

Análise do reforço têxtil produzido no Brasil para produção do concreto têxtil

VINICIUS DE KAYSER ORTOLAN – DOUTORANDO

PEDRO HENRIQUE LEUCK – ENGENHARIA CIVIL

MAIRA JANAINA OTT – PESQUISADORA ITT PERFORMANCE

GIAN DE FRAGA MOREIRA – ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA PACHECO – PROFESSOR

BERNARDO TUTIKIAN – PROFESSOR

ITT PERFORMANCE / UNISINOS

RESUMO

NESTE TRABALHO, O COMPORTAMENTO À TRAÇÃO DIRETA E À FLEXÃO DO CONCRETO TÊXTIL REFORÇADO COM TÊXTIL DE VIDRO AR PRODUZIDO NO BRASIL SÃO INVESTIGADOS DE FORMA EXPERIMENTAL. ENSAIOS DE TRAÇÃO DIRETA E FLEXÃO POR 4 PONTOS FORAM REALIZADOS EM 3 CORPOS DE PROVA REFORÇADOS COM DUAS CAMADAS DE TÊXTIL, POSICIONADOS COM AFASTAMENTO DE

3 MM DAS SUPERFÍCIES SUPERIOR E INFERIOR. O OBJETIVO DESTES ESTUDO É ANALISAR O POTENCIAL DE INSERÇÃO DO TÊXTIL DE VIDRO AR NACIONAL COMO ELEMENTO DE REFORÇO EM MATRIZ CIMENTÍCIA. OS RESULTADOS EXPERIMENTAIS DEMONSTRAM COMPORTAMENTO MECÂNICO SATISFATÓRIO AOS REQUISITOS QUE QUALIFICAM O CONCRETO TÊXTIL.

Palavras-chave: concreto têxtil, textile reinforced concrete (TRC), têxtil de vidro AR.

I. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre compósitos cimentícios avançados vêm sendo intensificados nas últimas décadas, como

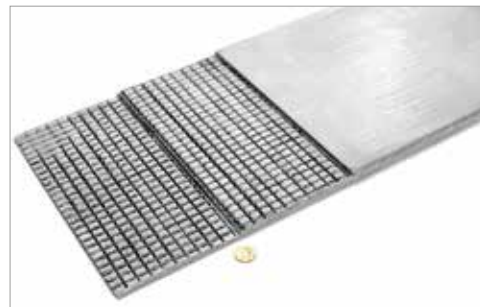
o concreto têxtil. O emprego dessa tecnologia visa substituir as barras convencionais de aço utilizadas como reforço em estruturas de concreto armado, pela inserção de fibras

contínuas bidirecionais distribuídas em forma de malhas.

Este trabalho mostra o comportamento mecânico do reforço têxtil de vidro AR produzido no Brasil, enfatizando especificamente a inserção de reforço têxtil produzido nacionalmente em uma matriz cimentícia, objetivando uma contribuição para viabilizar materiais nacionais e diminuir custo da tecnologia.

