

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LARISSA FONTOURA NUNES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE BARRA E FIBRAS DE AÇO NO
CONCRETO SUBMETIDO À TRAÇÃO**

**Alegrete
2015**

LARISSA FONTOURA NUNES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE BARRA E FIBRAS DE AÇO NO
CONCRETO SUBMETIDO À TRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Luis Eduardo Kostascki

Coorientador: Ederli Marangon

**Alegrete
2015**

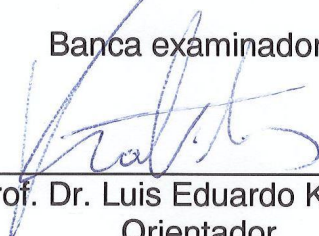
LARISSA FONTOURA NUNES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE BARRA E FIBRAS DE AÇO NO
CONCRETO SUBMETIDO À TRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 07, de julho de
2015.

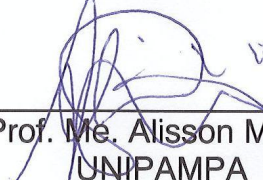
Banca examinadora:



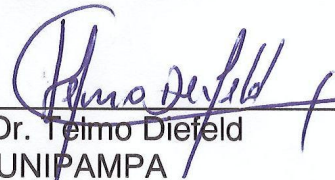
Prof. Dr. Luis Eduardo Kostaschi
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Ederli Marangon
Coorientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Alisson Milani
UNIPAMPA



Prof. Dr. Telmo Diefeld
UNIPAMPA

AGRADECIMENTO

A Deus, por estar sempre a meu lado nos momentos em que mais precisei, me lembrando de que essa vida é uma pequena parcela de toda a eternidade e que somos meros aprendizes, em busca de evolução. Por renovar minhas forças e disposição, para que fosse possível o término dessa etapa da minha vida.

A minha mãe, Clarissa, por seu total apoio, por sua preocupação, dedicação, amor, paciência, companheirismo, amizade, e por todas as vezes que me escutou e me incentivou a seguir em frente. Obrigada mãe, por ser a minha melhor amiga, por estar comigo em todos os momentos possíveis, tanto na companhia do mate, quanto nas ajudas no laboratório, não existe mãe como tu. Não mediste esforços para me ajudar, se não fosse por ti, com certeza eu não teria chegado até aqui.

A minha irmã, Camila, por ser esse exemplo de pessoa, mesmo sendo a caçula, sempre tem uma palavra amiga e suas ideias muito bem formadas. Obrigada pelo apoio, por estar do meu lado até nos meus mais difíceis. Obrigada por não ter pensado duas vezes em passar tardes inteiras no laboratório me ajudando.

Ao meu irmão, Lucas, pelo exemplo de acadêmico estudioso, pelo apoio.

Ao meu pai, Jorge, que mesmo não estando mais entre nós, foi parte essencial da minha formação como pessoa. Obrigada pai, por todos os dias que puxou minha orelha, por ter me ensinado a gostar de estudar, por ter feito parte da minha vida e ter me passado a tua paixão pela construção civil. Eu te disse que um dia eu seria engenheira, e aqui estou.

A toda a minha família, que de alguma maneira colaborou para que eu chegasse até aqui.

A minha tia Ju, um exemplo de ser humano, que tem o coração enorme. Obrigada Juquina, por estar me apoiar sempre.

Ao tio Ruy, pelo apoio não só na vida acadêmica, mas na vida pessoal. Obrigada por estar do meu lado quando mais precisei.

Aos meus tios Bi e Jesse, sei que torcem pelo meu sucesso. Obrigada pelo incentivo de vocês.

Ao meu padrinho Neneco, pela convivência nesses últimos anos e pelo total apoio.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Ederli Marangon, pelo incentivo, pela paciência, por estar disponível sempre que precisei. Obrigada por ter feito parte de uma das mais importantes etapas da minha graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luis Eduardo Kostas, pelo paciente trabalho de revisão e orientação. Agradeço-lhe também por ter feito parte dessa etapa final da minha graduação.

A Raquel Machado, técnica do laboratório de engenharia civil, por ter me ajudado em todas as tarefas realizadas no laboratório, desde a concretagem até os ensaios intermináveis realizados em uns dos dias mais frios do ano.

Ao Engenheiro Marcelo Dias, que também me ajudou muito na etapa em que precisei utilizar o laboratório.

A toda equipe da Construtora Sotrin, onde fiz estágio, por ter me proporcionado o contato com a prática da Engenharia Civil. Obrigada aos colegas, Maiane, Carol, Lu, Suelen, Sabrina, Gisa, Lucas, seu Nilton, Adriana, Rose, Angélica, pela convivência nesses dois anos.

A Joce, por ter me apoiado a iniciar o estágio na construtora. Muito obrigada.

A minha orientadora do estágio na construtora, Eng. Me. Eduarda Trindade, pelo seu exemplo como profissional, pela paciência em épocas de prova.

Aos Mestres de Obra que tive a oportunidade de conviver, seu Aurivaldo e seu Milton, por terem compartilhado suas experiências comigo.

Aos colegas de graduação. Principalmente ao Luis Urbano, a Michele Bianchini, a Helen Vieira, a Rosiele Jardim e ao Luis Morales, pelas tardes/madrugadas de estudo e convivência em toda a graduação.

A todos os docentes do curso de Engenharia Civil, obrigada pela dedicação de todos vocês, pela troca de experiências e conhecimento, que foram de suma importância não só na minha vida acadêmica, como também na minha vida pessoal.

A todos os professores, técnicos e funcionários da UNIPAMPA, que de uma maneira ou de outra contribuíram na minha vida acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da modificação no comportamento do concreto convencional submetido à tração quando são adicionadas barras de aço ou fibras na sua composição. Para este propósito foram realizados ensaios de tração axial em corpos de prova apenas com a matriz de concreto, com concreto reforçado com diferentes diâmetros de barra de aço e diferentes teores de fibra de aço e, finalmente, com reforço de barra de aço e fibra. Os ensaios foram realizados na máquina EMIC GR048, com capacidade máxima de 200kN e a velocidade dos ensaios foi de 0,2mm/s. Obteve-se como resultado dos ensaios uma resistência média de 1,57 Mpa para a matriz de concreto e de 2,68, 6,04 e 6,59 Mpa, para os concretos reforçados com barra de $\phi 5$ mm, $\phi 8$ mm e $\phi 10$ mm, respectivamente. Já para os concretos reforçados com fibra, houve uma diminuição da resistência à tração conforme o aumento do teor de fibra, o que não era esperado. Porém não foi encontrada uma explicação teórica para esses resultados. Concluiu-se que o concreto reforçado com barra de $\phi 8$ mm foi o que apresentou o melhor desempenho à tração comparado aos outros concretos reforçados com barra, para o caso do corpo de prova em estudo. E que as fibras em geral, fizeram com que as tensões se concentrassem em apenas uma fissura, fazendo com que a carga diminuísse de maneira menos brusca comparada aos outros tipos de reforço.

ABSTRACT

This research aims to study the change in conventional concrete behavior subjected to tensile when steel bars or fibers are added. For this purpose were tested specimens with the concrete matrix, concrete reinforced with steel bar with different diameters and different rate of steel fiber, and finally with concrete reinforcing by fiber and steel bar. The tests were realized in FDMS GR048 machine with a capacity of 200 kN and the test speed was 0.2 mm/s. Was obtained as a result of the tests an average strength of 1.57 MPa for the concrete matrix and 2.68, 6.04 and 6.59 MPa, for concrete reinforced with diameter bar of ϕ 5 mm bar, ϕ 8 mm and ϕ 10 mm, respectively. For the fiber reinforced concrete, there was a decrease in tensile strength with increasing fiber content, which was not expected. But it was not found a theoretical explanation for these results. It was concluded that the concrete reinforced with ϕ 8 mm bar showed the best performance to tension, compared to reinforced concrete with others diameters of bar, to the case of the specimen under study. The strain, in the case of fiber reinforced concrete, was concentrated in only one crack, causing a decrease of the load less abruptly compared to other types of reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ensaio para determinação de resistência à tração	16
Figura 2 – Disposição do corpo de prova no ensaio de compressão diametral	17
Figura 3 – Dispositivo de flexão, ensaio de tração na flexão	19
Figura 4 – Ensaio de tração na flexão	20
Figura 5 – Gráfico tensão <i>versus</i> deformação do concreto tracionado	21
Figura 6 – Esquema de concentração de tensões para um concreto simples (a) e comeforço de fibras (b)	22
Figura 7 – Gráfico carregamento <i>versus</i> deflexão	23
Figura 8 – Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração direta, dimensões em mm	25
Figura 9 – Corpo de prova ensaiado à tração direta	27
Figura 10 – Chapas de aço e parafusos no corpo de prova.....	28
Figura 11 – Ensaio de tração no tecido	30
Figura 12 – Ensaio de tração no CP	30
Figura 13 – Fôrma de madeira	31
Figura 14 – Dimensões do corpo de prova (dimensões em mm)	32
Figura 15 – Primeira concretagem, abatimento 120 mm	33
Figura 16 – Segunda concretagem, abatimento 160 mm	35
Figura 17 – Terceira concretagem, abatimento 180 mm	35
Figura 18 – Quarta concretagem, abatimento 180 mm	35
Figura 19 – Suporte utilizado na realização dos primeiros testes	35
Figura 20 – Chapas de aço presas à parte superior da máquina	36
Figura 21 – Máquina utilizada para os ensaios de tração direta	36
Figura 22 – Fissuras nos corpos de prova CP2_5mm e CP3_5mm	38
Figura 23 – Fissuras nos corpos de prova CP1_5mm e CP3_5mm	39
Figura 24 – Fissuras nos corpos de prova CP1_5mm, CP2_5mm e CP3_5mm.....	40
Figura 25 – Gráficos tensão x deformação – CP's reforçacos com: a) 0,15%; b) 0,30% e c) 0,45% de fibra.....	43
Figura 26 – exemplos de CP's reforçados com: a) 0,15% de fibra, b) 0,30% de fibra e c) 0,45% de fibra.....	43

Figura 27 – Fissuras nos corpos de prova CP1_0,15%_8mm CP2_0,15%_8mm e CP3_0,15%_8mm.....**46**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensão do corpo de prova e materiais de reforço	24
Tabela 2 – Resistência do concreto à compressão e características da fibra de aço.....	25
Tabela 3 – Traço dos dois materiais para um volume de 1m ³	25
Tabela 4 – Especificações dos corpos de prova	27
Tabela 5 – Traço da argamassa	29
Tabela 6 – Resistência à flexão e compressão	29
Tabela 7 – Resistência à tração da matriz de concreto	37
Tabela 8 – Resistência à compressão da matriz de concreto	37
Tabela 9 – Tensões médias, desvio padrão de coeficiente de variação dos CP's reforçados com barra de 5, 8 e 10mm	41
Tabela 10 – Tensões médias, desvio padrão e coeficiente de variação dos CP's matriz e com diferentes teores de fibra	42
Tabela 11 – Tensões médias, desvio padrão de coeficiente de variação dos CP's reforçados 0,15% de fibra e barra de ϕ 8mm e os apenas com barra de ϕ 8mm	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP – Corpo de prova

