

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM A
INSERÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E PARTÍCULAS DE BORRACHA DE PNEU**

Giovana Bosisio Carvalho

Presidente Prudente/SP
2018

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM A
INSERÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E PARTÍCULAS DE BORRACHA DE PNEU**

Giovana Bosisio Carvalho

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial de Conclusão do Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Dr. Bruno do Vale Silva.

Presidente Prudente/SP
2018

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM A
INSERÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E PARTÍCULAS DE BORRACHA DE PNEU**

Trabalho de Curso apresentado como requisito
parcial para obtenção do Grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Dr. Bruno do Vale Silva
Orientador

Prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis
Examinador

Prof. Ms. Marcos Rodrigues Fróis
Examinador

Presidente Prudente, 29 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por estar sempre ao meu lado, me dando forças para superar mais esse desafio.

Aos meus pais, Regina Bosisio e Carlos de Carvalho, por serem meu suporte por toda a vida, não medindo esforços em me ajudar especialmente nesses 4 anos de graduação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bruno do Vale Silva, por todo apoio e dedicação nesses anos de aprendizado.

Aos meus amigos, que ajudaram na confecção dos corpos de prova, da obtenção dos materiais e de orientações no decorrer do trabalho

À Instituição, por disponibilizar os materiais e o Laboratório de Materiais de Construção Civil, para serem fabricados e ensaiados os corpos de prova.

À UNESP, em nome do Professor Aldo Eloizo Job responsável pelo LTBA, por fornecer a borracha de pneu já triturada, em forma de raspas.

À Maccaferri, em nome do Victor Froes, responsável pela Matriz de Jundiaí e pelo João Celso Russi, responsável pela região de Presidente Prudente, por disponibilizar a fibra de aço Wirand® FF4 utilizada.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo a inserção de fibras de aço e partículas de borracha de pneus inservíveis ao concreto, com a finalidade de analisar suas propriedades mecânicas, como resistência à fissuração, à compressão axial e à tração na flexão. Para realizar os ensaios foram produzidos 4 tipos de concreto: concreto referência (concreto convencional) com o traço 1:2:3 (1:5) com relação $a/c=0,5$; concreto com adição de 90 kg/m^3 de fibras de aço com ancoragem; concreto com adição de 10% de partículas de borracha em substituição parcial da areia e concreto com a mistura dos dois componentes. Para isso, foram fabricados 3 corpos de prova cilíndricos e 3 corpos de prova prismáticos, para serem rompidos aos 28 dias após a cura, realizando-se os ensaios de compressão axial, de acordo com a ABNT NBR 5739:2007 e tração na flexão de 4 pontos, conforme a ABNT NBR 12142:2010, além do “*Slump Test*” realizado segundo a ABNT NM 67:1998. Após os ensaios, pode-se concluir que a inserção de fibras de aço ao concreto, melhorou suas propriedades à compressão em 24% e à tração na flexão em 29%, visando a utilização do concreto em estruturas. Enquanto a inserção das partículas de borracha de pneu, aumentou a resistência à compressão em 52% e reduziu a resistência à tração na flexão em 13%, tendo potencial para ser utilizado em pavimentos flexíveis.

Palavras-chave: Fibra de aço; Partículas de borracha; Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The aim of this work is to analyse the use of steel fibers and rubber particles of unserviceable tires to concrete, in order to analyze their mechanical properties, such as cracking resistance, axial compression and flexural tensile strength. In order to perform the tests, 4 types of concrete were produced: reference concrete (conventional concrete) with a 1:2:3 (1:5) trace in which the water/concrete proportion is 0,5; concrete with the addition of 90 kg / m³ of anchored steel fibers; concrete with the addition of 10% of rubber particles partial replacing the use of sand and concrete with the mixture of both components. Having said that, 3 cylindrical test specimens and 3 prismatic specimens were fabricated to be ruptured at 28 days after curing. The axial compression tests were performed, according to the ABNT NBR 5739: 2007 and 4-point flexural tensile tests, in accordance with ABNT NBR 12142: 2010 in addition to the Slump Test based on ABNT NM 67: 1998. After testing, it can be concluded that the insertion of steel fibers to the concrete, improves its properties to compression in 24% and flexural tensile in 29%, in order to concrete in structures. While the insertion of the tire rubber particles increased the compressive strength in 52% and reduced the flexural tensile strength in 13%, it can be used in flexible pavements.

Keywords: Fiber steel; Rubber particles; Mechanical properties.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a – Distância entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha do apoio mais próximo

a' – Traço para o agregado miúdo (areia)

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/c – Fator água e cimento

ar – Teor de ar incorporado

b – Largura do corpo de prova

b' – Traço para o agregado graúdo (brita)

C – Consumo de cimento por metro cúbico

cm – centímetro

CB – Concreto com borracha de pneu

CF – Concreto com fibra de aço

CFB – Concreto com fibra de aço e borracha de pneu

CP – Corpo de Prova

CR – Concreto referência

d – Altura do corpo de prova, em mm

F – Carga máxima apresentada pela prensa hidráulica

fc – Resistência à compressão

fct,f – Resistência à tração na flexão

IPT/EPUSP – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

kg – Quilograma

kN – Quilonewton

l – Dimensão do vão entre apoios

L – Litro

μm – micrômetro

mm - Milímetro

m^3 - Metro cúbico

MPa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

R – Raio do corpo de prova

UNESP – Universidade Estadual Paulista

$^{\circ}\text{C}$ – Graus Celsius

π – Letra do alfabeto grego denominado Pi, cujo valor numérico é aproximadamente 3,14

γ_a – Massa específica do agregado miúdo (areia)

γ_b – Massa específica do agregado graúdo (brita)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, TABELAS OU QUADROS

FIGURA

FIGURA 01 – Fibras de aço corrugada.....	11
FIGURA 02 – Fibras de aço com ancoragem.....	13
FIGURA 03 – Concreto com adição de fibras de aço.....	14
FIGURA 04 – Disposição inadequada de pneus inservíveis.....	15
FIGURA 05 – Incêndio em pneus, liberando gases tóxicos ao ambiente.....	15
FIGURA 06 – Organograma da metodologia adotada no trabalho.....	18
FIGURA 07 – Corpos de prova cilíndricos e prismáticos.....	18
FIGURA 08 – Materiais principais utilizados para a confecção do concreto.....	20
FIGURA 09 – Peneira de mão de malha 4,75 mm.....	21
FIGURA 10 – Borracha após peneiramento.....	21
FIGURA 11 – Fibra de aço Wirand® FF4.....	22
FIGURA 12 – Molde utilizado para a realização do ensaio de Abatimento de Tronco de Cone.....	23
FIGURA 13 – Abatimento para a) CR, b) CF, c) CB e d) CFB, respectivamente.....	23
FIGURA 14 – Corpos de prova cilíndricos capeados com pasta de cimento: a) CR, b) CF, c) CB e d) CFB.....	26
FIGURA 15 – Corpos de prova prismáticos após pintura com cal: a) CR, b) CF, c) CB, d) CFB, respectivamente.....	26
FIGURA 16 – Equipamento para ensaio de compressão para elementos de alta resistência.....	27
FIGURA 17 – Ensaio de compressão axial para o CR.....	28
FIGURA 18 – Ensaio de compressão axial para o CF.....	29
FIGURA 19 – Ensaio de compressão axial para o CB.....	30
FIGURA 20 – Ensaio de compressão axial para o CFB.....	31
FIGURA 21 – CFB após a aplicação de carga de compressão.....	33
FIGURA 22 – Ensaio de tração na flexão para o CR.....	34
FIGURA 23 – Ensaio de tração na flexão para o CF.....	35
FIGURA 24 – Ensaio de tração na flexão para o CB.....	35
FIGURA 25 – Ensaio de tração na flexão para o CFB.....	36
FIGURA 26 – Resistência à tração na flexão no terço do vão.....	37

GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – Média das resistências à compressão axial.....	33
GRÁFICO 02 – Média das resistências à tração na flexão de 4 pontos.....	39

TABELAS

TABELA 01 – Consumo de materiais para os concretos.....	19
TABELA 02 – Valores obtidos pela prensa hidráulica para os corpos de prova cilíndricos no ensaio de compressão axial.....	31
TABELA 03 – Valores em MPa da resistência à compressão axial para corpos de prova cilíndricos.....	32
TABELA 04 – Valores obtidos pela prensa hidráulica para os corpos de prova prismáticos no ensaio de tração na flexão.....	37
TABELA 05 – Valores em MPa da resistência à tração na flexão de 4 pontos para corpos de prova prismáticos.....	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Concretagem dos Corpos de Prova.....	22
4 RESULTADOS.....	28
4.1 Ensaio de Compressão Axial.....	28
4.2 Ensaio à tração por flexão de 4 pontos.....	34
5 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
ANEXOS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material composto por aglomerantes que agrupam partículas ou fragmentos de agregados, que podem ser areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduos de construção e demolição. Juntamente com os agregados, une-se uma pasta aglomerante, formada pela reação química entre o cimento Portland e a água. (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p.13; QUININO, 2015, p.26-27).

Segundo Mehta e Monteiro (2014, p.4-5,8), o concreto é muito utilizado por três razões: a primeira remete à excelente resistência do concreto à água sem causar deterioração da estrutura, tornando-o muito utilizado em construções de estrutura para controle, armazenamento e transporte de água, além de aquedutos, cisternas, barragens, revestimentos de canais e pavimentos. A segunda se refere a facilidade que os elementos estruturais podem ser obtidos pela variedade de formas e tamanhos, através da sua consistência plástica quando fresco, facilitando o fluxo do material no interior das formas. Por fim, a terceira remete ao baixo custo e a disponibilidade do material, pois os elementos integrantes para a produção do concreto são facilmente encontrados em todo o mundo.

Quinino (2015, p.28-29) afirma que devido o concreto apresentar um comportamento frágil antes da ruptura, faz-se necessário compensar essa deficiência com a utilização de uma armadura de aço em seu interior. No entanto, com os novos materiais utilizados na Construção Civil, a inserção de fibras no concreto (os tipos de fibras serão descritas no item 2) faz com que melhore essa deficiência e ajude em outras propriedades, como a fissuração, tenacidade, entre outros.

Dentro desse contexto, pode-se dizer que os materiais aplicados na engenharia estão em constante avanço e a população está sempre preocupada com questões ambiental, assim, este trabalho apresenta um material de interesse que pode ser inserido ao concreto e analisado seu desempenho na mistura, para em seguida apresentar uma possível aplicação dessa combinação.

Dentro das questões ambientais, é notável o descaso da população em relação ao descarte dos pneus inservíveis, que demoram 600 anos para se decompor, além de causar problemas sociais e ambientais (GOMES et al, 2017,

p.2), por essa razão, é interessante analisar a inserção de partículas de borracha de pneu no concreto.

Dessa forma, o presente estudo tem por objetivo analisar o uso de partículas de borracha de pneus inservíveis juntamente com fibras de aço industrializadas com ancoragem em união ao concreto convencional, e como objetivos específicos pretende-se verificar as seguintes propriedades: resistência à fissuração, à compressão e à tração, e relacioná-las com as propriedades do concreto referência.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As adições feitas no concreto têm por objetivo favorecer suas propriedades. As fibras adicionadas ao concreto são para melhorar a resistência à fissuração, tenacidade, resistência à fadiga, resistência ao impacto e outras singularidades. Essas são fabricadas a partir do aço, plástico, vidro e materiais naturais, com diversas formas e tamanhos, sendo que as de aço são as mais utilizadas para aplicações estruturais e não estruturais (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p.546-547).

Segundo Quinino (2015, p.18), as fibras de aço são muito utilizadas em elementos estruturais por apresentar alto módulo de elasticidade, favorecer a tenacidade, controle à fissuração, resistência à flexão, ao impacto e à fadiga.

E estas são encontradas no mercado de diversas formas e tamanhos, na qual podem ser lisas ou corrugadas, e até apresentar extremidades na forma de gancho para o aumentar a ancoragem. Elas apresentam comprimento variando de 25 mm (fibras curtas) a 60 mm (fibras longas), podendo ser encontradas soltas ou coladas umas às outras, com utilização de colas solúveis, formando feixes de 10 a 30 fibras, auxiliando na mistura e homogeneização do material (ISAIA, 2011, p.1327; BENTUR, MINDESS, 2007 apud QUININO, 2015, p.67).

Figueiredo (2000, p.8-9) acrescenta que normalmente as fibras são classificadas em três tipos: o primeiro tipo é a corrugada (Figura 01), na qual é cortada em comprimento desejado, variando de 25 mm a 50 mm, visando a melhoria na aderência da fibra com a matriz, apresentando baixo custo e pouca ou nenhuma interferência na consistência do concreto. O segundo tipo é a fibra com ancoragem em gancho e seção retangular (Figura 02), criada para reforçar o concreto, em que podem ser cortadas e conformadas de acordo com o formato desejado. Por fim, o terceiro tipo apresenta formato semelhante ao segundo, porém apresentando forma circular na seção transversal, assim apresentam maior resistência mecânica, com comprimentos variando de 25 mm a 60 mm e diâmetros de 0,5 mm a 1 mm.

As fibras são divididas em microfibras e macrofibras, sendo as microfibras longas e finas, com diâmetros na ordem de 10 a 30 μm e comprimento entre 3 e 18 mm, enquanto as macrofibras apresentam diâmetro maior que 0,30 mm e comprimento variando de 30 a 60 mm (QUININO, 2015, p.54; ACI, 2002 apud SALVADOR, 2013, p.30).

FIGURA 01 – Fibras de aço corrugada



Disponível em: <<http://blog.arcelormittal.com.br/o-uso-de-fibras-de-aco-no-concreto/>>. Acesso em 02 mai 2018.

FIGURA 02 – Fibras de aço com ancoragem



Disponível em: <https://www.alibaba.com/showroom/crimped-steel-fiber.html>. Acesso em 02 mai 2018.

Lawer, Zampini e Shah (2002) apud Quinino (2015, p.54-55) complementam que as macrofibras, na qual serão utilizadas no presente trabalho, é responsável por impedir o crescimento das fissuras à medida que o material se deforma, conforme a carga está decrescendo, ganha-se rigidez, resistência e ductilidade. A utilização dessas fibras mais longas e com ancoragem, melhora a ancoragem e diminui o arrancamento, chegando à resistência máxima da fibra, rompendo o material pelo esgotamento de tração, como é representada na Figura 03.

FIGURA 03 – Concreto com adição de fibras de aço.



Disponível em: <http://www.concretousinadosp.com.br/concreto-com-fibras-litoral-de-sao-paulo-abcd-zona-leste-grande-sao-paulo-zona-oeste-interior-zona-norte-zona-sul-regiao-central>. Acesso em 02 mai 2018.

As propriedades de resistência à tração e tenacidade do concreto reforçado com fibras podem ser obtidas através do ensaio de flexão de três ou quatro pontos. Pelo fato de o concreto simples, após a primeira fissuração, diminuir sua capacidade de carga drasticamente, faz com que a adição das fibras apresente uma resistência pós fissuração e tenacidade relevantes, uma vez que as fibras “costuram as fissuras” (MEHTA, MONTEIRO, 2014, p.548-249; QUININO, 2015, p.49).