2. CONCEITUAÇÃO DO CONCRETO TÊXTIL

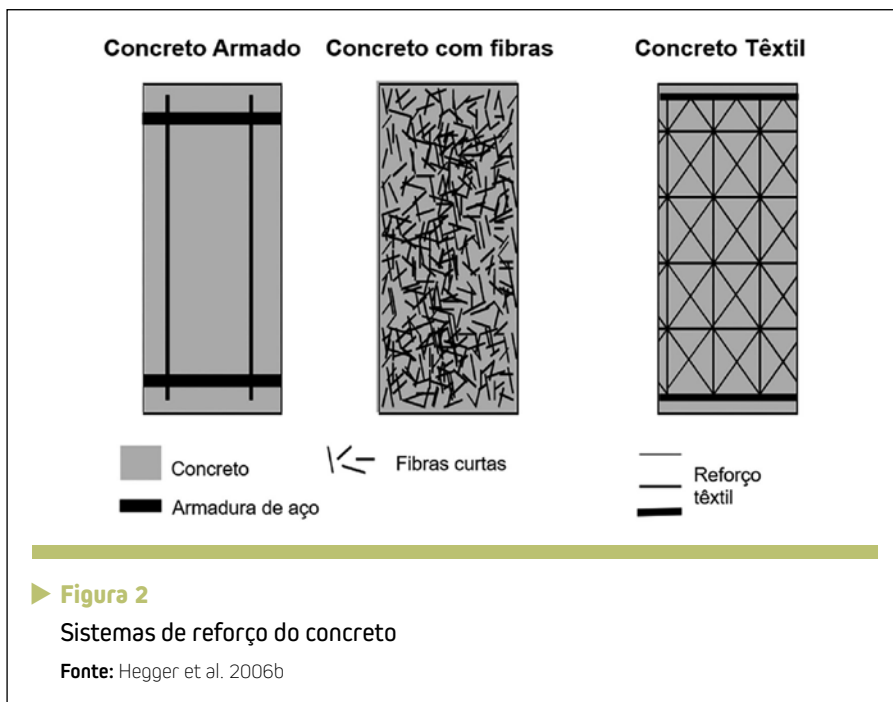
O *Textile Reinforced Concrete* (TRC) é constituído por pasta cimentícia, agregados miúdos, adições minerais e reforços com fibras longas bidirecionais (Figura 1).



► **Figura 1**

Configuração do concreto têxtil

Fonte: www.bft-international.com



As propriedades mecânicas do TRC são consequência do alinhamento do reforço têxtil, orientado na direção dos esforços principais, que garante características diferentes aos concretos reforçados com as fibras descontínuas, dispersas na matriz.

A Figura 2 apresenta a diferença entre o concreto armado, o concreto com fibras curtas dispersas e o concreto têxtil.

Os têxteis podem ser produzidos por fibras de vidro álcali-resistente (AR), carbono ou basalto. Em geral, a fibra de carbono possui o melhor desempenho quando comparada às de vidro AR e basalto, devido à maior resistência à tração, quase três vezes maior que a do vidro AR. Em contrapartida, a fibra de vidro AR apresenta custo inferior do que a de carbono (PELED, 2018).

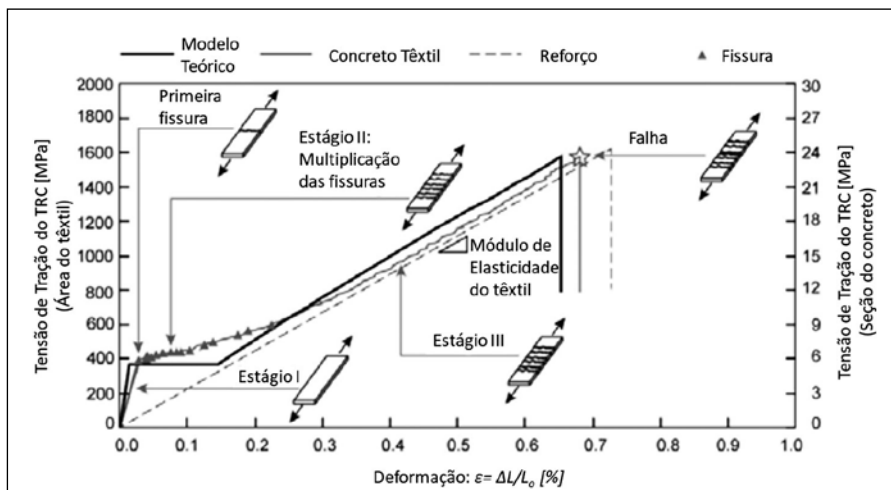
Para que as propriedades mecânicas do TRC sejam alcançadas de

forma satisfatória, a matriz cimentícia com resistência à compressão superior a 40 MPa deve interagir com o reforço têxtil. Quando o compósito é solicitado ao esforço de tração direta, Yao et al., (2015) reportam que o TRC apresenta comportamento que pode ser dividido em três estágios,

