrente nas estruturas comuns, por duas razões:

- As diversas normas ainda não reconhecem os efeitos benéficos das fibras e ainda não existem normas para o **CRF**.
- Ainda não existem métodos de caracterização das propriedades do **CRF**, que permitam aos calculistas utilizar as propriedades especiais do **CRF**.



Quantidade de fibras no concreto

Tipo de fibra	Dimensões das fibras	Densidade relativa	Volume de fibras (%)	Teor de fibras (kg/m ³)	Número de fibras por m ³ de concreto	Comprimento das fibras por m ³ de concreto
Barras de aço Armadura convencional (referência para comparação)	diâmetro da barra $\varnothing = 25\text{mm}$	7,85	3 %	240 (teor alto)	61	61 m
Fibras de aço  (Catálogo Dramix)	L = 50mm $\varnothing = 0,5 \text{ mm}$	7,85	1 %	80	1×10^6	50 km
Fibras de Polipropileno 	L = 25mm $\varnothing = 0,018\text{mm}$	0,9	0,1 %	0,9	157×10^6	4 000 km
Fibras de Carbono <i>As mais resistentes, porém as mais caras. Usadas em alguns tipos de pré-fabricados</i>	L = 6mm $\varnothing = 0,018\text{mm}$	1,70	3 %	48	$19\,600 \times 10^6$	118 000 km



Propriedades mecânicas das fibras mais usadas

Tipo de fibra	Resistência a tração MPa	Módulo de elasticidade GPa	Alongamento último %
Aço 	1000	205	30 %
Polipropileno 	140 a 700	3,5 a 4,8	15 %
Carbono <i>As mais resistentes, porém as mais caras. Usadas em alguns tipos de pré-fabricados.</i>	2500 a 3000	380	0,5 a 0,7 %

Mito N° 5 : Nas lajes, as fibras podem ser usadas para substituir as malhas soldadas de aço.

Aqui, o mito e a realidade estão muito próximos. Malhas soldadas são muito usadas em lajes sobre o solo ou em pavimentos, para reduzir a fissuração devida à retração e aos efeitos térmicos.

A malha soldada visa manter o concreto íntegro, mesmo após a ocorrência de uma fissuração intensa.

As malhas funcionam bem, se colocadas na posição correta, isto é a um terço da altura da laje, a contar do topo da laje (no mínimo a 5cm do topo) . Elas são muitas vezes colocadas na posição errada, ou então acabam sendo colocadas sobre o solo, na face inferior da laje, porque



os suportes para suportá-las são impróprios, ou porque são pisados durante a obra. Nessa posição funcionam mal, e não cumprem o papel esperado de reduzir as fissuras. Nestes casos as fibras são um substituto excelente das malhas de aço, porque elas ficam distribuídas em toda a espessura da laje. O resultado é que as fibras são realmente capazes de ajudar a controlar a fissuração e os deslocamentos relativos das diversas partes em que fica dividida a laje fissurada.

As malhas soldadas, quando corretamente posicionadas, são, no entanto, tão efetivas quanto as fibras de aço ou de polipropileno no controle da fissuração das lajes e dos pavimentos.

Mito N^o 6 : Sabe-se como caracterizar corretamente os efeitos das fibras na performance do concreto.

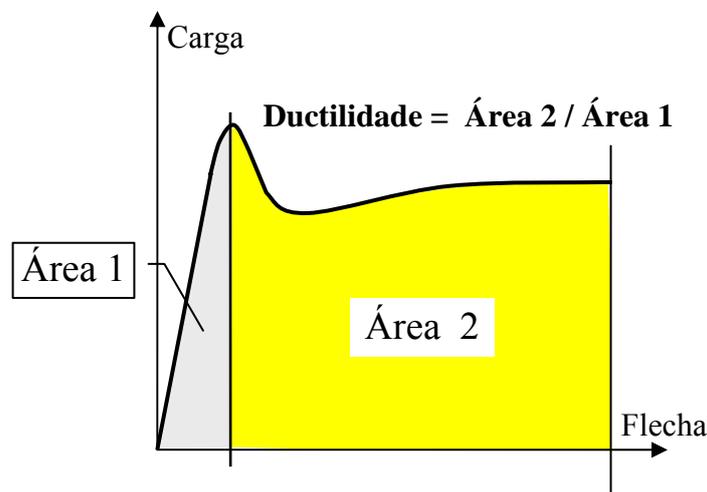
Esse pode ser o maior mito de todos.