A utilização do concreto reforçado com fibras de aço é uma das principais aplicações no Brasil, inclusive em pavimentos, pois é capaz de eliminar a inserção da armadura, reduzindo o tempo de execução da obra e o número de operários, além da economia de espaço na obra, não sendo necessário o estoque de armadura. Possibilitam também o corte das juntas de dilatação sem as barras de transferência e reduzem o efeito de lascamento nas bordas pelo reforço nessa área (ISAIA, 2011, p.1357; FIGUEIREDO, 2000, p.61; QUININO, 2015, p.18-19).

Quinino (2015, p.5) afirma que as propriedades do concreto reforçado com fibras são vinculadas à resistência e ao módulo de elasticidade da matriz, e considera que, a combinação em proporção adequada, com duas ou mais fibras, obtém-se resultados ainda mais satisfatórios.

Por isso, outro material que vem sendo utilizado na Construção Civil são as partículas de borracha de pneu, que se apresentam como um grande problema ambiental, como nota-se nas Figuras 04 e 05, por sua demorada

degradação e não serem destinados da forma correta, estando sempre à beira de rodovias, lixões ou terrenos urbanos, propícios à incêndio, podendo gerar contaminação do ar, solo e lençol freático, e à proliferação de doenças como dengue e febre amarela (KAMIMURA, 2002, p.1; MARTINS, 2005, p.28-29). Albuquerque (2009, p.44) complementa que, a reciclagem é necessária para a redução dos passivos ambientais, preservação dos recursos naturais e a redução dos custos do produto final.

FIGURA 04 – Disposição inadequada de pneus inservíveis.



Disponível em: <http://www.conexaoctti.com.br/index.php/o-pneu-e-seu-impacto-ambiental/>. Acesso em 02 mai 2018.

FIGURA 05 – Incêndio em pneus, liberando gases tóxicos ao ambiente.



Disponível em: <http://uipi.com.br/noticias/policia/2012/11/15/incendio-criminoso-destroi-pneus-velhos-e-revolta-moradores/>. Acesso em 02 mai 2018.

O órgão brasileiro responsável pela regulamentação, controle e fiscalização dos pneus é o Ministério do Meio Ambiente, representado pelo Conselho

Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (ALBUQUERQUE, 2009, p.48).

A Resolução CONAMA nº 258/1999, “determina que as empresas fabricantes e importadoras de pneumáticos ficam obrigados a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis”, sendo o IBAMA, o órgão competente pela fiscalização, controle e edição dos atos normativos relacionados à Resolução nº 258/1999.

Desta forma, Rubber Manufacturers Association (2002, apud Kamimura, 2002, p.15) apresentam as aplicações da borracha de pneu na Construção Civil:

Material de enchimento de peso leve; drenagem em campo séptico; aterro em estradas; suporte de base de estrada; sistema de drenagem de gases em aterros sanitários; material para compostagem; estabilizadores de encostas; controle de erosão, diques, barragens; isolante térmico e acústico; drenagem em aterro sanitário; aditivos para pavimentos asfálticos e pistas esportivas; cobertura de parques infantis, concretos leves, etc.

Segundo Turatsinze, Bonnet e Granju (2004) apud Martins (2005, p.38), as partículas da borracha de pneu quando inseridos ao concreto convencional, faz com que o material apresente uma redução na resistência a compressão e à flexão. É o caso de uma amostra que em uma proporção de 25% de borracha em substituição parcial do agregado miúdo, apresenta uma redução de 37,5% para compressão e 7,9% para flexão.

Albuquerque (2009, p.75) acrescenta que a adição de 10% de borracha no concreto aumenta a tenacidade em 23%, porem reduz 65% da resistência à compressão.

Sendo assim, com a finalidade de diminuir o problema ambiental e da saúde pública, além de apresentar um fim para esses materiais, a utilização das partículas de borracha de pneu no concreto apresenta-se como uma opção viável.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Estudos indicam que a inserção de cerca de 10% de resíduos de borracha de pneu em substituição parcial da areia, obtêm-se um concreto com maior tenacidade comparado ao concreto convencional, melhorando a capacidade de absorção de cargas dinâmicas e na resistência à propagação de fissuras. (MARTINS, 2005, p.41; ALBUQUERQUE, 2009, p.75).

Enquanto na adição das fibras, o uso da fibra Wirand® FF4 em adição de 90 kg/m³ de concreto, apresenta um comportamento estável e favorável, pois apresentam maior comprimento, e conseqüentemente, maior fator de forma (QUININO, 2015, p.114;125).

Para melhor apresentar a metodologia deste trabalho experimental, apresenta-se o organograma na Figura 06, na qual pode-se observar que foram fabricados 4 tipos de concretos, sendo o concreto referência sem adições, o concreto com adição de fibras de aço com ancoragem, o concreto com adição de borracha e o concreto com a união das fibras. Para avaliar a resistência mecânica dos concretos serão realizados 2 tipos de testes, sendo eles: resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão em quatro pontos.

A ABNT NBR 5738:2015 afirma que os corpos de prova cilíndricos devem ter diâmetro mínimo de 10 cm e a altura deve ser o dobro do seu diâmetro, enquanto para prismáticos, deve conter seção quadrada, de dimensão mínima de 10 x 10 cm e comprimento mínimo de 35 cm. Sendo assim, o trabalho foi realizado por meio de testes de compressão axial em corpos de prova, de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e ensaio de tração à flexão de quatro pontos, com vigas de seção transversal igual a 10 x 10 cm e comprimento de 50 cm, ambos apresentados na Figura 07.

FIGURA 06 – Organograma da metodologia adotada no trabalho.

Fonte: O autor, 2018.

FIGURA 07 – Corpos de prova cilíndricos e prismáticos.

Fonte: O autor, 2018.

Conforme recomendações do Método IPT/EPUSP, adotou-se para o trabalho experimental o traço unitário de 1:2:3 (1:5) e relação a/c de 0,5 para todas as amostras, onde são apresentados na Tabela 01, mostrando o consumo de materiais por m³ para cada tipo de concreto produzido. Para obter o consumo de cimento por metro cúbico, utilizou-se a Equação 1 conforme recomendações do Método IPT/EPUSP descrito por Helene e Terzian (1992).

$$C = \frac{(1000 - ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a'}{\gamma_a} + \frac{b'}{\gamma_b} + a/c}$$

Equação 1

Onde: C – Consumo de cimento por metro cúbico (kg/m³)

ar – Teor de ar incorporado

a' – Traço para o agregado miúdo (areia)

Y_a – Massa específica do agregado miúdo (areia)

b' – Traço para o agregado graúdo (brita)

Y_b – Massa específica do agregado graúdo (brita)

a/c – Relação água/cimento

TABELA 01 – Consumo de materiais para os concretos.

Material	Consumo (kg/m ³)			
	Referência (CR)	Fibra de aço (CF)	Borracha (CB)	Fibra de aço + borracha(CFB)
Cimento	375,2	375,2	375,2	375,2
Areia	375,2	375,2	337,7	337,7
Brita	1125,6	1125,6	1125,6	1125,6
Água	187,6	187,6	187,6	187,6
Fibra de aço	0	90	0	90
Borracha	0	0	33,8	33,8

Fonte: O autor, 2018.