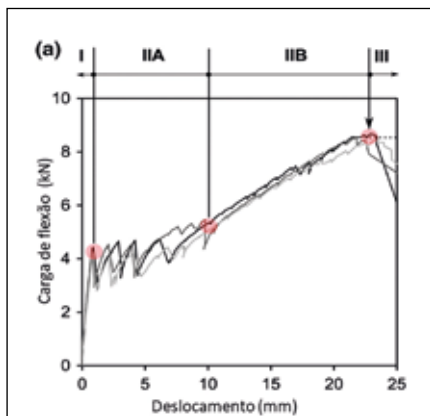
como ilustrado no diagrama tensão x deformação sobre carregamento uniaxial na Figura 3.

O estágio I caracteriza o elemento não fissurado, que corresponde ao módulo de elasticidade da matriz cimentícia. Neste estágio, apenas a matriz está sendo solicitada, ao passo que, a partir da primeira fissura, as fibras tornam-se efetivamente solicitadas. (PELED, 2016). O estágio II começa com o início da primeira fissura e a propagação em toda a largura da amostra, que ocorre perpendicularmente ao menor lado do elemento.

Ao ingressar no estágio II, a rigidez do compósito diminui gradativamente, devido à formação de fissuras espaçadas regularmente. Conforme Hegger et al. (2006a), o espaçamento das fissuras é determinado pelo reforço e suas características de ligação ao concreto. Mesmo com a propagação das fissuras ao longo do corpo de prova,



► **Figura 3**
Representação esquemática do comportamento do TRC à tração
Fonte: Valeri, Ruiz e Muttoni, 2018



► **Figura 4**
Esquema do comportamento característico à flexão, curva carga x deslocamento

Fonte: Williams Portol, Nyholm Thrane e Lundgren, 2017

a capacidade de carga do composto fissurado continua aumentando, resultando no início do estágio III. Neste, já não há mais ocorrência de mais fissuras, apenas o reforço é solicitado. Este comportamento é atribuído à resistência e ao módulo de elasticidade do reforço têxtil. Assim, a falha sucede quando se atinge a tensão de ruptura do reforço, caracterizada como resistência máxima (pico) do compósito cimentício reforçado com têxtil. (HEGGER et al., 2006b)

Na situação em que o TRC é solicitado à flexão, cenário que caracteriza o comportamento em uso, visto que simula as condições reais aproximadas do concreto têxtil, as reações de compressão da matriz e tração do reforço atuam em ação conjunta frente às solicitações de flexão. Mobasher (2016) e Peled, Bentur e Mobasher (2017) argumentam que, como a resistência à com-

pressão da matriz é superior ao de tração, a maior exigência do TRC é guiada pela zona tracionada. A relação carga x deslocamento da solicitação de flexão pode ser dividida em três estágios, como ilustra a Figura 4.

No estágio I, há influência do regime elástico do material, não há surgimento de fissuras nesta região e o concreto permanece suportando os esforços. No estágio II, existe ocorrência de fissuras, com avanço da carga com o deslocamento. No estágio IIA há multiplicação das fissuras e no IIB não há surgimento de novas fissuras, apenas aumento da abertura das existentes, consecutivamente a carga é transferida diretamente para o tecido. A falha do sistema principia com o estágio III. Nesta etapa, há falha da aderência das fibras no concreto, ocorre a redução acentuada da carga, que pode ser atribuída ao escorregamento dos filamentos externos do fio. O sistema rompe quando há deslizamento dos filamentos do núcleo, desenvolvem-

do, assim, rompimento das fibras em forma telescópica - este modo de falha acontece lentamente por altas deformações.

As propriedades do material compósito de concreto reforçado com têxtil são influenciadas pelas propriedades do fio, assim como o material do fio e sua geometria, além da matriz, como tratado a seguir.