Como já esclarecido antes, as fibras são adicionadas ao concreto para alterar o comportamento pós-fissuração do **CRF**.

Não há, no entanto, um método inequívoco para medir essa mudança de comportamento. A maioria dos pesquisadores tentou comparar diferentes **CRF** em termos da ductilidade. Isto é, em termos da área sob a curva “Carga x Flecha”. Não há uma concordância em como medir esse aumento de ductilidade produzido pelas fibras.

Existem diversas abordagens:

- Uma *medida absoluta* da ductilidade é a energia requerida para deformar um corpo de prova, de uma geometria específica, até uma deflexão específica, medindo a área sob a curva “Carga X Flecha”. O resultado desses ensaios depende inteiramente do tamanho do corpo de prova e da flecha especificada. Um ensaio desse tipo é o especificado pelo Japan Concrete Institute.
- Uma *medida relativa* da ductilidade pode ser definida em termos da área sob a curva “Carga X Flecha” em diversos pontos, com deformações múltiplas da deformação da primeira fissura. . A razão dessa área em relação à área sob a curva, até o ponto da primeira fissura, é uma medida da ductilidade.





Esses dois métodos são muito sensíveis ao modo como as deflexões são medidas. Deve-se usar um sistema que elimine deflexões devidas à deformação da máquina de ensaio e dos suportes do corpo de prova. (deformações parasitas).

Além disso, ao usar a norma ASTM C1018, é muito difícil definir, sem erro, o ponto da primeira fissura, pois isso depende da sensibilidade do sistema de aquisição de dados.

Existe, por esse motivo, uma grande dispersão de resultados. Muitas vezes não se consegue distinguir, por meio do ensaio, entre diferentes fibras ou entre diferentes teores de fibras. Isso ocorre para baixos volumes de fibra, que são os mais usados.

Conclusões do Prof. Sidney Mindess :

- Na revisão acima, seis dos mitos mais comuns sobre **CRF** foram comparados com a realidade da prática dos Concretos com Fibras Incorporadas.
- As fibras ainda são pouco utilizadas nas estruturas usuais de concreto armado ou protendido, devido à falta de compreensão do real comportamento das fibras dentro do concreto e também devido à falta de normas específicas para o seu uso.
- Ainda assim, o Concreto Reforçado com Fibras (**CRF**) já é usado em muitas obras como: pavimentos rígidos, pavimentação de pontes, estradas, aeroportos, revestimento de túneis (concreto projetado), pisos industriais, estacionamentos, obras hidráulicas e estabilização de taludes (concreto projetado).

Comentários adicionais :

- Concretos com fibra de aço são muito usados em pavimentos de estradas, em pistas e pátios de aeroportos. O objetivo é diminuir a espessura das lajes e reduzir a fissuração.



Terminal de Cargas – Infraero – SP



- Concretos com fibras de aço são muito usados em pisos industriais. O objetivo é reduzir danos devidos à abrasão, ao impacto e à fadiga.



Foto: Catálogo *Dramix*

- Fibras de polipropileno também são muito usadas em pisos industriais. O objetivo é reduzir danos devidos à fissuração da retração plástica (retração que ocorre nas primeiras 12 horas, antes que o concreto tenha desenvolvido muita resistência).

Para aproveitar os efeitos benéficos desses dois tipos de fibra, e combater todos esses tipos de danos, usa-se o concreto com uma mistura de fibras de aço e fibras de polipropileno.

- Concretos com fibras de aço ou de polipropileno são usados em pisos de garagens e estacionamentos.



Foto : Catálogo *Dramix*

- Concretos com fibras de aço também são muito usados em pisos portuários.



- O concreto com fibras, de aço ou de polipropileno, é muito usado em revestimentos de túneis. É aplicado como concreto projetado. As perdas devidas à reflexão do concreto projetado (repique) ficam reduzidas, pois a coesão do concreto fresco fica maior, quando se usam fibras. O uso de fibras de aço, de micro-sílica e de aceleradores de pega permite a execução de camadas espessas de concreto projetado.