Observa-se que ao traço base, são adicionadas 90 kg/m³ de fibra de aço para a Amostra 2 (CF) e 10% de partículas de borracha de pneu como substituição parcial da areia para a Amostra 3 (CB), e por fim, mistura-se fibra de

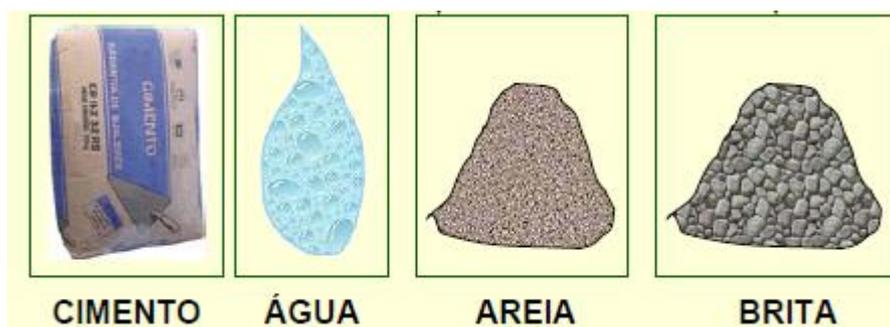
ação com a borracha nas mesmas proporções já apresentadas - Amostra 4 (CFB), para avaliar os ganhos e benefícios da mistura de materiais diferentes ao concreto.

Os materiais essenciais para a fabricação do concreto, como cimento, areia e brita, apresentados na Figura 08, foram disponibilizados pelo Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo (Toledo Prudente).

A borracha de pneu inservível em raspas utilizada, foi fornecida pelo Laboratório de Tecnologia de Borracha e Aplicações (LTBA) da Faculdade de Ciência e Tecnologia - FCT UNESP de Presidente Prudente, sob responsabilidade do Professor Aldo Eloizo Job.

Como o presente trabalho trata da substituição parcial da areia por 10% de borracha, fez-se necessário um peneiramento do material, para obtenção de uma matéria mais uniforme. De acordo com a ABNT NBR 7211:2005, o agregado miúdo deve passar pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficar retido na peneira com abertura de malha de 150 µm. Assim, utilizou-se uma peneira de mão com malha de 4,75 mm para separar o material (Figura 09), utilizando-se no trabalho as raspas de borracha que passaram pela peneira, obtendo-se um material como mostra a Figura 10.

FIGURA 08 – Materiais principais utilizados para a confecção do concreto.



Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgn2QAF/introducao-a-eng-civil>>. Acesso em 21 mai 2018.

FIGURA 09 – Peneira de mão de malha 4,75 mm



Fonte: O autor, 2018.

FIGURA 10 – Borracha após peneiramento



Fonte: O autor, 2018.

As fibras utilizadas, são fibras de aço Wirand[®] FF4, disponibilizada pela Maccaferri, sob coordenação do Victor Grossi Fróes do Departamento de Construção Civil da Matriz Jundiaí, e do João Celso Russi, engenheiro representante na região de Presidente Prudente.

Para a escolha das fibras de aço, levou-se em consideração o comprimento e seu fator de forma. Desta forma, sob análise da tabela disponibilizada pela Maccaferri (Anexo A), foram utilizadas as fibras de aço Wirand[®] FF4, mostrada na Figura 11, em que apresentam comprimento de 60 mm e fator de forma de 80, com diâmetro de 0,75 mm.

FIGURA 11 – Fibra de aço Wirand® FF4



Fonte: O autor, 2018.

3.1 Concretagem dos Corpos de Prova

Os corpos de prova cilíndricos e prismáticos foram produzidos ao mesmo tempo, com a inserção dos materiais correspondentes à cada tipo de concreto, na betoneira de eixo inclinado (Modelo BM-200) com capacidade para 200 L, pertencente ao Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo (Toledo Prudente).

Primeiramente adicionou-se 100% da brita e 50% da água e misturou-se, em seguida, com a betoneira desligada adicionou-se 100% do cimento e misturou-se novamente, por fim, adicionou-se 100% da areia e o restante da água. Para os concretos que continham adições, os materiais foram adicionados 100% na última etapa, logo após a água.

Após a mistura estar homogênea, realizou-se o Abatimento de Tronco de Cone, “*Slump Test*”, para a determinação da trabalhabilidade do concreto. A ABNT NBR NM 67:1998 descreve que o molde em forma de cone (Figura 12) deve ser preenchido em três camadas, cada uma correspondente a um terço do molde, e compactadas com 25 golpes uniformes com a haste de socamento. Após o preenchimento das três camadas compactadas, levanta-se o molde cuidadosamente na direção vertical, sem interrupções, e a partir disso mede-se a diferença da altura do cone com a altura média do corpo de prova desmoldado, com o auxílio de uma régua metálica.

FIGURA 12 – Molde utilizado para a realização do ensaio de Abatimento de Tronco de Cone.



Fonte: O autor, 2018.

Os abatimentos através do “*Slump Test*” são apresentados na Figura 13, na qual correspondem:

- a) CR = abatimento de 17 cm;
- b) CF = abatimento de 2 cm;
- c) CB = abatimento de 5 cm;
- d) CFB = não houve abatimento.

FIGURA 13 – Abatimento para a) CR, b) CF, c) CB e d) CFB, respectivamente.



b)



c)



d)



Fonte: O autor, 2018.

Posteriormente, o concreto foi introduzido nos moldes determinados. Segundo a ABNT NBR 5738:2015, a realização do adensamento do concreto é determinada de acordo com as dimensões dos corpos de provas cilíndricos e prismáticos. Sendo assim, para os cilíndricos com diâmetro de 10 cm, é estabelecido a introdução de duas camadas de concreto com 12 golpes manuais, enquanto para os prismáticos de seção transversal de 10 x 10 cm, é estabelecido a introdução de uma camada de concreto com 75 golpes manuais.

A ABNT NBR 5738:2015 salienta que não deve ser golpeado a base do molde com a haste e que para a eliminação dos vazios dentro da mistura, deve-se bater levemente na face externa. Além da realização do arrasamento à superfície do molde, feita com uma régua metálica ou colher de pedreiro, deixando a superfície mais plana possível.

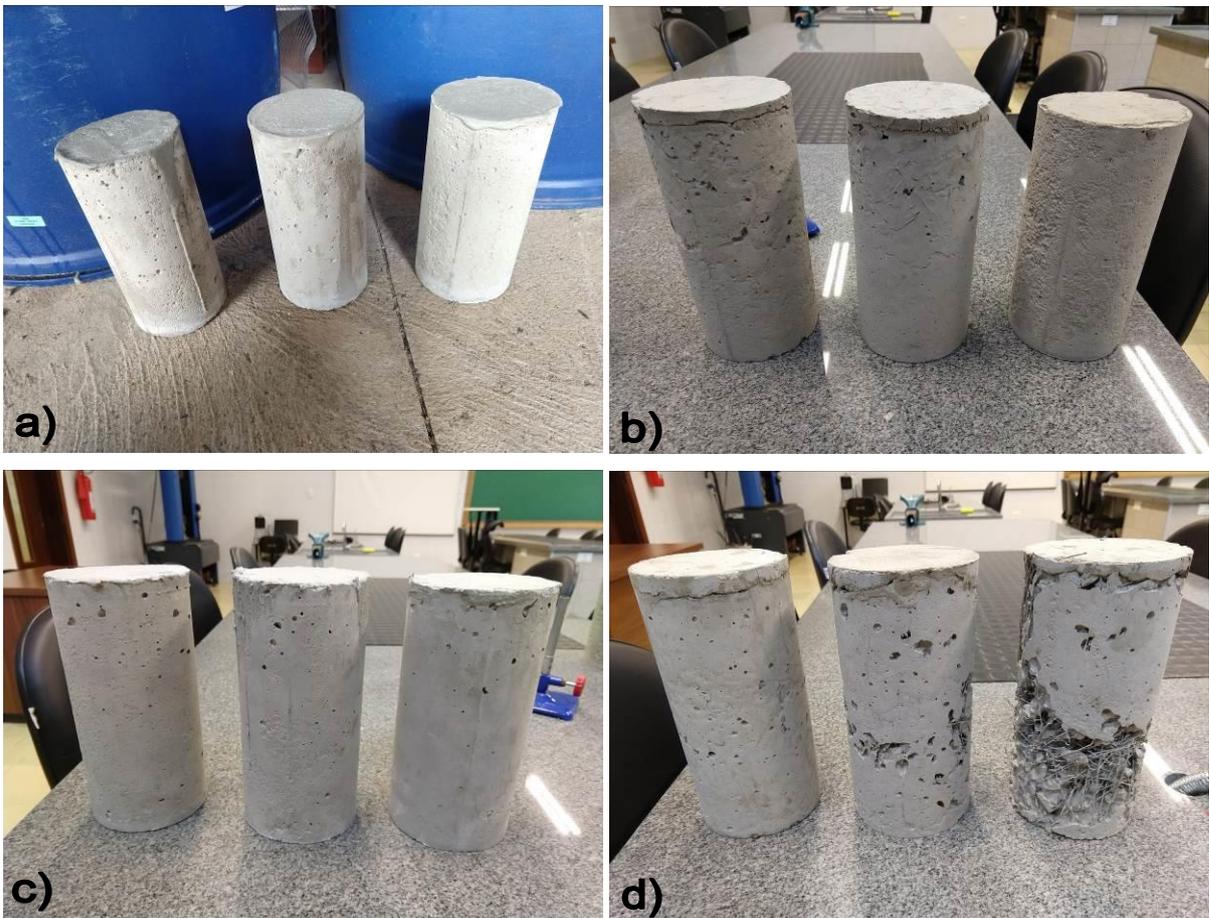
A partir do momento em que foram concretados, os moldes ficaram armazenados em local coberto, livre de intempéries durante 24 horas (corpos de prova cilíndricos) e 48 horas (corpos de prova prismáticos), para iniciarem sua cura.