$f_{ct,sp}$ – Resistência à tração por compressão diametral

$f_{ct,f}$ – Resistência à tração na flexão

ρ_s – Taxa de aço

f_{sy} – Resistência de cálculo do aço

f_{su} – Resistência última do aço

E_s – Módulo de elasticidade do aço

σ_{fu} –

V_f – Volume de fibra

f'_{c} – Resistência à compressão do concreto

LVDT – Do inglês *Variable Differential Transformar* ou Transformador Diferencial
Variável Linear

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2.2 Justificativa	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Ensaio de tração no concreto	16
2.1.1 Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – NBR 7222 (ABNT – 2010)	17
2.1.2 Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos – NBR 12142 (ABNT, 2010).....	18
2.2 Propriedades do concreto convencional quando submetido à tração	21
2.3 Propriedades do concreto convencional com fibras de aço, quando submetido à tração	21
2.4 Propriedades do concreto convencional com barra de aço, quando submetido à tração	22
2.5 Propriedades do concreto convencional com fibra e barra de aço, quando submetido à tração.....	24
2.6 Alguns trabalhos experimentais que usaram ensaio de tração direta no concreto	26
2.6.1 Billington <i>et al</i> (2012).....	26
2.6.2 Colombo <i>et al</i> (2012).....	28
3 METODOLOGIA	31
3.1 Corpos de prova.....	31
3.1 Cofecção do concreto e moldagem dos corpos de prova	32
3.1.1 Materiais.....	34
3.2 Ensaio	35
4 ANÁLISES DOS RESULTADOS	37
4.1 Matriz de concreto.....	37
4.2 Concretos reforçados com barra de aço	38
4.2.2 Comparação entre os concretos reforçados com barra.....	40
4.3 Concretos reforçados com fibra	42

4.4 Concretos reforçados com 0,15% de fibra e barra de ϕ 8 mm	44
5 CONCLUSÕES	46
5.1 Pesquisas futuras	46
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

O concreto possui características que fazem dele o material estrutural mais utilizado do mundo (FIGUEIREDO, 2011). Uma das principais causas é sua constituição como material cerâmico, cuja matéria prima existe em praticamente todos os lugares do planeta. As vantagens inerentes a esse material fazem-no carro-chefe na construção civil, adaptando-se a todos locais e circunstâncias em vista de suas propriedades, como versatilidade, durabilidade e desempenho, que proporcionam vida útil adequada às construções a um custo competitivo com outros materiais estruturais (ISAIA, 2011).

Apesar das vantagens que o concreto possui, ele tem uma série de limitações, como o comportamento frágil e a baixa capacidade de deformação apresentada antes da ruptura quando o material é tracionado (FIGUEIREDO, 2011). Assim, o concreto possui uma boa resistência à compressão, porém baixa resistência à tração, cerca de 10% da resistência à compressão. É um material com pouca ductilidade à tração, ou seja, pouca possibilidade de deformação. Para melhorar este último aspecto, o que comumente se faz é adicionar a ele uma estrutura de aço que absorve os esforços de tração, permitindo que a peça apresente uma deformação antes da ruína (OLIVEIRA, 2007).

Outra forma de aumentar a ductilidade do concreto é a inserção de fibras em sua mistura. Estas fibras, que podem ser de aço, amianto ou também fibras naturais, além do aumento da ductilidade do material, auxiliam na resistência à tração, controlam o processo de fissuração, retardando o surgimento da primeira fissura e prolongando seu período de propagação, aumentam a capacidade de dissipar energia do material e, em alguns casos, aumentam também a sua força última à tração (OLIVEIRA JR, 2007).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é o estudo da modificação no comportamento do concreto convencional submetido à tração quando são adicionadas barras de aço ou fibras na sua composição.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são enumerados a seguir:

- a) Quantificar o comportamento do concreto convencional, quando submetido à tração por intermédio de um ensaio de tração direta.
- b) Estudar a influência de barras de aço de diferentes diâmetros no comportamento do concreto convencional, quando submetido à tração.
- c) Estudar a influência de fibras de aço no comportamento à tração do compósito utilizando uma matriz de concreto convencional.
- d) Analisar a forma em que são modificadas as propriedades à tração do concreto reforçado com uma combinação de fibras e barras de aço de diferentes diâmetros em uma matriz de concreto convencional.
- e) Verificar as aberturas de fissura

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar de ser um dos materiais mais usados do mundo, o concreto tem algumas limitações. No entanto, existem algumas formas de melhorar estas características, como foi mencionado na introdução.

Um dos motivos para a escolha do tema deste trabalho é o fato de ainda não haver sido suficientemente demonstrada a melhoria que o uso de fibras de aço em conjunto com barras de aço podem proporcionar ao concreto, ou seja, as mudanças das propriedades que esses materiais podem conferir ao concreto.

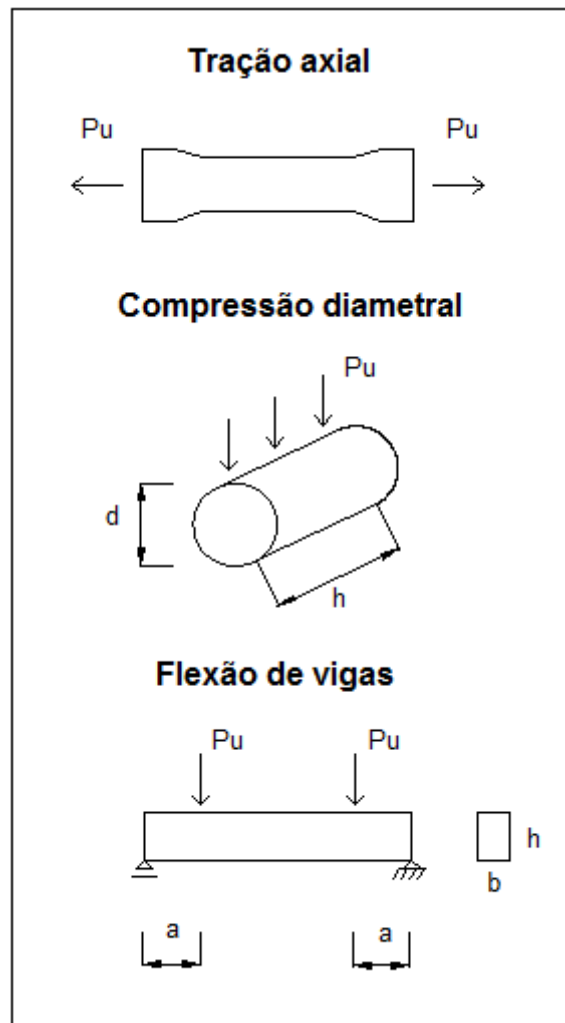
Outro motivo é a importância de saber o que altera cada tipo de reforço nas mudanças dessas propriedades, sendo possível saber qual a melhor opção para cada situação na engenharia civil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ensaio de tração no concreto

A resistência à tração do concreto pode ser determinada por três diferentes ensaios: ensaio de tração axial, ensaio de compressão diametral ou ensaio de flexão, mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Ensaio para determinação de resistência à tração



Fonte: Araújo, 2003, p. 9

O ensaio de tração axial é de difícil execução e ainda não há norma para esse ensaio no Brasil, no entanto ele é usado por vários pesquisadores, cada um com sua maneira de executá-lo. Alguns desses trabalhos serão apresentados ainda nesse capítulo.

Os ensaios de compressão diametral e flexão são regidos pela ABNT NBR 7222:2010 e ABNT NBR 12142:2010, respectivamente, e serão descritos nos tópicos a seguir.

2.1.1 Determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – NBR 7222 (ABNT - 2010)

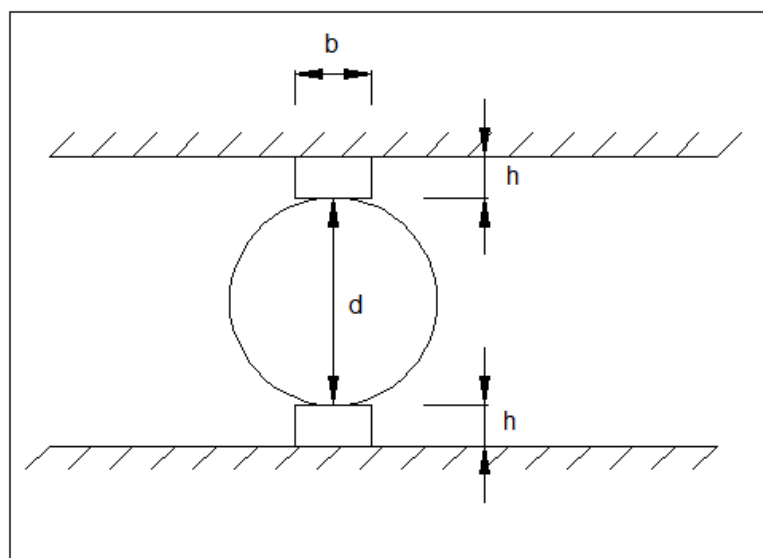
Essa norma prescreve o método para determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassa e concreto.

A aparelhagem utilizada para a realização do ensaio é a mesma definida para realização de ensaios de resistência à compressão, conforme NBR 7215 e NBR 5739.

Os corpos de prova devem ser moldados e curados conforme NBR 7215 e NBR 5738, e o contato dos mesmos com o prato da máquina de ensaio deve dar-se somente ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas do corpo de prova.

O ensaio consiste em colocar o corpo de prova, de modo que fique em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina de compressão e logo colocar, entre os pratos e o corpo de prova em ensaio, duas tiras de chapa dura de fibra de madeira conforme especificado na NBR 10024, de comprimento igual ao da geratriz do corpo de prova e seção transversal com as dimensões da figura a seguir.

Figura 2 – Disposição do corpo de prova no ensaio de compressão diametral



Fonte: NBR 7222 – (ABNT, 2010)

Em que:

$$b = (0,15 \pm 0,01) d$$

$$h = (3,5 \pm 0,5) \text{ mm}$$

Devem-se ajustar os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo de prova. A carga deve ser aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s, até a ruptura do corpo de prova.