3. PARTE EXPERIMENTAL

A caracterização do comportamento mecânico de têxtil de vidro AR, produzido no Brasil, como reforço em matriz cimentícia, foi analisado de forma experimental com idade de cura da matriz em 28 dias, com solicitação à tração direta e à flexão.

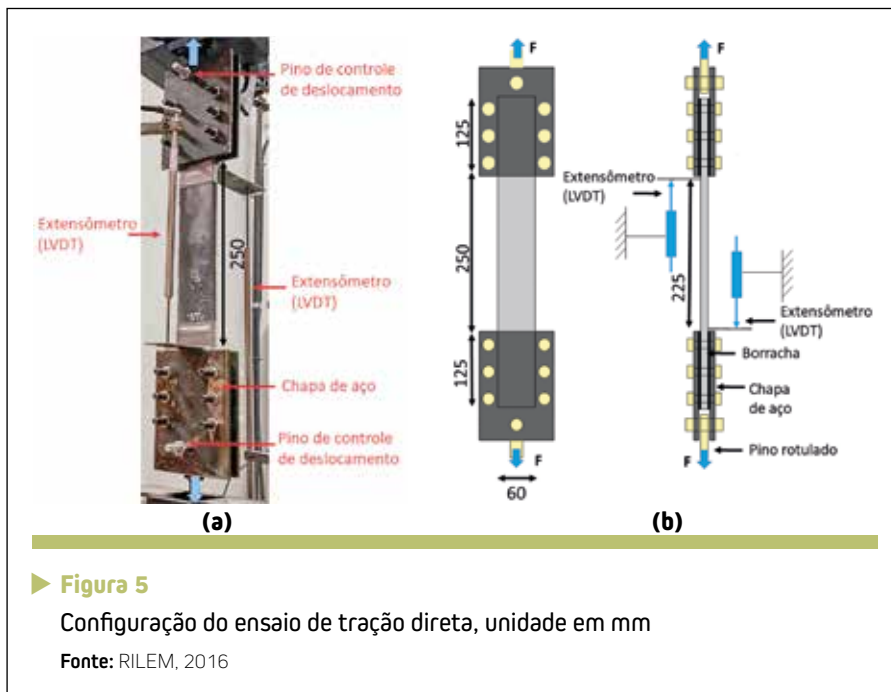
Para isso, utilizou-se o tecido cujas informações estão apresentadas no Quadro 1, revestido com resina acrílica sem função estrutural, apenas para agrupar os filamentos.

Adotou-se para o estudo mistura do concreto com o traço 1:2,1 (cimento:areia), com adição de 10%

► **Quadro 1 – Propriedades dos tecidos fornecidos pelo fabricante**

Massa		192 g/m ²		
Número de fios	Urdidura	1,5 fios/cm		
	Trama	1,5 fios/cm		
Finura		640 tex		
Espessura		0,50 mm		
Área do fio		34,5 mm ² /m		
Abertura da malha		5 x 5 mm		
Resistência à tração do fio	Trama	1247,91 MPa		
	Urdidura	753,39 MPa		
Resistência à tração do tecido	Trama	1590 MPa		
	Urdidura	806 MPa		
Módulo de elasticidade	Trama	81,09 GPa		
	Urdidura	37,26 GPa		