Após a desmoldagem, os corpos de prova cilíndricos CR e CB foram inseridos em solução saturada de hidróxido de cálcio, à 23°C, onde ficaram armazenados até a véspera da realização do ensaio. Os corpos de prova cilíndricos CF e CFB, por conterem as fibras de aço, não ficaram em solução saturada, apenas em local coberto livre de intempéries.

Os corpos de prova podem ser rompidos com diferentes idades de cura, sendo adotado no presente trabalho cura de 28 dias após a concretagem.

Anteriormente aos ensaios, os corpos de prova cilíndricos receberam capeamento com utilização de pasta de cimento, como mostra a Figura 14, e os corpos de prova prismáticos receberam pintura com cal específica para pintura, para melhorar a visualização da fissuração, retratados na Figura 15 (ABNT NBR 5739:2007).

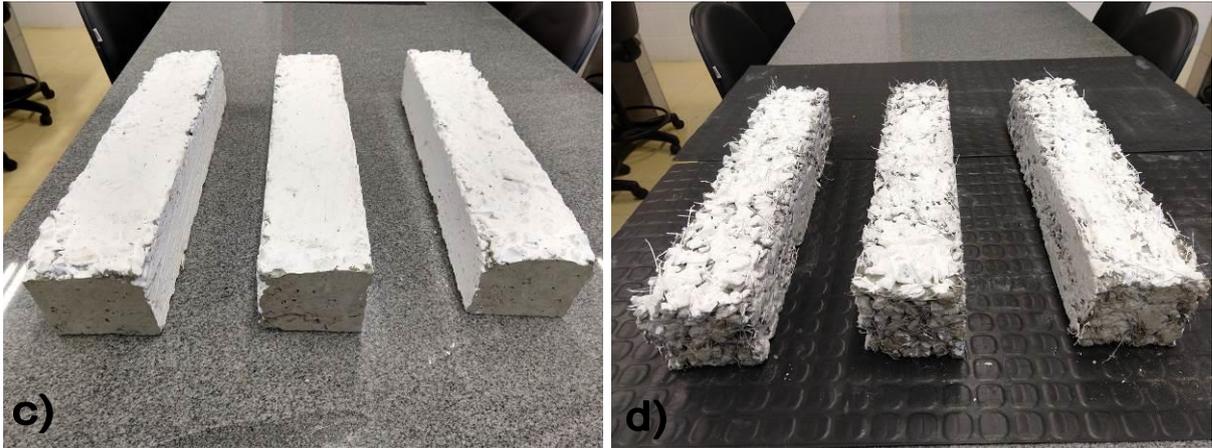
FIGURA 14 – Corpos de prova cilíndricos capeados com pasta de cimento: a) CR, b) CF, c) CB e d) CFB.



Fonte: O autor, 2018.

FIGURA 15 – Corpos de prova prismáticos após pintura com cal: a) CR, b) CF, c) CB, d) CFB, respectivamente.





Fonte: O autor, 2018.

O equipamento utilizado para os ensaios foi uma prensa hidráulica para concreto com capacidade de 1000 kN, EMIC INSTRON - Modelo PCE100C, pertencente ao Laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Antonio Eufrásio de Toledo (Toledo Prudente), conforme mostra a Figura 16, em que os ensaios realizados determinaram a resistência à compressão axial (ABNT NBR 5739:2007) e resistência à tração na flexão (ABNT NBR 12142:2010).

FIGURA 16 – Equipamento para ensaio de compressão para elementos de alta resistência.



Fonte: O autor, 2018

4 RESULTADOS

4.1 Ensaio de Compressão Axial

A princípio, realizou-se o ensaio de compressão axial para todos os corpos de prova cilíndricos, obtendo-se os valores apresentados nas Figuras 17 a 20, na qual estão inseridos na Tabela 02.

FIGURA 17 – Ensaio de compressão axial para o CR.



Fonte: O autor, 2018.

FIGURA 18 – Ensaio de compressão axial para o CF.



Fonte: O autor, 2018.

FIGURA 19 – Ensaio de compressão axial para o CB.



Fonte: O autor, 2018.

FIGURA 20 – Ensaio de compressão axial para o CFB.



Fonte: O autor, 2018.

TABELA 02 – Valores obtidos pela prensa hidráulica para os corpos de prova cilíndricos no ensaio de compressão axial

Carga máxima de compressão axial (kN)				
	CR	CF	CB	CFB
CP 1	74,24	97,07	138,93	58,83
CP 2	81,11	99,17	177,27	73,83
CP 3	75,71	106,68	162,60	33,10

Fonte: O autor, 2018.

Como a prensa apresenta os valores de carga em kN, utiliza-se da maior força (pico máximo) apresentada na máquina para obter a resistência à compressão (f_c) em MPa, a partir da Equação 2:

$$f_c = \frac{F}{\pi \times R^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: F – Carga máxima apresentada pela prensa hidráulica, em N

π – Aproximadamente 3,14

R – Raio do corpo de prova, em mm

f_c – Resistência à compressão axial, em MPa

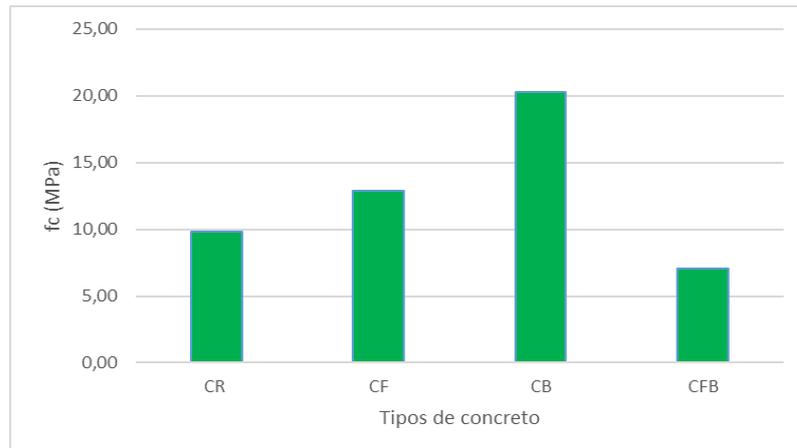
Assim, os valores calculados foram inseridos na Tabela 03, juntamente com o valor médio obtido pelas 3 amostras e o desvio padrão (D.P.), responsável por quantificar a variação dos valores obtidos.