A resistência à tração por compressão diametral é calculada pela seguinte expressão:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot L} \quad \dots(1)$$

Em que:

$f_{ct,sp}$ = Resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa, com aproximação de 0,05

F = carga máxima obtida no ensaio (kN)

d = diâmetro do corpo de prova (mm)

L = altura do corpo de prova (mm)

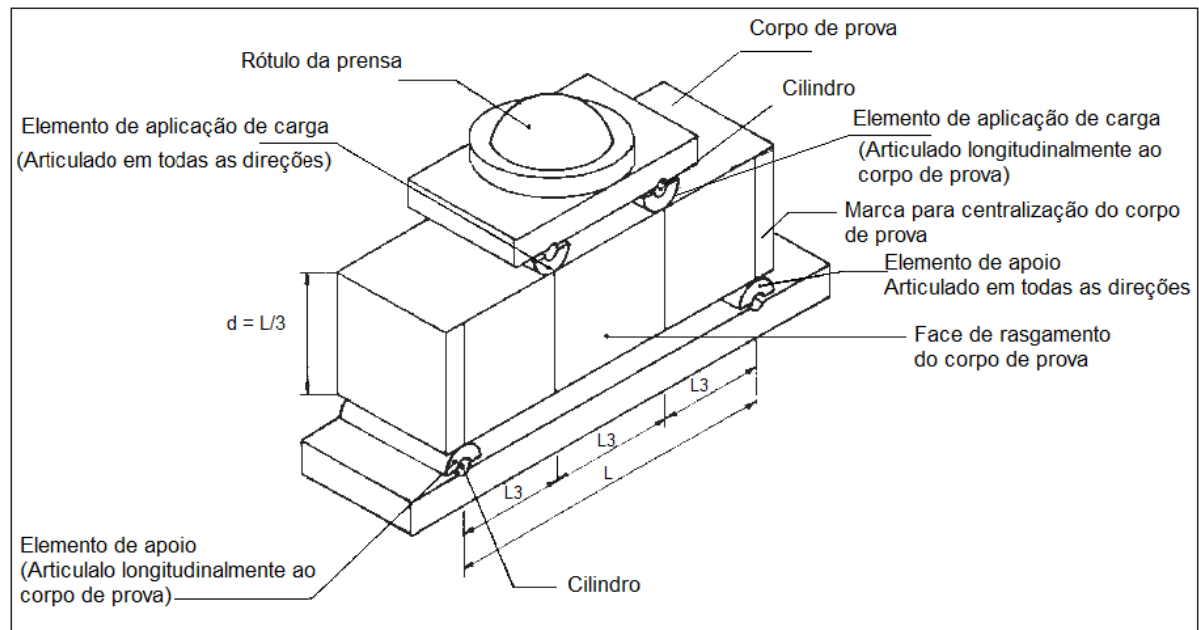
2.1.2 Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos – NBR 12142 (ABNT, 2010)

Essa norma prescreve o método para determinar a resistência à tração na flexão de concreto usando corpo de prova prismático, moldado e curado conforme a MB-2 (Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos – Procedimentos), que recebe carregamento nos terços do vão.

A máquina de ensaio pode ser de classe I, II ou III, conforme a MB-882 (Máquina de ensaio de tração e compressão – Verificação – Método de ensaio), de acordo com a aplicação, ou seja, laboratório de referência, laboratório de ensaio ou laboratório de campo.

A máquina deve ser equipada com dispositivo de flexão que assegure a aplicação da carga ao corpo de prova perpendicularmente às suas faces superior e inferior e sem excentricidade, como se pode ver na figura 3.

Figura 3 – Dispositivo de flexão, ensaio de tração na flexão



Fonte: NBR 12142 – (ABNT, 2010)

O procedimento do ensaio consiste em:

- Apoiar e centralizar o corpo de prova no dispositivo de carregamento, assim como o dispositivo na máquina de ensaio. O corpo de prova deve ser posicionado como mostrado na Figura 2.
- Iniciar o acionamento e verificar que a carga indicada seja nula até o momento que o corpo de prova entre em contato com os elementos de aplicação de carga.
- Carregar o corpo de prova, continuamente e sem choques, com crescimento constante a uma velocidade de (0,9 a 1,1) MPa/min, até a ruptura;
- Determinar, na seção de ruptura, a altura e a largura média (média de três determinações) do corpo de prova, utilizando paquímetro, com aproximação de 0,1mm para corpos de prova com dimensão básica de 150mm e 250mm, conforme a MB-2, e com outro instrumento que permita uma aproximação de 1mm, para corpos de prova com dimensão básica de 450mm.

Caso a ruptura ocorra no terço médio da distância entre os elementos de apoio, se calcula a resistência à tração na flexão pela seguinte expressão:

$$f_{ct,f} = \frac{F l}{b h^2} \quad \dots(2)$$

Em que:

$f_{ct,f}$ = resistência à tração na flexão, em MPa

F = carga máxima aplicada, em N

l = distância entre cutelos de suporte, em mm

b = largura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm

h = altura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de l (Figura 4), calcular a resistência à tração na flexão pela expressão:

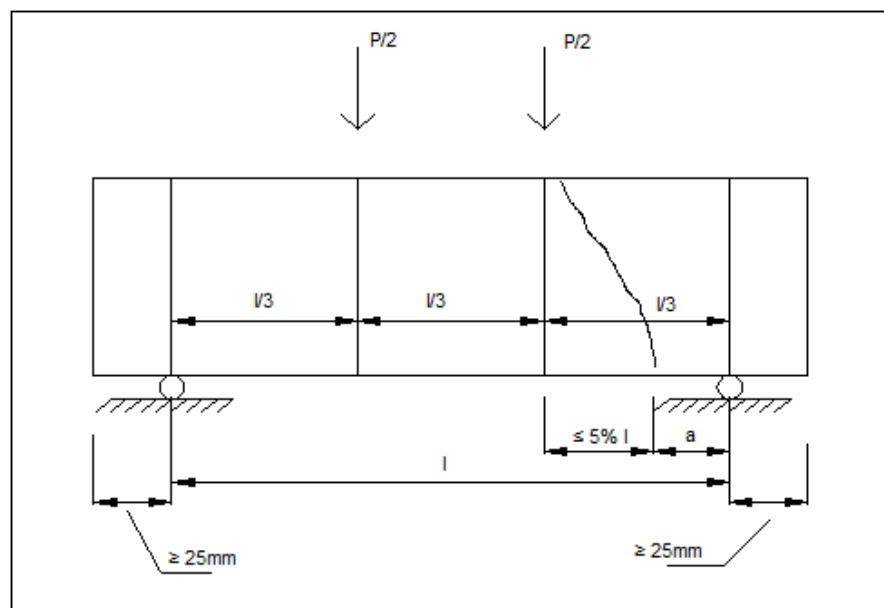
$$f_{ct,f} = \frac{3 F a}{b h^2} \quad \dots(3)$$

Em que:

a = distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, obtida com aproximação de 1mm, mediante a tomada de, pelo menos, três medidas ($a \geq 0,283 l$)

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste superior a 5% de l , o ensaio não tem validade.

Figura 4 – Ensaio de tração na flexão



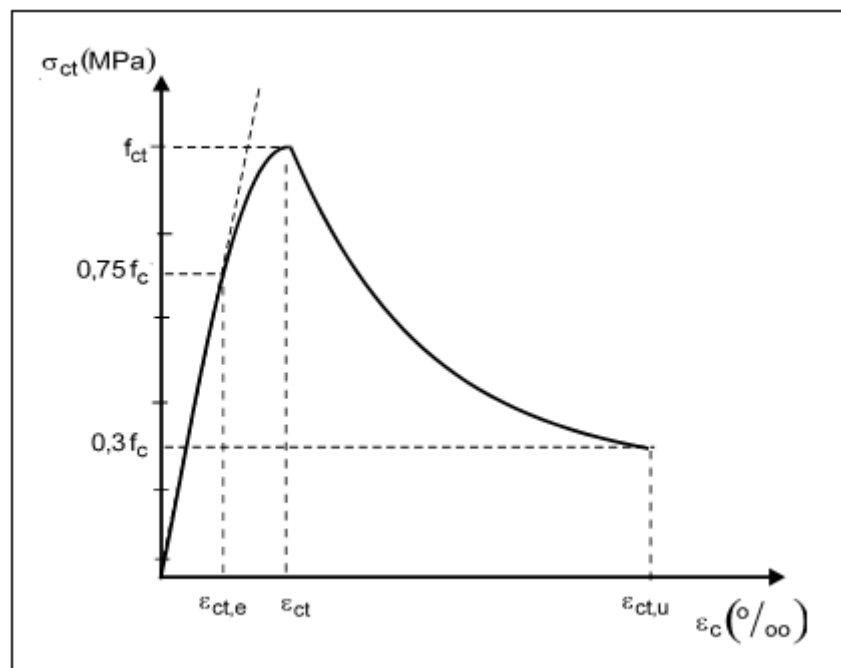
Fonte: NBR 12142 (ABNT, 2010)

2.2 Propriedades do concreto convencional quando submetido à tração

O concreto convencional quando tracionado apresenta um comportamento elástico linear até que sua resistência à tração seja alcançada. A partir do aparecimento das fissuras ele passa a comportar-se de forma não-linear. Segundo Oliveira Jr. (2007), surge, na fissura, um fenômeno localizado no qual se observam diminuições das tensões de tração com aumentos de deformações. Esse comportamento se relaciona com as propriedades de fratura do material. À medida que as deformações aumentam e a fissuração se desenvolve, a capacidade de transferência de esforços pela fissura vai diminuindo até que o mesmo se rompe de maneira brusca.

O gráfico mostrado na Figura 5 mostra o comportamento do concreto simples quando submetido à tração.

Figura 5 – Gráfico tensão *versus* deformação do concreto tracionado



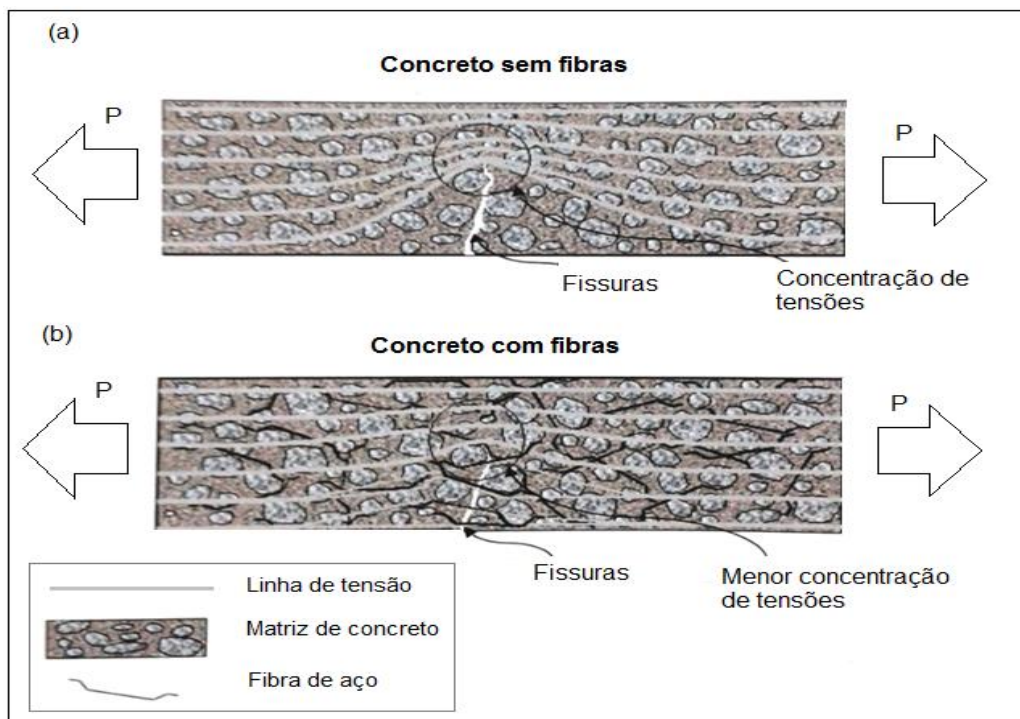
Fonte: Blog oficial Engenharia Civil da UESC, 2012

2.3 Propriedades do concreto convencional com fibras de aço, quando submetido à tração

O concreto reforçado com fibras é um concreto que contém cimento hidráulico, água, agregados e fibras discretas descontínuas. Fibras de várias formas e tamanhos produzidas de aço, plástico, vidro e materiais naturais vêm sendo usadas, contudo, a mais usada, para fins estruturais e não estruturais, é a fibra de aço (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

Quando se trata de concreto simples, a abertura de fissura irá representar uma barreira de propagação de tensões, representadas simplificada por linhas de tensão (Figura 6a). Essas linhas de tensão irão se concentrar nas bordas da fissura, e caso essa tensão seja maior que a resistência da matriz, ocorrerá a ruptura frágil do material. Quando se adicionam fibras de resistência e módulo adequado ao concreto num teor apropriado, esse material deixa de ter o comportamento marcadamente frágil. Isso ocorre pelo fato da fibra funcionar como uma ponte de transferência de tensões pelas fissuras, diminuindo a concentração das mesmas nas extremidades da fissura (Figura 6b). Com isso, tem-se uma grande diminuição de velocidade de propagação das fissuras e o material passa a comportar-se de maneira pseudo-dúctil ou não frágil. Ou seja, o concreto reforçado com fibras apresenta certa capacidade resistente após o aparecimento de fissuras, descaracterizando o comportamento frágil típico do material quando tracionado (FIGUEIREDO, 2011).