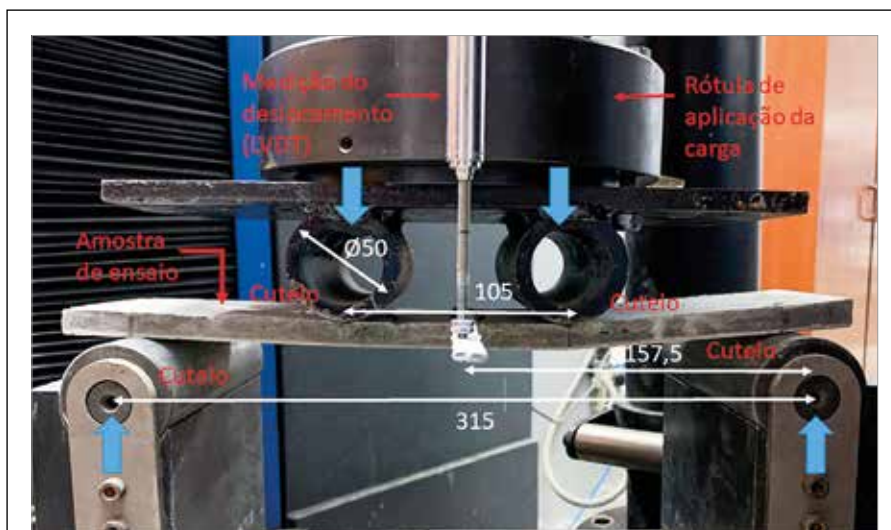


► **Figura 5**
Configuração do ensaio de tração direta, unidade em mm
Fonte: RILEM, 2016

de sílica ativa em relação à massa de cimento, com relação água/aglomerante de 0,4, e com resistência à compressão potencial aos 28 dias de 60,3 MPa e módulo de elasticidade de 33,4 GPa.

Para caracterização mecânica

à tração direta do concreto têxtil, seguiu-se o procedimento recomendado na RILEM TC 232-TDT: *Uniaxial tensile test*. (RILEM, 2016). A Figura 5a apresenta o aparato acoplado à máquina de ensaios, enquanto que a Figura 5b apresenta as dimensões



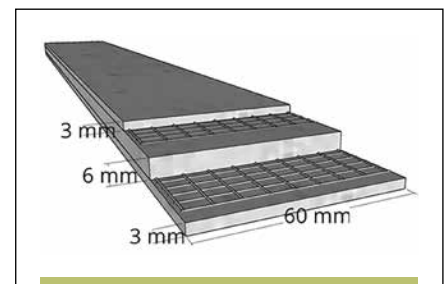
► **Figura 6**
Configuração do ensaio de flexão, unidades em mm
Fonte: Autor, 2020

dos corpos de prova em milímetros. A espessura das amostras foi de 12 mm. A leitura das deformações foi feita por dois extensômetros, posicionados em ambas as faces da peça de concreto têxtil.

O ensaio de tração foi realizado com taxa de deformação de 0,2%/min, sendo o comprimento de 500 mm do corpo de prova, corresponde a uma taxa de deslocamento vertical da máquina de ensaio de 1 mm/min. O ensaio foi conduzido até a ruptura do corpo de prova.

O ensaio foi realizado pelo método dos 4 pontos, como sugerido por Vlach et al. (2018) e Hawkins et al. (2018), com procedimento especificado pela norma ASTM C947-3:2016, com taxa de carregamento controlada de 2,0 mm/min, sendo este deslocamento do equipamento, e não da amostra. O deslocamento da amostra foi registrado com auxílio de um extensômetro do tipo LVDT, posicionado no centro da amostra, como apresenta o esquema na Figura 6.

O ensaio de resistência à flexão foi conduzido em corpos de prova, com dimensões recomendadas por Vlach



► **Figura 7**
Esquema e posicionamento do reforço para ensaio de tração direta
Fonte: Autor, 2020

et al. (2018), sendo 100 mm de largura, 360 mm de comprimento e 12 mm de espessura.

Os valores de carga, tensão, deslocamento e deformação foram registrados a cada 0,1 segundo.

Durante o ensaio, foram registrados os momentos. As resistências à tração direta e à flexão foram determinadas a partir de três corpos de prova. Foram posicionadas duas camadas de reforço têxtil de fibra de vidro AR, com cobertura de 3 mm em cada face, como ilustra a Figura 7, com o têxtil orientado na direção da urdidura.