TABELA 03 – Valores em MPa da resistência à compressão axial para corpos de prova cilíndricos.

Resistência à Compressão Axial (MPa)				
	CR	CF	CB	CFB
CP 1	9,45	12,36	17,69	7,49
CP 2	10,33	12,63	22,57	9,40
CP 3	9,64	13,58	20,70	4,21
MÉDIA	9,81	12,86	20,32	7,04
D.P.	0,46	0,64	2,46	2,62

Fonte: O autor, 2018.

Obtém-se por fim, o Gráfico 01, com a média das resistências à compressão para cada tipo de concreto analisado.

GRÁFICO 01 – Média das resistências à compressão axial

Fonte: O autor, 2018.

Portanto, ao analisar os corpos de prova cilíndricos, nota-se que a inserção das fibras e da borracha ao concreto melhoraram sua resistência à compressão. Porém, ao analisar a união da fibra de aço com a borracha de pneu na mesma mistura, nota-se que não foi possível atingir a resistência do concreto referência, porque os corpos de prova apresentaram nichos de concretagem, como mostra a Figura 21, ou seja, pela mistura não estar homogênea, as fibras formaram emaranhados impedindo que a argamassa passasse por seus vãos, formando vazios na amostra. Logo, ao ser aplicada a carga ao corpo de prova, ele rompeu com maior facilidade onde não havia a argamassa.

FIGURA 21 – CFB após a aplicação de carga de compressão.

Fonte: O autor, 2018.

Esse problema não aconteceu para o concreto com fibras, porque foi detectada a falha antes de serem concretados os corpos de prova, assim foi inserido uma quantidade maior de areia correspondente a 1,2 kg em 0,02 m³ de concreto, para deixar a argamassa mais homogênea, ou seja, aumentou-se o teor de argamassa.

4.2 Ensaio à tração na flexão de 4 pontos

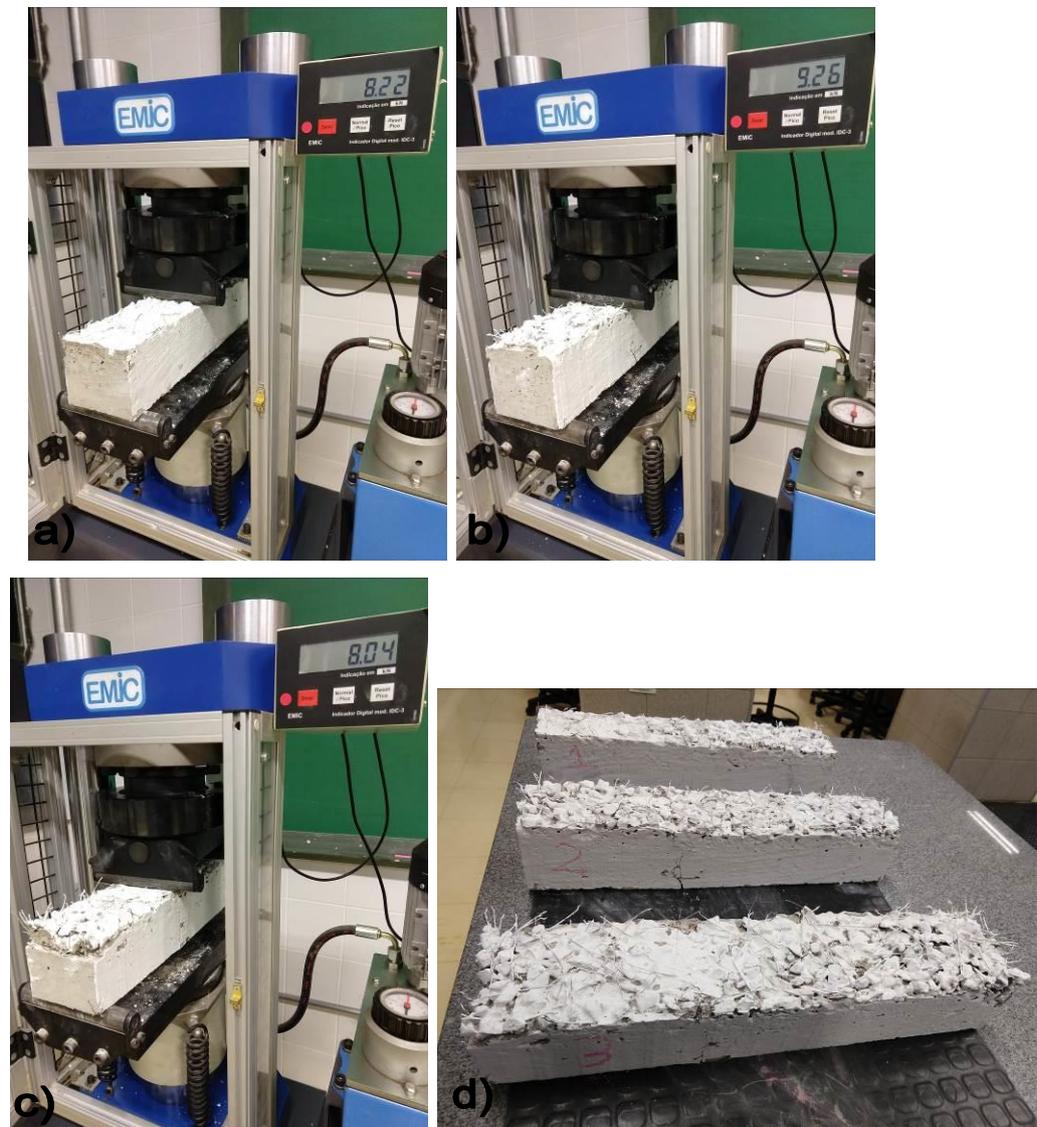
Atingido o tempo de cura delimitado, realizou-se o ensaio à tração na flexão de 4 pontos para os corpos de prova prismáticos. As Figuras 22 a 25, apresentam os valores máximos das cargas para cada tipo de concreto e o comportamento dos corpos de prova após a primeira fissuração. Os valores obtidos na prensa são apresentados na Tabela 04.

FIGURA 22 – Ensaio de tração na flexão para o CR.



Fonte: O autor, 2018.

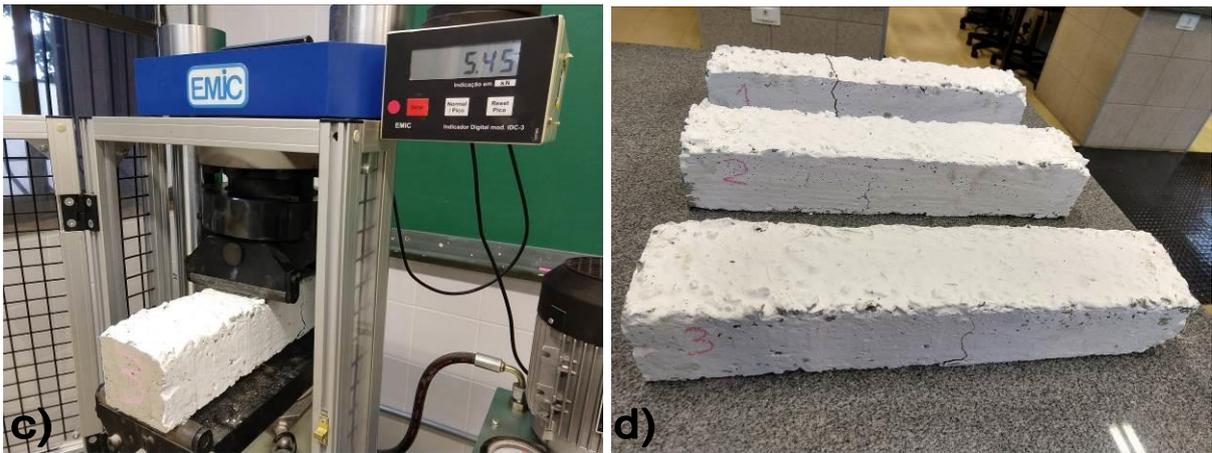
FIGURA 23 – Ensaio de tração na flexão para o CF.