Figura 6 – Esquema de concentração de tensões para um concreto simples (a) e com reforço de fibras (b)

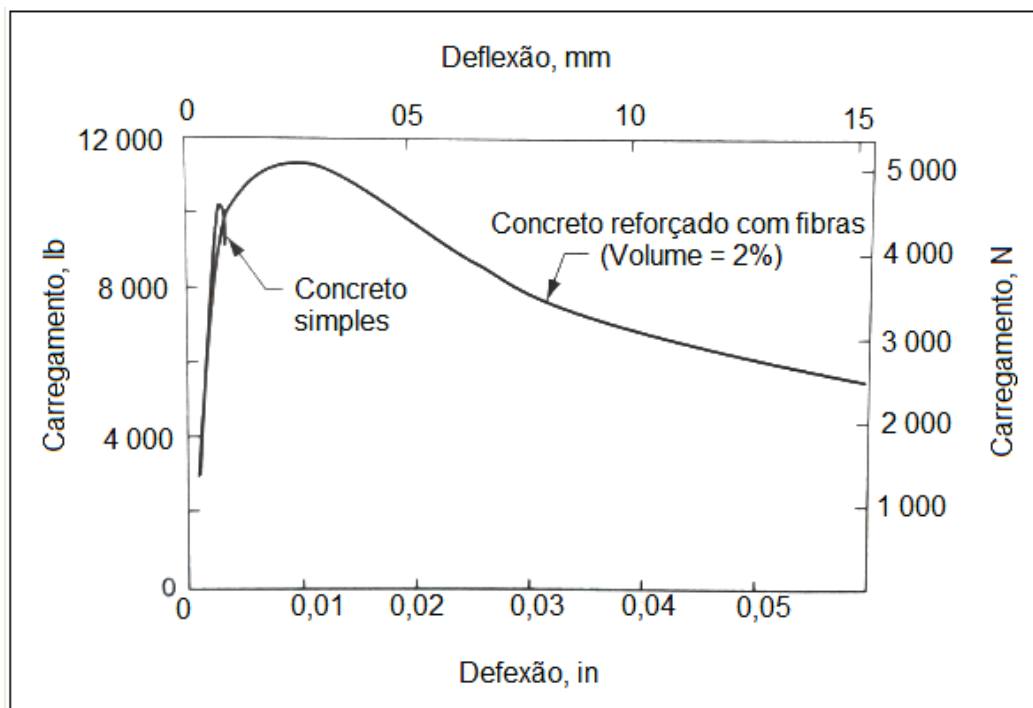


Fonte: Figueiredo, 2011, p. 1332

Na Figura 7 está mostrada a curva de carregamento x deflexão para o concreto simples e o concreto reforçado com fibras, obtidas em ensaios de ruptura por tração na flexão. O concreto simples rompe assim que a resistência de flexão é alcançada,

por outro lado, o concreto reforçado com fibras continua a suportar consideravelmente os carregamentos mesmo após a tensão ultrapassar a resistência à flexão suportada pelo concreto simples.

Figura 7 – Gráfico carregamento *versus* deflexão



Fonte: Mehta e Monteiro, 2006, p. 504

2.4 Propriedades do concreto convencional com barra de aço, quando submetido à tração

O concreto resiste muito pouco aos esforços de tração, e por essa razão, as normas de projeto de estruturas de concreto admitem que o aço seja o único a resistir tais esforços.

Nas estruturas de concreto armado tanto o aço quanto o concreto apresentam um comportamento elástico linear até que a resistência à tração do concreto seja alcançada, e o concreto comece a fissurar. A partir do momento que as fissuras se desenvolvem e se propagam, a capacidade resistente do concreto vai diminuindo e o aço passa a resistir gradativamente as tensões de tração que atuam na estrutura. Nos elementos estruturais de concreto armado fissurado, o concreto que se encontra entre duas fissuras consecutivas ainda está íntegro e submetido a estados de tensões nos quais a resistência à tração do concreto ainda não foi atingida. Assim, mesmo tendo sua resistência à tração desprezada, o concreto ainda é capaz de transmitir tensões de tração ao aço, graças à aderência entre eles. Quando a

capacidade resistente do aço também se esgota, ocorre a ruptura da estrutura, que se dá de maneira dúctil, devido à presença do aço (OLIVEIRA JR, 2007).

2.5 Propriedades do concreto convencional com fibra e barra de aço, quando submetido à tração

O comportamento do concreto reforçado com fibras (CRF), quando submetido à tração, é um tema que vem sendo estudado por vários pesquisadores nesses últimos anos, porém o comportamento do CRF em conjunto com o reforço tradicional (barra de aço), não foi ainda suficientemente demonstrado.

Deluce *et al* (2012) estudaram o comportamento do concreto reforçado com fibras contendo reforço convencional.

Para essa pesquisa um total de 60 corpos de prova, com 30 configurações diferentes foram ensaiados por tração direta (Tabela 1) e foram usados 6 misturas diferentes de concreto (Tabela 2).

Tabela 1 – Dimensão do corpo de prova e materiais de reforço

Designação do corpo de prova	Dimensões do CP (mm x mm)	Barra de aço				
		d_b (mm)	ρ_s (%)	f_{sy} (MPa)	f_{su} (MPa)	E_s (Gpa)
50/10	50x50	11,3	4,01	442	564	199
80/10	80x80	11,3	1,57	442	564	199
100/20	100x100	19,5	2,99	456	592	194
150/20	150x150	19,5	1,33	456	592	194
150/30	150x150	29,9	3,10	376	558	187
200/30	200x200	29,9	1,74	376	558	187

Fonte: Deluce *et al* (2012)

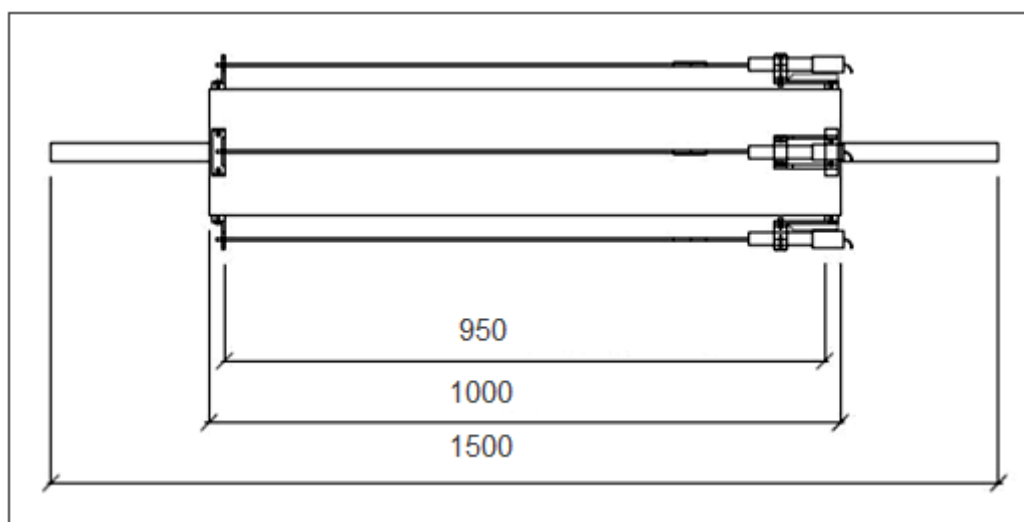
Tabela 2 – Resistência do concreto à compressão e características da fibra de aço

Tipo de concreto	Resistência à compressão do concreto (MPa)	Fibra de aço				
		Tipo de fibra	l_f (mm)	d_f (mm)	σ_{fu} (MPa)	V_f (%)
PC	91,7-95,6	-	-	-	-	-
FRC1	55,8-91,4	RC-80/30-BP	30	0,38	2300	0,5
FRC2	45,2-63,4	RC-80/30-BP	30	0,38	2300	1,0
FRC3	46,0-63,1	RC-80/30-BP	30	0,38	2300	1,5
FRC4	32,5-52,8	ZP 305	30	0,55	1100	1,5
FRC5	70,3-78,8	RL-45/50-BN	50	1,05	1000	1,5

Fonte: Deluce *et al* (2012)

O corpo de prova tinha um comprimento de 1000 mm e a barra de aço 1500 mm, passando 250 mm para cada lado (Figura 8).

Figura 8 – Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração direta, dimensões em mm



Fonte: Deluce *et al* (2012)

Foram utilizados quatro LVDTs (do inglês *Variable Differential Transformar* ou Transformador Diferencial Variável Linear) em cada corpo de prova, e foram ensaiados em um equipamento com capacidade de 100kN. O carregamento foi controlado a uma velocidade de 0,0015mm/s até aparecer a primeira fissura, e de 0,0025 à 0,004mm/s antes do aço escoar. O teste foi pausado periodicamente para marcar a localização das fissuras e suas espessuras. Os testes terminaram com uma media de abertura de fissura de 15 mm para os concretos do tipo “PC” e de 25 mm para os concretos FRC1 à 5, segundo os LVDTs.

Foi observado que novas fissuras eram formadas até o escoamento da barra de aço, e depois disso as deformações se localizavam em uma ou duas fissuras. As fissuras foram melhor distribuídas nos corpos de prova que apresentavam maior taxa de reforço e maior volume de fibras.

Os autores concluíram que uma considerável tensão de tração podia ser suportada pelo concreto reforçado com fibras, mesmo depois do começo do escoamento da barra de aço e que as fibras de aço controlam a abertura de fissura e reduzem o espaçamento entre elas.

2.6 Alguns trabalhos experimentais que utilizaram ensaios de tração direta

Neste tópico serão explicados estudos experimentais que utilizaram ensaios de tração direta, de forma similar à que será proposta neste trabalho.

2.6.1 Billington *et al* (2012)

O objetivo desse trabalho foi entender a interação do reforço convencional com o concreto de alta resistência reforçado com fibra, quando submetidos à tração.

Dois tipos de traços foram estudados (Tabela 3). Em um deles, foram utilizadas fibras de aço e fibras de polímeros com diferentes tamanhos e taxas, e o tamanho máximo do agregado graúdo foi de 9,5mm, chamado de HyFRC (do inglês *Hybrid Fiber Reinforced Concret* ou Concreto Híbrido Reforçado com Fibra). O outro traço, ECC (do inglês *Engineered Cementitious Composite* – sem tradução direta para o português), possuía 2% de fibras de polímeros, sem agregado graúdo. As especificações dos corpos de prova estão mostradas na Tabela 4.