Para análise dos parâmetros de dimensionamento analítico, tomou-se como base apenas a orientação do têxtil na direção da trama, uma vez que apresentou comportamento mecânico, quando isolado, superior à orientação da urdidura, no que tange à resistência à tração e ao módulo de elasticidade. Além do mais, o módulo de elasticidade do fio na orientação da urdidura apresentou valor próximo ao módulo de elasticidade da matriz cimentícia, que pode não ser indicado como elemento de reforço estrutural (PELED, 2018).

4. RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de tração e flexão dos corpos de prova reforçados com o têxtil são apresentados, respectivamente, na Tabela 1 e Tabela 2.

Os resultados apresentados evidenciam uma evolução da resistência com deformação entre a primeira fissura e a máxima, visto que, com a resistência média e individual, de ambos os ensaios, há aumento da resistência máxima em relação ao valor necessário para formar a primeira fissura. O mesmo ocorre com a deformação: há avanço da deformação com o crescimento da resistência.

► Tabela 1 – Tensões e deformações das amostras de concreto têxtil à tração

Amostra	Tensão na 1ª fissura σ_{cr} (MPa)	Deformação na 1ª fissura ε_{cr} (%)	Tensão máxima σ_{max} (MPa)	Deformação na tensão máxima ε_{cr} (%)
A	2,95	0,238	5,79	4,30
B	3,23	0,500	5,63	2,74
C	3,20	0,894	6,59	2,89
Média	3,13	0,544	6,00	3,31

► Tabela 2 – Força e deslocamento das amostras de concreto têxtil à flexão

Amostra	Força na 1ª fissura (N)	Deslocamento na 1ª fissura (mm)	Força máxima (N)	Deslocamento na força máxima (mm)
A	306,0	1,195	813,9	25,544
B	380,6	0,509	822,2	23,621
C	212,3	0,288	724,5	27,119
Média	299,6	0,664	786,8	25,428



(a)



(b)

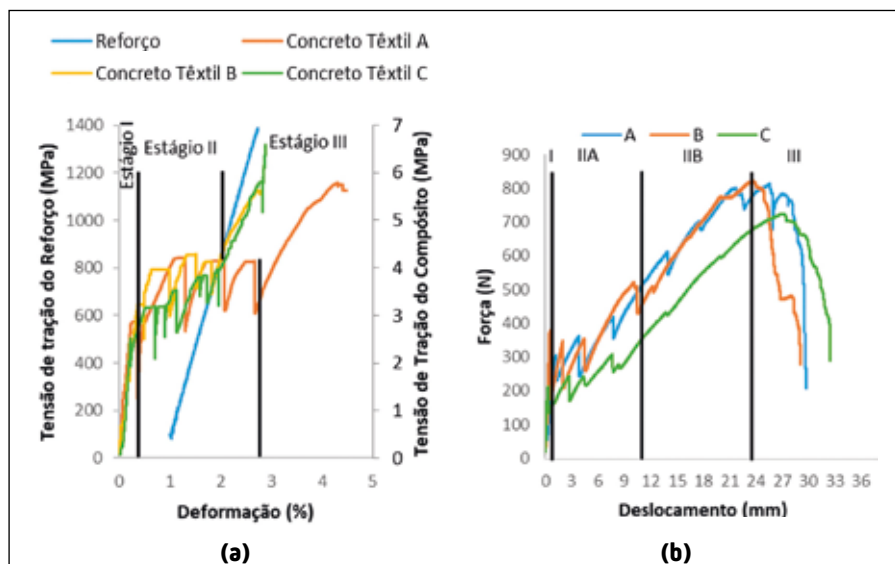


► Figura 8

Aspecto final dos corpos de prova após ensaio, (a) tração (b) flexão

Fonte: Autor, 2020





► **Figura 9**

Identificação das zonas constitutivas do concreto têxtil, (a) tração do compósito e do reforço; (b) flexão do compósito

O aspecto final das amostras ensaiadas à tração e à flexão, é apresentado na Figura 8. Percebe-se formação visível de um padrão de fissuração espaçadas com aproximada regularidade.