Fonte: O autor, 2018.

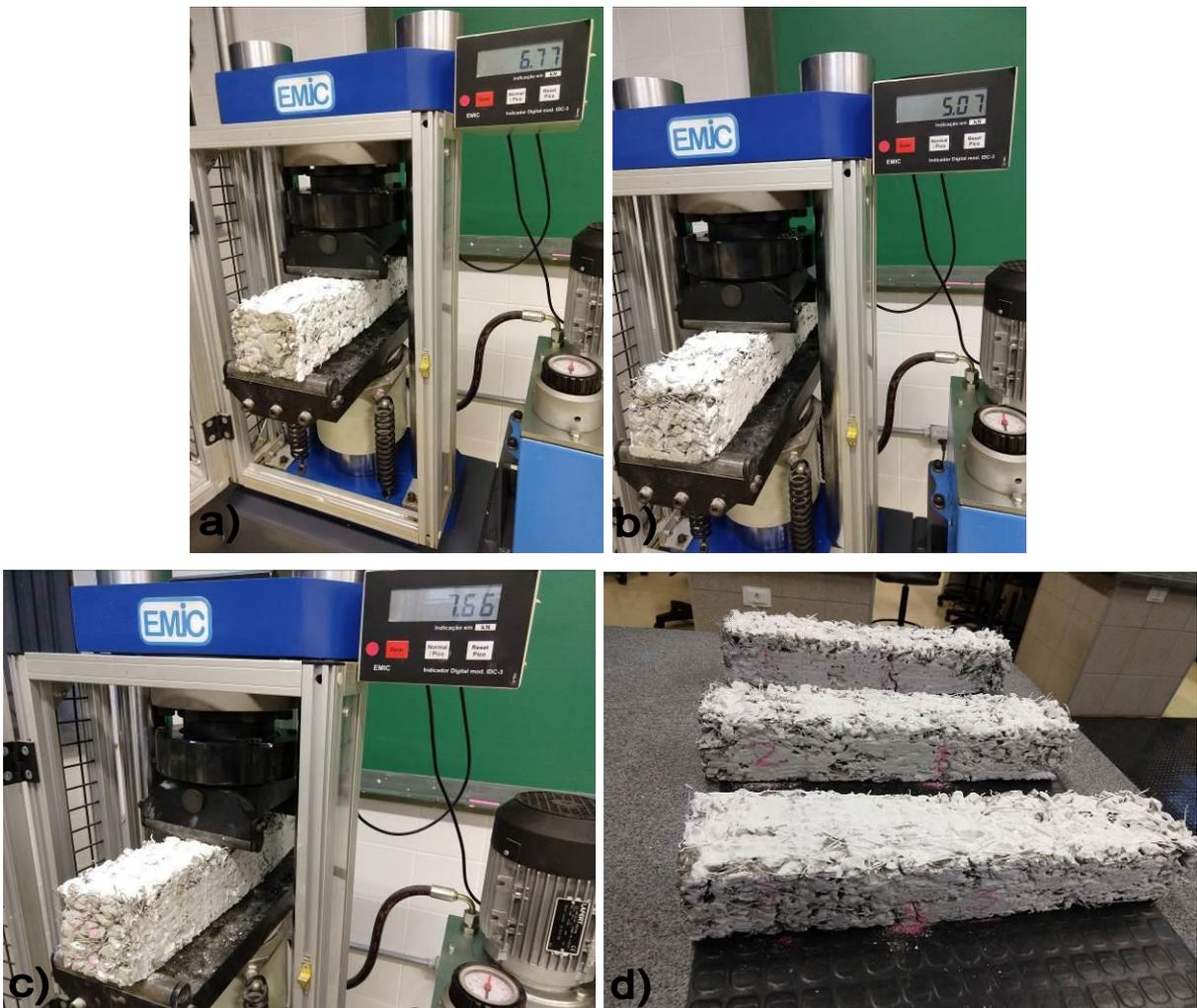
FIGURA 24 – Ensaio de tração na flexão para o CB.





Fonte: O autor, 2018.

FIGURA 25 – Ensaio de tração na flexão para o CFB.



Fonte: O autor, 2018.

TABELA 04 – Valores obtidos pela prensa hidráulica para os corpos de prova prismáticos no ensaio de tração na flexão

Carga máxima à tração na flexão (kN)				
	CR	CF	CB	CFB
CP 1	5,97	8,22	5,21	6,77
CP 2	5,87	9,26	5,54	5,07
CP 3	6,23	8,04	5,45	7,66

Fonte: O autor, 2018.

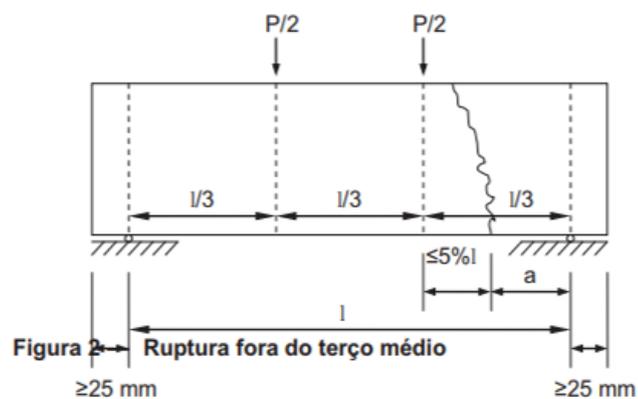
Como a prensa apresenta os valores de carga em kN, utiliza-se da maior força (pico máximo) apresentada na máquina para obter a resistência à tração na flexão ($f_{ct,f}$) em MPa, (ABNT NBR 12142:2010), obtida pela Equação 3:

$$f_{ct,f} = \frac{F \times l}{b \times d^2} \quad \text{Equação 3}$$

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância não superior a 5% de l (Figura 26), o valor é obtido através da Equação 4 (ABNT NBR 12142:2010):

$$f_{ct,f} = \frac{3 \times F \times a}{b \times d^2} \quad \text{Equação 4}$$

FIGURA 26 – Resistência à tração na flexão no terço do vão.



Fonte: ABNT NBR 12142, 2010.

Onde: F – Carga máxima apresentada pela prensa hidráulica, em N

l – Dimensão do vão entre apoios, em mm

b – Largura do corpo de prova, em mm

d – Altura do corpo de prova, em mm

a – Distância entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha do apoio mais próximo, em mm

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

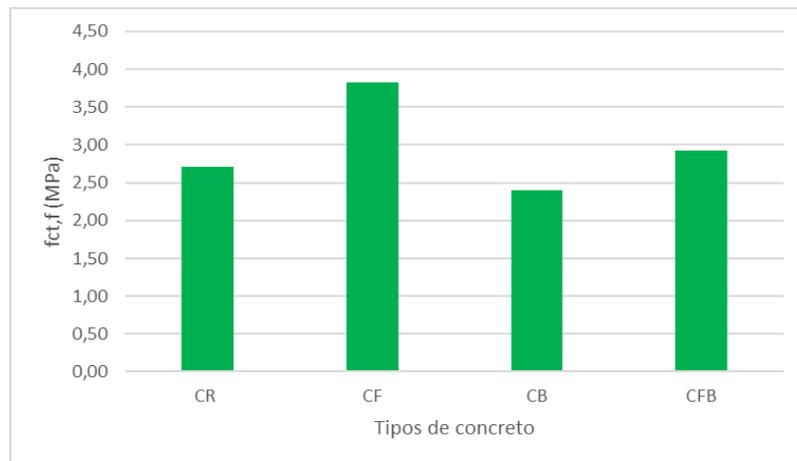
A Tabela 05 apresenta os valores obtidos de resistência a tração na flexão, juntamente com o valor médio obtido pelas 3 amostras e o desvio padrão (D.P.), responsável por quantificar a variação dos valores obtidos.