Tabela 3 – Traço dos dois materiais para um volume de 1m³

Traço	Ligante (Kg)		Agregado (kg)		Água (Kg)	SP % ligante	AMV % ligante	Fibra de aço % volume		Fibra de polímero % volume	
	C	FA	M	G				60mm	30mm	8mm	12mm
	ECC	547	656	438				-	312	0,5	0,11
HyFRC	484	-	808	743	220	0,16	-	0,8	0,5	0,2	-

Fonte: Billington *et al* (2012, p. 263)

Tabela 4 – Especificações dos corpos de prova

Nome do corpo de prova	Traço	Reforço	Número de Corpos de Prova	$f'c$ (MPa)
ECC3-4	ECC-init	12,7mm	4	53
ECC3-4	ECC	12,7mm	4	49,6
SCHy3-4	SC-HyFRC	12,7mm	2	31,3
Hy3-4	HyFRC	12,7mm	2	40,3
ECC3	ECC	-	4	36,9
SCHy3	SC-HyFRC	-	2	31,3
Hy3	HyFRC	-	2	40,3

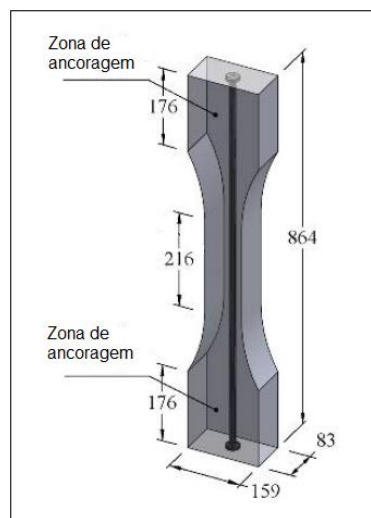
Fonte: Billington, 2012

O traço “ECC-init” é o mesmo “ECC”, porém com uma porcentagem diferente de superplastificante e o “SC-HyFRC” (do inglês *Self Consolidating-Hybrid Fiber Reinforced Concrete* ou Concreto Híbrido Reforçado com Fibras – Auto Adensável) é o mesmo “HyFRC” porém não tem a fibra de 60 mm inserida na sua mistura e é um concreto auto adensável.

Um total de 20 corpos de prova foram testados, com um equipamento com capacidade de 245 kN, com deslocamento controlado de 0,025 mm/s. Para medir os deslocamentos dos primeiros corpos de prova testados, foram usados dois LVDT's na região central, e para o restante, foram usados três LVDTs na mesma região.

Usou-se um corpo de prova na forma de “dogbone” (Figura 9) e para ensaiá-lo utilizaram chapas de aço e parafusos (Figura 10), como auxílio para conseguir prendê-lo à máquina, já que a mesma não possuía um dispositivo para prender o corpo de prova com as dimensões que eles queriam.

Figura 9 – Corpo de prova ensaiado à tração direta, dimensões em mm



Fonte: Billington *et al* (2012), p. 265

Figura 10 – Chapas de aço e parafusos no corpo de prova



Fonte: Billington *et al*, 2012, p. 266

Para os corpos de prova “ECC”, foi observado que as deformações se localizaram em duas fissuras. Já para os corpos de prova “SC-HyFRC” e “HyFRC”, foram observadas várias fissuras, mesmo depois de ser alcançada a tensão de escoamento do aço. Em todas as amostras, as rupturas ocorreram quando o reforço, localizado na região da maior fissura, não resistiu mais.

2.6.2 Colombo *et al* (2012)

O objetivo dessa pesquisa foi analisar a influência na resistência à tração na argamassa, quando inseridas diferentes taxas de fibra têxtil, e a ductilidade do compósito.

A argamassa utilizada na pesquisa foi de alta resistência. O tamanho máximo do agregado foi de 600 μ m. O traço da argamassa e suas propriedades mecânicas estão resumidos na tabela 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 – Traço da argamassa

Componentes	Volume (kg/m ³)
Cimento	600
Areia 0 - 600 μ m	957
Água	209
Superplastificante	55,8

Fonte: Colombo *et al* (2012)

Tabela 6 – Resistência à flexão e compressão

Corpo de prova	f_{ctf} [MPa]	$f'c$ [MPa]
N1	13,82	98,69 114,29
N2	17,45	103,23 107,47
N3	14,46	89,74 102,61
Média	15,24	102,67
STD	1,94	8,26
STD %	12,73	8,05

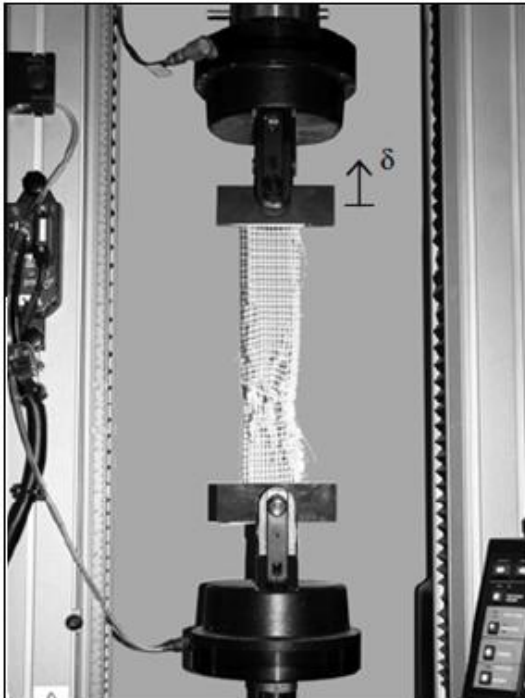
Fonte: Colombo *et al* (2012)

Foram realizados dez ensaios com uma prensa eletromecânica (INSTRON 5867) para determinar as características mecânicas do tecido (Figura 8). Os tecidos tinham dimensões de 400mm x 70mm e foram presos à máquina por meio de uma espécie de fita adesiva. A velocidade do ensaio foi controlada mantendo-se a 1,67mm/s.

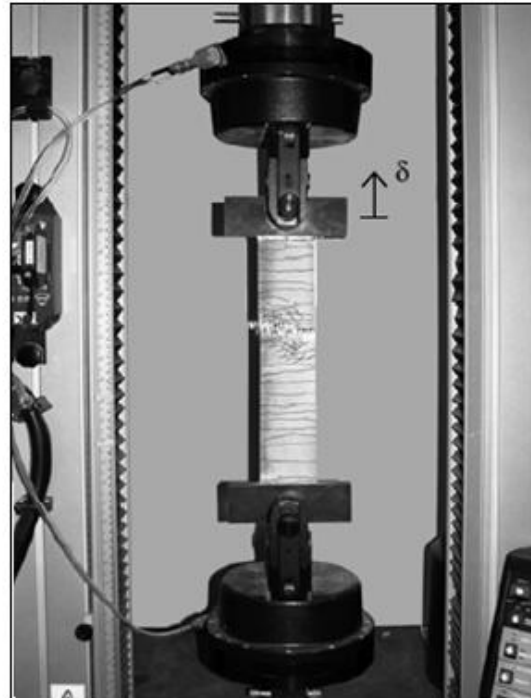
Os corpos de prova tinham as dimensões de 400mm x 70mm x 55mm e para a sua confecção foi usada a argamassa de alta resistência e diferentes espessuras de tecido, que variavam de 6 à 12mm. As diferentes espessuras, resumidas na tabela 6, foram conseguidas adicionando camadas do mesmo tecido.

O ensaio realizado nos corpos de prova foi o mesmo adotado para os tecidos (Figura 9), e foi usada uma cola para fixá-lo às placas de metal. A pressão utilizada para prender a ponta do corpo de prova foi de 0,4 MPa e o ensaio teve uma velocidade uniforme de 0,02mm/s. Para cada taxa de reforço, foram feitos três ensaios idênticos.

Figura 11 – Ensaio de tração no tecido Figura 12 – Ensaio de tração no CP



Fonte: Colombo *et al* (2012)



Fonte: Colombo *et al* (2012)

A tensão foi obtida dividindo o carregamento pela área da seção transversal do corpo de prova e a deformação foi estimada pela relação entre o alongamento do corpo de prova e seu comprimento inicial.

Os pesquisadores usaram taxas de reforço de 1,63, 2,54 e 3,3% e observaram que a distância entre as fissuras diminuiu quanto maior a taxa de reforço, assim como a resistência aumentou. No caso da taxa de 3,3% de fibra, a resistência à tração chegou a 25 MPa.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se o método para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Corpos de prova

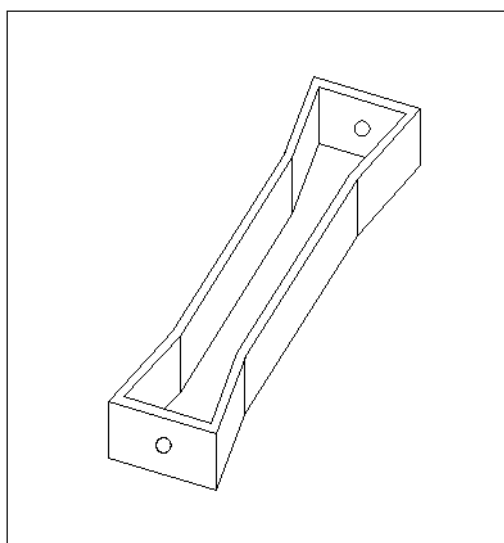
Os corpos de prova foram confeccionados no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, situado em Alegrete-RS.

Foram feitos 24 CP's. Três com concreto convencional e três para cada tipo de reforço, como citado a seguir:

- Com barra de aço de \varnothing 5mm
- Com barra de aço de \varnothing 8mm
- Com barra de aço de \varnothing 10mm
- Com 0,15% de fibra de aço
- Com 0,30% de fibra de aço
- Com 0,45% de fibra de aço

Os CP's foram moldados em forma de madeira. Para os que têm reforço com barra de aço, havia um furo centralizado nas duas laterais da forma (Figura 13), para que se conseguisse deixar a barra de aço bem no meio, evitando assim, excentricidade na hora do ensaio.

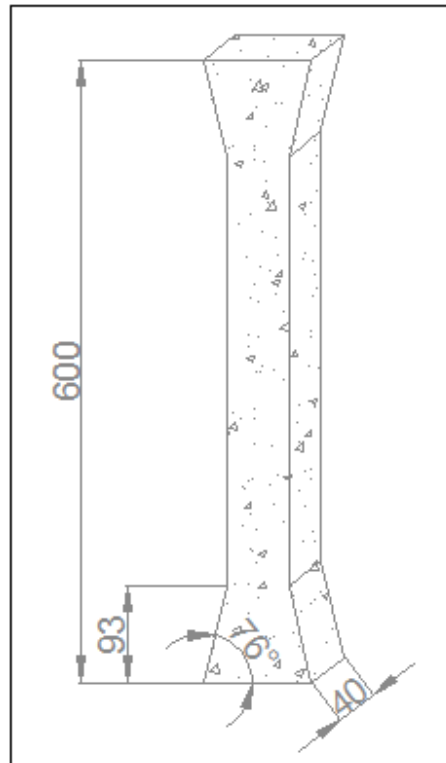
Figura 13 – Fôrma de madeira



Fonte: Elaboração própria

Os CP's têm a forma de “dogbone” de 60cm de comprimento, a seção transversal do meio do corpo de prova é retangular (6,0 cm x 4,0 cm), seu formato e demais dimensões estão ilustrados na Figura 14.