Percebe-se que o compósito reforçado com o têxtil produzido no Brasil apresentou ganhos de resistência à tração direta e há ancoragem do têxtil à matriz. Isto é evidenciado pelo aumento do número de fissuras e pela progressão das deformações e deslocamento com ganhos da resistência.

A Figura 9 relaciona o comportamento encontrado nas amostras ensaiadas, nos distintos procedimentos de ensaio, com a lei constitutiva do concreto têxtil, conforme os diferentes estágios apontados por Valeri, Ruiz e Muttoni (2018) e Williams Portal, Nyholm Thrane e Lundgren (2017), respectivamente ao compor-

tamento à tração (Figura 9a) e à flexão (Figura 9b).

O comportamento mecânico das amostras com duas camadas de reforço apresenta semelhança com a configuração desejada para concreto têxtil, uma vez que há ocorrências dos três estágios distintos de atuação, quando solicitado ao esforço de tração direta e flexão (PELED; BENTUR; MOBASHER, 2017).

É possível destacar semelhança no comportamento das amostras solicitadas à tração de TRC, ao longo do estágio III, com o tecido puro. Visto que ocorre atuação em paralelo da tensão versus deformação, pois, durante este estágio, apenas o reforço é solicitado, o que indica conformidade com comportamento do reforço isolado.

Além do mais, os compósitos reforçados com duas camadas de têxtil AR192, na direção da trama, pode

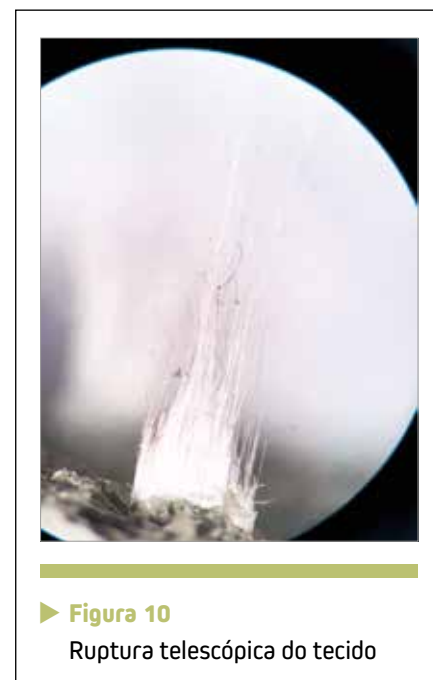
ser caracterizado com as propriedades que qualificam o reforço com comportamento de concreto têxtil, dado que os corpos de prova apresentam crescimento da resistência após o surgimento da primeira fissura, manifestação de múltiplas fissuras e redução gradativa da carga depois de alcançar a força máxima.

Pode-se ainda observar a configuração de ruptura do reforço quando o compósito é solicitado à tração direta, conforme padrão de ruptura do tipo telescópico, apresentado na Figura 10 com ampliação de 50x.

A ruptura dos filamentos ocorre com falha precoce dos filamentos externos ligados diretamente com a matriz, com solicitação residual dos filamentos internos, que escorregam, menos aderidos com a matriz, e configuram, de modo análogo, uma ruptura do tipo telescópico.

5. CONCLUSÃO

Através dos ensaios, foram



► **Figura 10**

Ruptura telescópica do tecido

observadas propriedades importantes da atuação no conjunto do reforço têxtil de fibra de vidro AR, como reforço em matriz cimentícia, quando esse é solicitado à flexão e à tração, que se assemelham ao comportamento desejado de elementos em concreto têxtil.

Sendo possível destacar a atuação nos diferentes estágios cons-

titutivos do TRC, com distinção da fase elástica da matriz, seguido pelo instante do surgimento da primeira fissura e formação de múltiplas fissuras, até a fase em que o reforço é solicitado isolado, atingindo o ponto de carga máxima, com posterior ruptura do compósito.