TABELA 05 – Valores em MPa da resistência à tração na flexão de 4 pontos para corpos de prova prismáticos.

Resistência à tração por flexão de 4 pontos (MPa)				
	CR	CF	CB	CFB
CP 1	2,69	3,70	2,27	3,45
CP 2	2,64	4,17	2,49	2,28
CP 3	2,80	3,62	2,45	3,05
MÉDIA	2,71	3,83	2,40	2,93
D.P.	0,08	0,30	0,12	0,59

Fonte: O autor, 2018.

Obtém-se então, o Gráfico 02, com a média das resistências para cada tipo de concreto analisado.

GRÁFICO 02 – Média das resistências à tração na flexão de 4 pontos.

Fonte: O autor, 2018.

Ao analisar o comportamento da inserção da borracha de pneu e das fibras ao concreto, nota-se que a fibra de aço aumentou a resistência à tração na flexão, enquanto a borracha acabou reduzindo a resistência à tração na flexão.

E a união da fibra de aço com a borracha de pneu foi satisfatória, porque mesmo apresentando amostras com uma mistura não homogênea, a resistência à tração foi superior ao concreto referência.

5 CONCLUSÕES

A partir dos ensaios de compressão axial e tração na flexão de 4 pontos, pode-se concluir que a inserção das partículas de borracha de pneu no concreto obteve-se uma maior resistência à compressão quando comparado com o concreto referência, correspondente a 52%, apresentando assim uma discordância aos trabalhos usados como base, visto que Albuquerque (2009, p.75) alega que a resistência à compressão seria reduzida em 65% quando substituído parcialmente 10% da areia pela borracha.

Porém, em relação à tração na flexão, o concreto apresentou uma redução na resistência de 13%, o que já era esperado. Assim, pode-se constatar que o emprego de borracha de pneu ao concreto, tem o potencial para ser utilizado em pavimentos asfálticos. Segundo Martins (2005, p.2;36) as partículas de borracha ao concreto podem resistir bem as variações de temperatura, esforços mecânicos e drenagem, além de colaborar com a problemática ambiental causado pela geração e descarte inapropriado.

No que se refere à inserção de fibras de aço no concreto, obteve-se um aumento significativo tanto na resistência à compressão com 24%, quanto na tração na flexão em 29%, concluindo-se então que o concreto reforçado com fibras de aço tem o potencial para ser utilizado em estruturas. Quinino (2015, p.199-200) reforça que as adições das fibras de aço ao concreto melhoram suas propriedades mecânicas e reduz a formação de fissuras.

Como os trabalhos base trataram as partículas de borracha de pneu e as fibras de aço separadamente, fica como sugestão para trabalhos futuros, testar novos traços relacionando os dois materiais, e até mesmo realizar ensaios mais aprofundados como tenacidade, modulo de elasticidade e microscopia óptica nos concretos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Albéria C. de. **Estudo das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneu**. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/16484/000702850.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 abr 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - Especificação**: NBR 7211. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**: NBR 5738. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos**: NBR 5739. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**: NBR NM 67. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**: NBR 12142. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**: NBR 8522. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 258, de 26/08/1999**. Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030342.pdf>. Acesso em: 25 abr 2018.
- FIGUEIREDO, Antonio D. de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: 2000. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/b/b4/Concreto-fibras-aço-Boletim-Antonio_Figueiredo.pdf>. Acesso em 25 abr 2018.
- GOMES, Italo A. das G. et al. **Desenvolvimento de concreto enriquecido com fibras de aço**. Disponível em: <<http://revista.uemg.br/index.php/reis/article/view/2421>>. Acesso em 26 out 2018.
- HELENE, Paulo R.L.; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.
- ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1 vol. São Paulo: Ibracon, 2011.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 2 vol. São Paulo: Ibracon, 2011.

KAMIMURA, Eliane. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneu pela indústria da Construção Civil**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83493/193675.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 16 abr 2018.

MARTINS, Israel R. de F. **Concreto de alto desempenho com adição de resíduos de borracha de pneu**. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91486/martins_irf_me_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 25 abr 2018.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

QUININO, Uziel C. de M. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras**. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/118825>>. Acesso em 08 mar 2018.

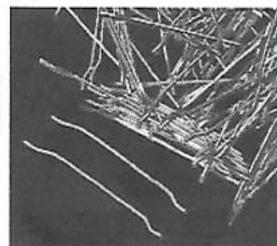
SALVADOR, Renan P. **Análise comparativa de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concreto reforçado com fibras**. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-29072013-115851/en.php>>. Acesso em: 12 dez 2018.

ANEXOS

ANEXO A – Catálogo de fibras para reforço de concreto fabricados pela Maccaferri.

Wirand®**Fibras para Reforço de Concreto****Características técnicas**

As fibras para reforço de concreto Wirand® são produzidas a partir de aço de baixo teor de carbono, trefilado a frio. As fibras de aço Wirand® quando adicionadas ao concreto, atuam como uma armadura tridimensional que redistribui as tensões aplicadas sobre o elemento estrutural aumentando a sua resistência.



Propriedades Físicas		FF1	FF3	FF4	FS3N	FS4N	FS7	FS8
Relação L/d (comprimento / diâmetro)	-	50	67	80	44	55	60	33
Tolerância do valor individual da relação L/d	%	15	15	15	15	15	15	15
Tolerância do valor médio da relação L/d	%	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Diâmetro	mm	1.00	0.75	0.75	0.75	0.60	0.55	0.75
Tolerância do valor individual do diâmetro	%	10	10	10	10	10	10	10
Tolerância do valor médio do diâmetro	%	5	5	5	5	5	5	5
Comprimento	mm	50	50	60	33	33	33	25
Tolerância do valor individual do comprimento	%	5	5	5	10	10	10	10
Tolerância do valor médio do comprimento	%	5	5	5	5	5	5	5

Propriedades Mecânicas		FF1	FF3	FF4	FS3N	FS4N	FS7	FS8
Resistência à tração do aço	MPa	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100
Deformação na ruptura	%	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Módulo elástico	MPa	210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000

Aplicação		FF1	FF3	FF4	FS3N	FS4N	FS7	FS8
Campos de aplicação indicados		pavimentos e pré-fabricados	pavimentos e pré-fabricados	pavimentos e pré-fabricados	concreto projetado	concreto projetado	concreto projetado	concreto projetado
Número de fibras por quilo.		3 244	5 767	4 806	8 738	13 653	16 248	11 308

Características do produto

Formato	As fibras de aço Wirand® apresentam um formato especial que garante a adesão entre as fibras e o concreto.
Produção	As fibras de aço Wirand® são produzidas, modeladas e cortadas através de estampagem de arames de aço com baixo teor de carbono, atendendo as normas: ASTM A 820/02, ASTM C 1116/03, DIN 1045, UNI 11037, EN 14889-1 e ABNT NBR 15530/07.
Apresentação	As fibras de aço Wirand® são acondicionadas em caixas ou sacos de 20 kg.

MACCAFERRI
AMÉRICA LATINA

A Maccaferri reserva-se o direito de revisar estas especificações em qualquer momento, de acordo com as características dos produtos fabricados.

www.maccaferri.com.br

Sistema de Gestão de Qualidade
Certificado de Conformidade com a
Norma ISO 9001:2000



Mar. 2011