Figura 14 – Dimensões do corpo de prova (dimensões em mm)



Fonte: Elaboração própria

3.1.1 Confeção do concreto e moldagem dos corpos de prova

O traço utilizado para a confecção do concreto foi: 1 : 2,17 : 2,94 : 0,61 (traço em massa), e a porcentagem de superplastificante de 0,3% do cimento.

O concreto foi misturado em betoneira na seguinte ordem: brita 0, parte da água, cimento, areia e por fim o resto da água junto com o superplastificante. Para os concretos que tinham fibra na sua mistura, as mesmas foram adicionadas por último junto com os outros materiais.

Foram moldados na primeira semana de maio de 2015 os 24 (vinte e quatro) corpos de prova em formato “dogbone” (Figura 18) e três em formato cilíndrico apenas com a matriz de concreto, para a verificação da resistência à compressão. Os CP's prismáticos foram desmoldados após 48h e os cilíndricos após 24h conforme recomenda a NBR 5738:2003.

- Adensamento

CP's prismáticos: Como não há uma norma para adensamento de concreto em molde similar ao que foi utilizado, o mesmo foi feito com leves batidas na face externa da forma, até que se percebesse que as bolhas de ar pararam de sair.

CP's cilíndricos: Adensamento conforme NBR 5738:2003, onde diz que para corpos de prova com diâmetro de 100 mm, deverão ser feitas três camadas de volume aproximadamente igual, cada uma adensada com 25 (vinte e cinco) golpes.

- Cura:

Os corpos cilíndricos foram mantidos submersos durante os 28 dias após a concretagem e os prismáticos durante os primeiros 26 dias, sendo retirados da água dois dias antes para a colagem das chapas que auxiliaram no ensaio.

- Abatimento

A concretagem de todos os corpos de prova se deu em 4 (quatro) dias.

1ª concretagem: 3 CP's com barra de ϕ 5 mm

3 CP's com barra de ϕ 8 mm

3 CP's sem reforço

2ª concretagem: 3 CP's com barra de ϕ 10 mm

3ª concretagem: 3 CP's com 0,5 % de fibra

3 CP's com 1,0 % de fibra

3 CP's com 1,5 % de fibra

Para a primeira concretagem o concreto apresentou um abatimento de 120 mm (Figura 15), para a segunda o abatimento foi de 160 mm (figura 16), já para as outras concretagens o abatimento foi de 180 mm (Figura 17 e 18).

Figura 15 – Primeira concretagem, abatimento 120 mm



Fonte: Elaboração própria

Figura 16 – Segunda concretagem, abatimento 160 mm



Fonte: Elaboração própria

Figura 17 – Terceira concretagem, abatimento 180 mm



Fonte: Elaboração própria

Figura 18 – Quarta concretagem, abatimento 180 mm



Fonte: Elaboração própria

3.1.1 Materiais

Foram utilizados para a confecção do concreto, os seguintes materiais: Cimento CPIV, areia, brita 0 e água.

A fibra utilizada foi da marca DRAMIX, de 35mm de comprimento.

As barras utilizadas foram os vergalhões CA 50 da marca GERDAU.

A cola para a colagem das chapas de aço foi a Anchorbond, da marca Quartzolit.

3.2 Ensaio

Como não há uma norma para ensaio de tração direta no Brasil, para a realização dos ensaios necessários para o desenvolvimento deste trabalho, foram estudadas bibliografias, que realizaram o ensaio de tração axial de diferentes maneiras.

No começo dos testes para essa pesquisa, estava sendo utilizado um suporte feito de ferro maciço, chapas de aço e parafusos, que prendia a parte superior do corpo de prova à máquina (Figura 19), porém os resultados não foram satisfatórios devido a acomodação entre o corpo de prova e o suporte, no início do carregamento.

Figura 19 – Suporte utilizado na realização dos primeiros testes



Fonte: Elaboração própria

Então, de maneira similar à pesquisa realizada por Colombo et al (2002), citada no item 2.6.2, optou-se por utilizar chapas de aço (Figura 20) para prender o CP à parte superior da máquina, fixadas por meio de cola com base epóxi.

A máquina utilizada foi a EMIC DL 20000, com capacidade máxima de 200kN, ilustrada na Figura 21 e a velocidade do ensaio foi de 0,2mm/s.

A parte de baixo do corpo de prova tem as dimensões exatas da parte inferior da máquina, e, portanto, não foi necessário nenhum tipo de auxílio para prendê-lo.

Figura 20 – Chapas de aço presas à parte superior da máquina



Fonte: Elaboração própria

Figura 21 – Máquina utilizada para os ensaios de tração direta



Fonte: Elaboração própria

Os deslocamentos no meio do corpo de prova foram medidos com “clip gage” e para medir o deslocamento total, foi utilizado LVDT.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Matriz de concreto

Na tabela 7 estão apresentados os valores obtidos no ensaio de tração dos corpos de prova apenas com a matriz de concreto, assim como o desvio padrão (DV) e o coeficiente de variação (CV). Devido a um erro na hora do ensaio, o resultado do CP2_m foi perdido, portanto a média das tensões foi feita apenas com o resultado obtido pelos ensaios do CP1_m e CP3_m.

Tabela 7 – Resistência à tração da matriz de concreto

Matriz de concreto			
T e n s ã o	M P a	CP1_m	1,03
		CP2_m	-
		CP3_m	2,11
		Média =	1,57
	DP =	0,764	
	CV (%)=	48,64	

%

Fonte: Elaboração própria

Na tabela 8 estão os resultados dos ensaios realizados para a obtenção da resistência à compressão da matriz do concreto.

Tabela 8 – Resistência à compressão da matriz de concreto

Matriz de concreto			
T e n s ã o	M P a	CP1_m	24,50
		CP2_m	23,1
		CP3_m	22,50
		Média =	23,37
	DP =	1,026	
	CV (%)=	4,39	

%

Fonte: Elaboração própria

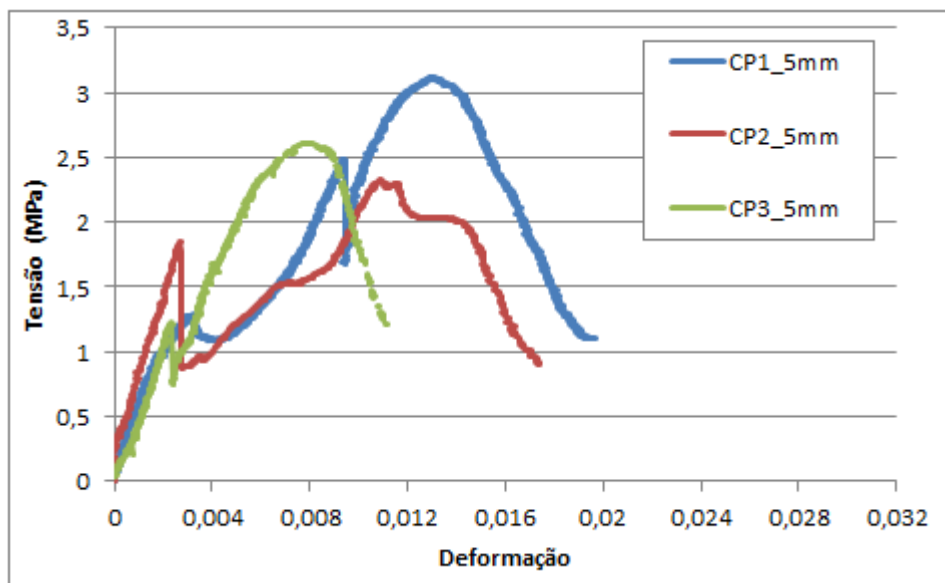
A média de resistência à tração foi de 7% da média de resistência à compressão, o que está dentro do esperado, já que normalmente a resistência à tração é cerca de 7 a 11% da resistência à compressão.

Os gráficos para a matriz de concreto não puderam ser plotados, pois houve um problema com a leitura do LVDT.

4.2 Concretos reforçados com barra de aço

Abaixo, a representação gráfica da tensão *versus* deslocamento (Gráfico 1) dos corpos de prova de concreto reforçado com barra de $\phi 5$ mm, onde se verifica que, em média, ao chegar na resistência da matriz de concreto, houve o aparecimento da primeira fissura e uma queda no carregamento e nos três casos a carga voltou a subir.

Gráfico 1: Tensão *versus* deformação – reforço com barra de 5 mm



Fonte: Elaboração própria

Os três corpos de prova apresentaram duas fissuras, sendo que uma delas se deu na parte inferior do corpo de prova, onde ele é preso diretamente na máquina, provavelmente por um acúmulo de tensões no ângulo formado pela seção retangular do meio do corpo de prova e a extremidade em forma de gravata.

Figura 22 – Fissuras nos corpos de prova CP2_5mm e CP3_5mm

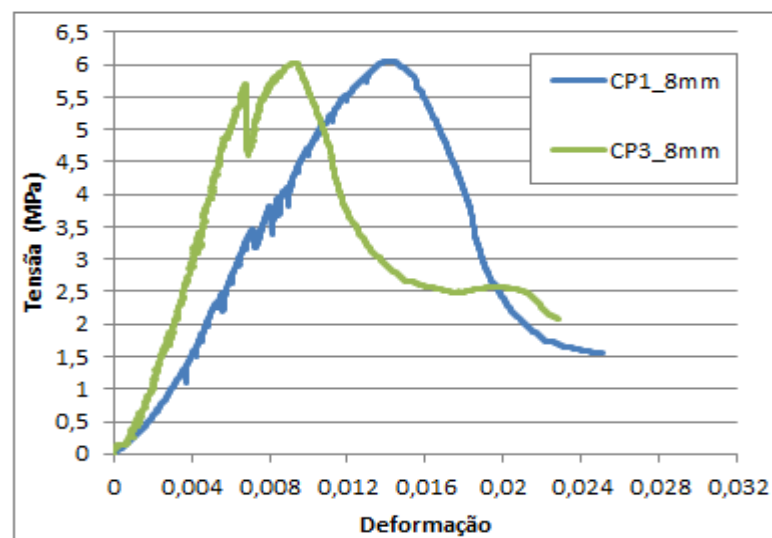


Fonte: Elaboração própria

Os CP's reforçados com barra de $\phi 8$ mm apresentaram uma resistência muito parecida, exceto por um dos corpos de prova, o CP2_8mm, que teve uma resistência muito mais baixa e por isso teve seu resultado descartado. As curvas referentes ao CP1_8mm e CP3_8mm aparecem no gráfico 2.

O começo da fissuração para esse tipo de reforço também ocorreu, em média, perto da resistência da matriz de concreto, e com o aparecimento de cada fissura o carregamento caiu e voltou a subir, porém não houve variações muito grandes no carregamento durante a fissuração, como foi o caso do concreto reforçado com barra de $\phi 5$ mm.