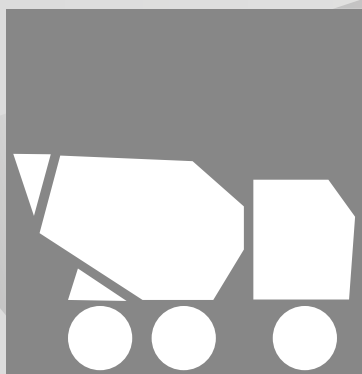
Em ambas as análises mecânicas, há crescimento da resistência

com avanço da deformação, sendo que a resistência máxima é superior à resistência de fissuração.

Os resultados são promissores quanto ao uso de concreto reforçado com têxtil produzido no Brasil. Entretanto, pesquisas adicionais são necessárias para maior desempenho das resistências para o emprego corrente da tecnologia. 📧

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM C947-03 - Standard Test Method for Flexural Properties of Thin-Section Glass-Fiber-Reinforced Concrete (Using Simple Beam With Third-Point Loading), 2017.
- [2] HAWKINS, W. et al. An Analytical Failure Envelope for the Design of Textile Reinforced Concrete Shells. *Structures*, v. 15, n. June, p. 56–65, 2018.
- [3] HEGGER, J.; VOSS, S. Textile reinforced concrete under biaxial loading. 6th Rilem Symposium on Fiber Reinforced Concrete (FRC), BEFIB 2004, n. September, p. 1463–1472, 2004.
- [4] HEGGER, J. et al. Load-bearing behaviour and simulation of textile reinforced concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 39, n. 292, p. 765–776, 2006a.
- [5] HEGGER, J. et al. Mechanical behaviour of textile reinforced concrete. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC: Textile Reinforced Concrete, p. 133–183, 2006b.
- [6] PELED, A. Bonds in textile reinforced concrete composites. In: TRIANTAFILLOU, T. C. (Ed.). *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*. 2016. p. 63–99.
- [7] PELED, A.; MOBASHER, B.; BENTUR, A. Durability of TRC. In: *Textile Reinforced Concrete*. 2017. p. 365–421.
- [8] PELED, A. Material Design of TRC and TRC Impact Resistance. In: RILEM Bookseries -Strain-Hardening Cement-Based Composites. 2018. p. 351–358.
- [8] RILEM TECHNICAL COMMITTEE 232-TDT. Recommendation of RILEM TC 232-TDT: test methods and design of textile reinforced concrete: Uniaxial tensile test: test method to determine the load bearing behavior of tensile specimens made of textile reinforced concrete. *Materials and Structures*, v. 49, p. 4923-4927, 2016.
- [9] VALERI, P.; RUIZ, M. F.; MUTTONI, A. Experimental research on Textile Reinforced Concrete for the development of design tools. p. 1–8, 2018.
- [10] VLACH, T. et al. Soft Insert for Support Modeling of Slightly Textile Reinforced Concrete. *Key Engineering Materials*, v. 760, p. 158–163, 2018.
- [11] WILLIAMS PORTAL, N.; NYHOLM THRANE, L.; LUNDGREN, K. Flexural behaviour of textile reinforced concrete composites: experimental and numerical evaluation. *Materials and Structures*, v. 50, n. 1, p. 4, 2017.
- [12] YAO, Y. et al. Tension stiffening in textile-reinforced concrete under high speed tensile loads. *Cement and Concrete Composites*, v. 64, p. 49–61, 2015.
- [13] VALERI, P.; RUIZ, M. F.; MUTTONI, A. Experimental research on Textile Reinforced Concrete for the development of design tools. p. 1–8, 2018.



ABESC

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DAS EMPRESAS DE
SERVIÇOS DE CONCRETAGEM

A ABESC parabeniza a
Revista Concreto & Construções
por sua centésima edição e
por sua enorme contribuição
para o desenvolvimento da
engenharia brasileira.