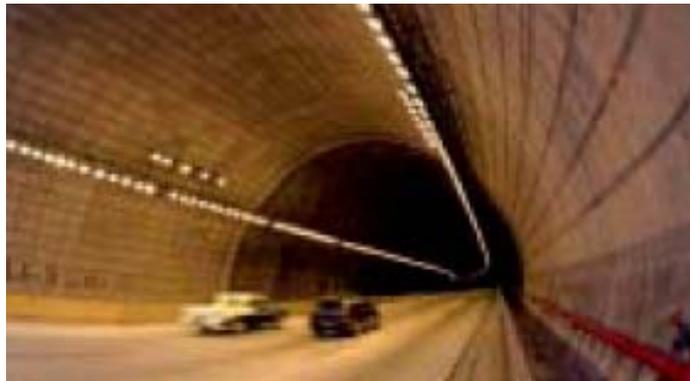


Foto: Catálogo *Dramix*

Concreto projetado, via úmida	“Slump” durante a projeção (mm)	IR = Índice de Reflexão $IR = \frac{\text{Massa refletida}}{\text{Massa projetada}}$
Sem fibras de Polipropileno	120	11,3 %
Com 1kg/m ³ de fibras de Polipropileno	90	7,6 %
A reflexão do concreto projetado com fibras de aço é de 6 % (via úmida) e de 10 % (via seca).		
Relatório L.A. Falcão Bauer - 5186 / 2002 para a firma FITESA		

- Na estabilização de taludes é usado concreto projetado, com fibras. São usadas fibras de aço, malhas soldadas de aço e tirantes ancorados no maciço rochoso. Usando-se concreto projetado com fibras de aço, micro-sílica e de aceleradores de pega, pode-se executar camadas espessas de concreto projetado.



Foto : Catálogo *Dramix*



- Fibras de polipropileno são muito usadas para reduzir a fissuração devida à retração plástica (ocorre no concreto ainda mole).
- As fibras de polipropileno são, por isso, muito usadas em estruturas de contenção de água, como em Estações de Tratamento de Água (E.T.A.), Estações de Tratamento de Esgotos (E.T.E.), galerias e paredes de canais.
- As fibras de polipropileno são também usadas em outras estruturas em contato com a água, como vertedouros e bacias de dissipação em barragens.
- Muitos outros tipos de fibras são pesquisados, embora nem todos encontrem uso corrente em obras de concreto.
- O custo elevado não permite o uso de algumas dessas fibras.

Propriedades mecânicas de diversas fibras

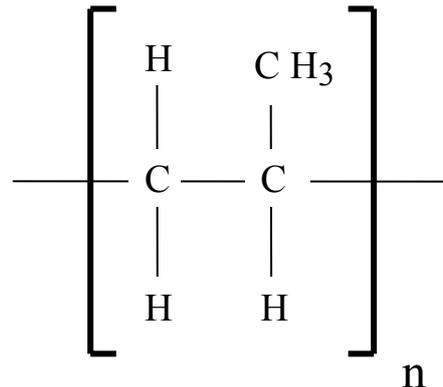
O custo elevado não permite o uso de algumas dessas fibras.

Tipo de fibra	Diâmetro equivalente (µm)	Densidade relativa	Resistência à tração (Mpa)	Módulo de elasticidade (Gpa)	Alongamento último (%)
Acrílico	13-104	1,16-1,18	270-1000	14-19	7,5-50,0
Aramide I	12	1,44	2900	60	4,4
Aramide II	10	1,44	2350	115	2,5
Carbono PAN HM	8	1,6-1,7	2500-3000	380	0,5- 0,7
Carbono PAN HT	9	1,6-1,7	3450-4000	230	1,0-1,5
Carbono GP	10-13	1,6-1,7	480-790	27-35	2,0-2,4
Carbono HP	9-18	1,8-2,1	1500-3100	150-480	0,5-1,1
Nylon	23	1,14	970	5	20
Poliéster	20	1,34-1,39	230-1100	17	12-150
Polietileno	25-1000	0,92-0,96	75-590	5	3-80
Polipropileno	---	0,90-0,91	140-700	3,5-4,8	15



O Polipropileno, muito usado nas fibras para o concreto, é um Polímero de alta resistência química e de alta resistência a solventes.

A estrutura química do polímero “polipropileno” é a mostrada abaixo.



C = Carbono H = Hidrogênio

n = número de repetições do segmento

As fibras de polipropileno são fabricadas em forma de fibrilas retangulares ou de mono-filamentos cilíndricos.



Fibrilas finas em forma retangular

Foto : PCA Portland Cement Association



Mono-filamentos cilíndricos finos

Foto : PCA Portland Cement Association

Estão sendo usadas misturas de fibras de resinas de polipropileno e de polietileno . Os dois polímeros são incompatíveis e se separam durante o manuseio e a mistura no concreto.