Gráfico 2: Tensão *versus* deformação – reforço com barra de 8mm



Fonte: Elaboração própria

Na figura 23, pode-se notar que o CP1_8mm e o CP3_8mm apresentaram fissuras bem distribuídas e em maior quantidade comparado aos reforçados com barra de $\phi 5$ mm, em média 5 (cinco) fissuras em cada corpo de prova, isso ocorreu provavelmente devido à uma melhor distribuição de tensões.

Figura 23 – Fissuras nos corpos de prova CP1_8mm e CP3_8mm

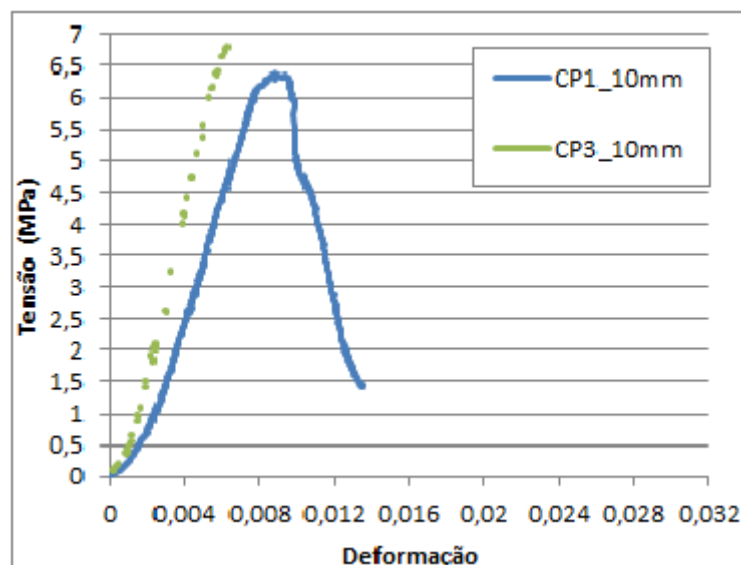


Fonte: Elaboração própria

O começo da fissuração para os corpos de prova reforçados com barra de $\phi 10$ mm também se deu por volta da média da resistência da matriz, só que a diferença nesse caso é que o carregamento foi mantido sem que houvesse queda com o aparecimento de cada fissura, como se nota no gráfico 3.

Na figura 24, observa-se que a fissuração também foi bem distribuída para esse tipo de reforço, e a quantidade foi, em média, 5 (cinco) fissuras para cada corpo de prova.

Gráfico 3: Tensão *versus* deformação – concreto reforçado com barra de $\phi 10$ mm



Fonte: Elaboração própria

Figura 24 – Fissuras nos corpos de prova CP1_10mm, CP2_10mm e CP3_10mm



Fonte: Elaboração própria

Os dados do CP2_10mm foram descartados por apresentar uma resistência bem menor comparada às obtidas no ensaio dos outros CP's. E no caso do CP3_10mm houve um erro no final do ensaio e os dados do LVDT foram perdidos, por essa razão não aparece o final da curva no gráfico.

4.2.2 Comparação entre os concretos reforçados com barra

Na tabela 9 pode-se ver a tensão máxima obtida nos ensaios de cada corpo de prova, assim como a média entre eles, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos resultados.

Tabela 9 – Tensões médias, desvio padrão de coeficiente de variação dos CP's reforçados com barra de 5, 8 e 10mm.

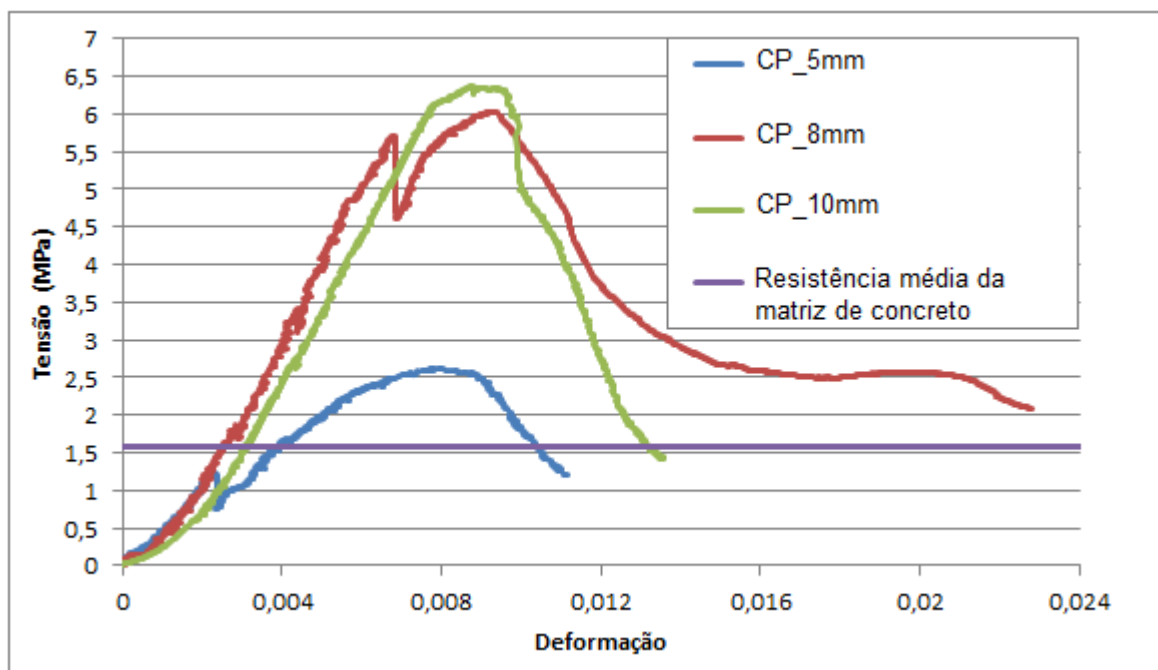
		Matriz de concreto	Diâmetro das barras		
			5mm	8mm	10mm
T e n s ã o	CP1	1,03	3,11	6,06	6,365
	CP2	-	2,33	-	-
	CP3	2,11	2,61	6,03	6,812
	Média =	1,57	2,68	6,04	6,59
	DP =	0,764	0,396	0,022	0,316
	CV (%)=	48,64	14,74	0,37	4,80

Fonte: Elaboração própria

Comparando a resistência média da matriz de concreto, houve um ganho de 70,7% para os CP's reforçados com barra de $\phi 5$ mm, sendo que a mesma não possui nervuras e de 285% para os CP's reforçados com barra de $\phi 8$ mm. Já para os corpos de prova reforçados com barra $\phi 10$ mm, o ganho de resistência foi de 320%. Não houve um ganho muito significativo se compararmos os CP's reforçados com barra de $\phi 8$ mm e $\phi 10$ mm. Isso pode ter ocorrido porque provavelmente a barra de $\phi 8$ mm é o diâmetro ideal para um bom desempenho à tração para as dimensões do corpo de prova em estudo e pode ser que para a barra de $\phi 10$ mm essas dimensões não são representativas.

No gráfico 7 é possível observar claramente o ganho de resistência dos CP's reforçados com barra de $\phi 5$ mm em relação a resistência média da matriz de concreto, e o ganho considerável de resistência dos CP's com barra de $\phi 8$ mm e 10mm em relação aos anteriores, assim como as resistências bastante próximas dos CP's reforçados com barra de $\phi 8$ e $\phi 10$ mm. As curvas mostradas nesse gráfico são os exemplos mais representativos para cada tipo de reforço.

Gráfico 7: Tensão *versus* deformação – curvas dos CP's reforçados com barra de $\phi 5$, $\phi 8$ e $\phi 10$ mm



Fonte: Elaboração própria

4.3 Concretos reforçados com fibra

Comparando as tensões médias (Tabela 10), houve um ganho de 57,32% na resistência em relação à matriz com o uso de 0,15% de fibra, já para os CP's

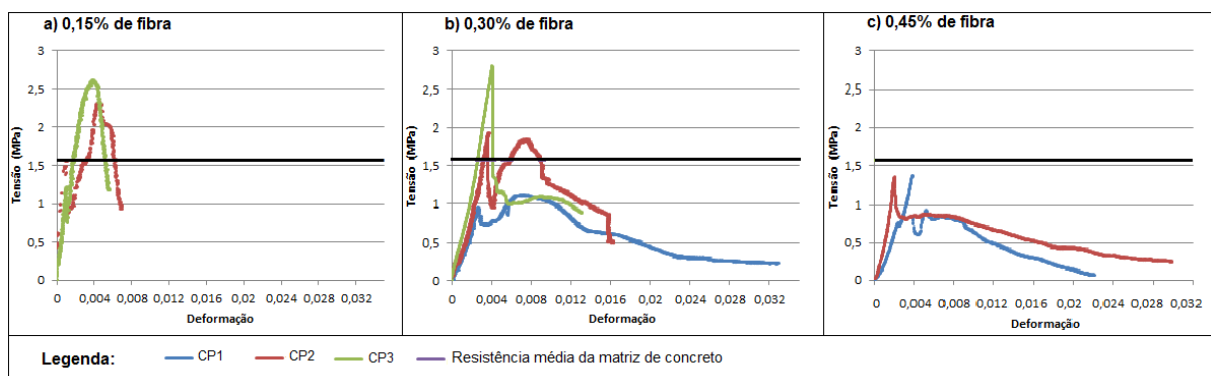
reforçados com 0,30% de fibra, o ganho foi de 24,2% e para os CP's com reforço de 0,45%, houve uma perda de 14,01% na resistência em relação à matriz.

Tabela 10 – Tensões médias, desvio padrão e coeficiente de variação dos CP's matriz e com diferentes teores de fibra

		Porcentagem de fibras			
		Matriz	0,15%	0,30%	0,45%
T e n s ã o	CP1	1,03	-	1,12	1,365
	CP2	-	2,33	1,93	1,342
	CP3	2,11	2,61	2,80	-
	Média =	1,57	2,47	1,95	1,35
	DP =	0,764	0,202	0,84	0,0163
	CV (%)=	48,64	8,17	43,16	1,21

Fonte: Elaboração própria

Figura 25 – Gráficos tensão *versus* deformação – CP's reforçados com: a) 0,15%; b) 0,30% e c) 0,45% de fibra

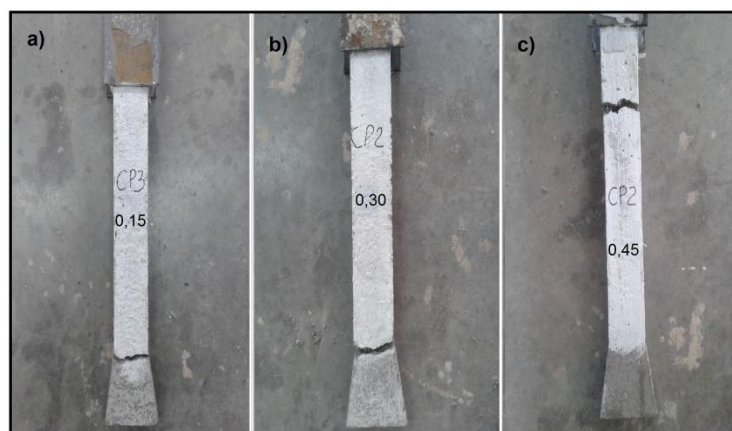


Fonte: Elaboração própria

Nota-se, que apesar do ganho de resistência com o uso de 0,15% de fibra em relação à matriz, a resistência foi baixando conforme o aumento do teor de fibras. O que se esperava, era que ao aumentar o teor de fibra consequentemente a resistência também aumentasse. Não foi encontrada nenhuma explicação teórica para o ocorrido.

Os CP's reforçados apenas com fibra apresentaram, em todos os casos, uma fissura somente, onde houve uma concentração de tensões. (Figura 26).

Figura 26 – exemplos de CP's reforçados com: a) 0,15% de fibra, b) 0,30% de fibra e c) 0,45% de fibra



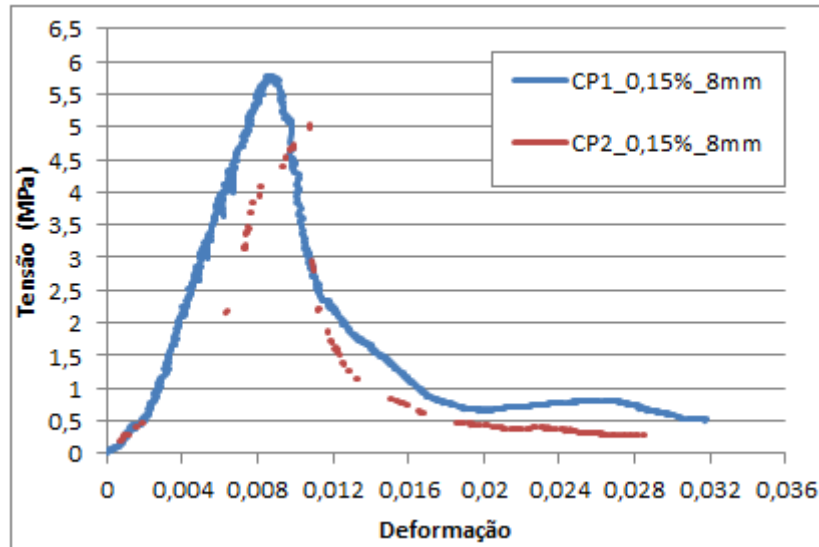
Fonte: Elaboração própria

4.4 Concreto reforçado com 0,15% de fibra e barra de $\phi 8\text{mm}$

Como havia sido proposto no início do trabalho, foram feitos três corpos de prova reforçados com barra e fibra de aço. Foi escolhida a barra de $\phi 8\text{ mm}$ e a porcentagem de 0,15% de fibra, pois esses reforços apresentaram os melhores resultados. Houve erro na leitura do LVDT no ensaio do terceiro corpo de prova, sendo assim, a curva para esse CP não pode ser plotada, porém o valor da tensão máxima obtida no ensaio aparece na tabela 8, assim como para os demais corpos de prova.

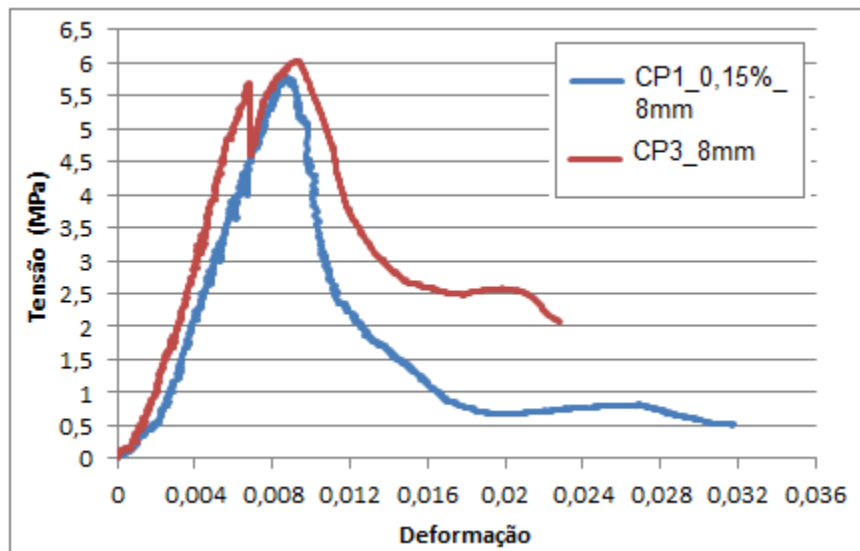
No gráfico 8 estão apresentadas as curvas para o CP1_0,15%_8mm e o CP2_0,15%_8mm referente ao concreto reforçado com barra e fibra, e no gráfico 9 são apresentados dois exemplos de curvas, uma referente ao concreto reforçado com barra de $\phi 8\text{ mm}$ e outra referente ao reforçado com barra de $\phi 8\text{ mm}$ e 0,15% de fibra.

Gráfico 8: Tensão *versus* deformação – Reforço com 0,15% de fibra e barra de $\phi 8\text{mm}$



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 9 – Tensão *versus* deformação para exemplos de curvas, uma referente ao concreto reforçado com barra de $\phi 8\text{ mm}$ e outra referente ao reforçado com barra de $\phi 8\text{ mm}$ e 0,15% de fibra



Fonte: Elaboração própria

Pode-se notar através dos gráficos e também comparando as tensões médias que estão apresentadas na tabela 9, que o uso de fibra não contribuiu para o aumento da resistência do concreto, para essa pesquisa.

Tabela 11 - Tensões médias, desvio padrão de coeficiente de variação dos CP's reforçados 0,15% de fibra e barra de $\phi 8\text{mm}$ e os apenas com barra de $\phi 8\text{mm}$

		Tipo de reforço		
		0,15% + $\phi 8\text{mm}$	$\phi 8\text{mm}$	
T e n s ã o	M P a	CP1	5,78	6,06
		CP2	5,05	-
		CP3	4,99	6,03
		Média =	5,27	6,04
		DP =	0,438	0,022
		CV (%)=	8,31	0,37

Fonte: Elaboração própria

Analisando a figura 27, nota-se, nos três casos, que apesar dos CP's apresentarem uma fissuração distribuída em todo corpo de prova, houve uma concentração de tensões em apenas uma das fissuras, e apesar da fissura ir aumentando gradualmente a carga baixou de maneira menos brusca que no caso do concreto apenas com barra de $\phi 8\text{ mm}$. A quantidade de fissuras foi menor, em média 4 (quatro) por corpo de prova, se comparado com o concreto apenas com barra.

Figura 27 – Fissuras nos corpos de prova CP1_0,15%_8mm, CP2_0,15%_8mm e CP3_0,15%_8mm



Fonte: Elaboração própria

5 CONCLUSÕES

Apesar do coeficiente de variação dos resultados para o ensaio de tração dos CP's com concreto convencional, a resistência média obtida foi cerca de 7% da resistência à compressão, e apesar de estar um pouco abaixo da média pesquisada, encontra-se dentro dos parâmetros aceitáveis (7 à 11% da resistência à compressão).

Para os concretos reforçados com barra de aço, ficou bastante claro o ganho de resistência comparando a matriz de concreto e os concretos reforçados com barra de $\phi 5$ mm e $\phi 8$ mm. Já para o concreto reforçado com barra de $\phi 10$ mm, não se pode afirmar se o motivo por haver ganho pouca resistência comparado a barra de $\phi 8$ mm foi apenas devido as dimensões do CP.

No caso dos concretos reforçados com fibra, segundo as pesquisas de Deluce *et al* (2012) e Colombo *et al* (2012), a resistência do concreto à tração deveria aumentar conforme o aumento do teor de fibras. Não foi encontrada uma explicação teórica para os resultados obtidos para os ensaios referentes aos CP's com esse tipo de reforço. Porém algo que se pôde notar com bastante clareza, foi que a tensão, para todos os casos, se concentrou em apenas uma fissura e a carga diminuiu de maneira menos brusca se comparado aos outros tipos de reforço.

Pelo menos um corpo de prova realizado com cada tipo de reforço apresentou um resultado muito diferente dos demais. No caso da matriz de concreto, o coeficiente de variação (CV) foi de 48,64% e o concreto reforçado com 0,30% de fibra apresentou um CV de 43,16%. O motivo para variações tão grandes está na dificuldade da realização do ensaio.

Houve uma preocupação em relação à maneira de prender o CP à parte superior da máquina, porém a parte de baixo do corpo de prova seguiu sendo fixada diretamente na máquina, o que ocasionou um acúmulo de tensões naquela região, e por isso a maioria dos CP's apresentam fissuras na parte inferior, o que pode se caracterizar como um defeito de ensaio. A técnica utilizada para a realização dos ensaios, também é uma possível causa de haver pelo menos um resultado muito diferente para cada tipo de reforço.

5.1 Pesquisas futuras

- Uma das principais mudanças para a obtenção de melhores resultados seria a utilização das chapas metálicas, tanto para prender a parte superior quanto a parte inferior do corpo de prova.
- Com a utilização das chapas para prender a parte inferior e superior, a seção transversal dos CP's poderá ser uniforme, e assim não haverá mais problema quanto ao acúmulo de tensões na região de mudança de seção.
- A quantidade de CP's a serem ensaiados também deverá ser maior, para que não haja problemas caso algum ensaio dê errado ou se perca algum CP, e também para que haja uma maior confiabilidade nos resultados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

BILLINGTON, S. L. *et al.* Tension-Stiffening in reinforced high performance fiber-reinforced cement-based composites under direct tension. In: NAAMAN, A. E., REINHARDT, H. W., PARRA-MONTESINOS, G. J. (Org). **High performance fiber reinforced cement composites 6**. 3 ed., New York: Rilem, 2012.

Concreto Armado – A estrutura interna do material. **Blog Oficial do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Santa Cruz**, 1 mai. 2012. Disponível em: <<http://engenhariacivildauesc.blogspot.com.br/2012/05/concreto-armado-estrutura-interna-do.html>>. Acesso em: julho. 2014.

COLOMBO, M. *et al.* Tensile behavior of textile: Influence of multilayer reinforcement. In: NAAMAN, A. E., REINHARDT, H. W., PARRA-MONTESINOS, G. J. (Org). **High performance fiber reinforced cement composites 6**. 3 ed., New York: Rilem, 2012.

DELUCE, J., LEE, S. C., VECCHIO, F. J. Crack formation in FRC structural elements containing conventional. In: NAAMAN, A. E., REINHARDT, H. W., PARRA-MONTESINOS, G. J. (Org). **High performance fiber reinforced cement composites 6**. 3 ed., New York: Rilem, 2012.

FIGUEIREDDO, A. D. Concreto com fibras. In: ISAIA, G. C. (Org). **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo, Ibracom, 2011.

ISAIA, G. C. A evolução do concreto estrutural. In: ISAIA, G. C. (Org). **Concreto: Ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo, Ibracom, 2011.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3 ed., New York: The McGraw-Hill Companies, 2006.

OLIVEIRA, C. A. S. **Avaliação da redução de armadura mínima de flexão em vigas de concreto armado com adição de fibras de aço**. 2007. 28 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

OLIVEIRA JR, L. C. **A influência das fibras de aço e das adições minerais no enrijecimento à tração do concreto armado: análise experimental**. 2007. 41 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

PERERA, S. V. T. J., MUTSUYOSHI, H. Tension stiffening behavior of high-strength concrete tension members. In: **Annual Research Journal of SLSAJ**. 2012.