

ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE CONCRETO CONVENCIONAL E O CONCRETO COM ADIÇÕES DE FIBRA DE AÇO

Lucas Nadler Rocha (Engenheiro Civil) E-mail: lucasnadlerrocha@hotmail.com
Danielle Cristina dos Santos Lisboa (Graduanda em Engenharia Civil) E-mail: daniellecristinaeng@gmail.com
Lucas dos Santos Zenkner (Engenheiro Civil) E-mail: lucaszenkner1@hotmail.com
Matheus Oliveira Sena (Engenheiro Civil) E-mail: matheus_osena@hotmail.com
Fabrício da Silva Cordeiro (Professor Especialista) E-mail: fabricio.cordeiro@undb.edu.br
Renata Medeiros Lobo Muller (Professora Doutora) E-mail: renata.muller@undb.edu.br
Claudemir Gomes de Santana (Professor Doutor) E-mail: csantana0405@gmail.com

Resumo: No contexto atual da construção civil, nota-se um grande aumento da utilização do concreto, e com isso também trouxe o aumento dos locais onde este fosse aplicado. Sabe-se que o concreto apesar de ter uma ótima resistência à compressão ele possui um comportamento frágil, fazendo com que o concreto convencional em locais onde os esforços de tração solicitados fossem superiores ao que ele entregava, havia corroborado sua inviabilidade, desta forma atestou-se a necessidade de estudos e pesquisas acerca de reforços do concreto, utilizando materiais capazes de transferirem suas características mecânicas sem que houvesse prejuízos em outros quesitos. Um dos materiais utilizados para isso são filamentos metálicos descontínuos chamados de fibra de aço que são inseridos no concreto, desta maneira o presente trabalho tem como principal objetivo fazer o estudo comparativo do desempenho entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibra de aço, onde as adições ensaiadas foram de 20, 25 e 30kg/m³ com idade de 7 e 28 dias, no qual após o preparo da massa de concreto, foi feito o ensaio de abatimento e nas referidas datas foram ensaiadas à compressão axial e diametral para obter as resistências à compressão e tração, respectivamente. Foi notado uma diminuição significativa da fluidez proporcionalmente à adição de um maior teor de fibras e o concreto de 25kg/m³ obteve um desempenho superior aos demais ensaiados.

Palavras-chave: Fibra de aço, compressão axial, compressão diametral

COMPARATIVE STUDY OF PERFORMANCE BETWEEN CONVENTIONAL CONCRETE AND CONCRETE WITH ADDITIONS OF STEEL FIBER

Abstract: In the current context of civil construction, we can notice a large increase in the use of concrete, and with it also brought the increase of the places where it was applied. It is known that the concrete, despite having an excellent compressive strength it has a fragile behavior, making that the conventional concrete, in places where the requested tensile forces, were higher than what it delivered, had corroborated its The need for studies and research on concrete reinforcements, using materials capable of transferring their mechanical characteristics without any damage to other requirements. One of the materials used for this is discontinuous metallic filaments called steel fiber that are inserted in concrete. Therefore, the main objective of this work is to make a comparative study of the performance between conventional concrete and steel fiber reinforced concrete, where the tested additions were 20, 25 and 30kg / m³ at the age of 7 and 28 days, In which, after the concrete mass preparation, was performed The abatement test and in these dates were tested to axial and diametric compression to obtain the compressive and tensile strengths, respectively. Was noticed a significant decrease in fluidity proportional to the addition of a higher fiber content, and the 25kg/m³ concrete obtained a performance superior to the others tested.

Keywords: Steel fiber, axial compression, diametral compression

1. Introdução

Pode-se afirmar que a construção civil se desenvolveu muito nos últimos anos, principalmente no aprimoramento de materiais à serem utilizados. De forma generalizada e em grandes grupos, os materiais que possuem capacidade estrutural na construção civil podem ser divididos de duas formas com relação à sua curva de tensão-deformação, classificados como

dúcteis ou frágeis, onde os materiais dúcteis possuem ligações que permitem maior movimentação das moléculas, como por exemplo o caso dos metais, já o material frágil há uma ruptura abrupta no fim da deformação, sem que haja um patamar de escoamento, como é o caso do concreto (RODRIGUES, 2010). O concreto é de suma importância na construção civil principalmente pela sua predominante utilização se comparado a outros sistemas construtivos, sendo utilizado de diversas formas, com isso havendo uma variação de esforços solicitantes principalmente quando falamos de peças estruturais. Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência à tração é bem inferior à sua resistência à compressão, possuindo uma tração variando de 7 a 11% da compressão. Com isso necessitou-se reforçar o concreto com materiais que melhorassem o compósito de acordo com este tipo de esforço solicitante, como por exemplo o aço. O aço é corriqueiramente utilizado na construção civil, como por exemplo em forma de fibra.

As fibras de aço nada mais são que elementos descontínuos de aço, que são formados por uma diversa gama de formatos e dimensões (FIGUEIREDO, 2000). De acordo com Mehta & Monteiro (2014), as fibras são adicionadas ao concreto para aprimorar resistência à fissuração, resistência a impacto, tenacidade e outras propriedades. A American Concrete Institute (ACI), afirma que as fibras são utilizadas para transferir tensões recebidas pela matriz, transferindo esta para as fibras, por conta da sua característica que é a interação fibra-matriz (ACI 544.4R, 1988). Segundo a ACI 544 3R (2008), as fibras de aço podem ser usadas tanto em peças estruturais quanto em não estruturais.

Segundo Figueiredo (2000), no concreto sem fibras, durante a propagação de fissuras acontece uma concentração de tensões, com isso faz com que haja uma grande tensão num só ponto, fazendo com que o material sofra ruptura de forma abrupta, já que o concreto é marcadamente frágil, diferentemente do que acontece no concreto com adição de fibras de aço. Quando há a propagação de fissuras e vai haver essa concentração de tensões, as fibras trabalham como pontes de tensões fazendo com que estas não se concentrem na extremidade, assim o aço escoando e com isso aumenta a ductilidade, conseqüentemente aumenta sua resistência, principalmente resistência à tração. A Figura 1 mostra esta concentração de tensões no concreto com e sem fibras.

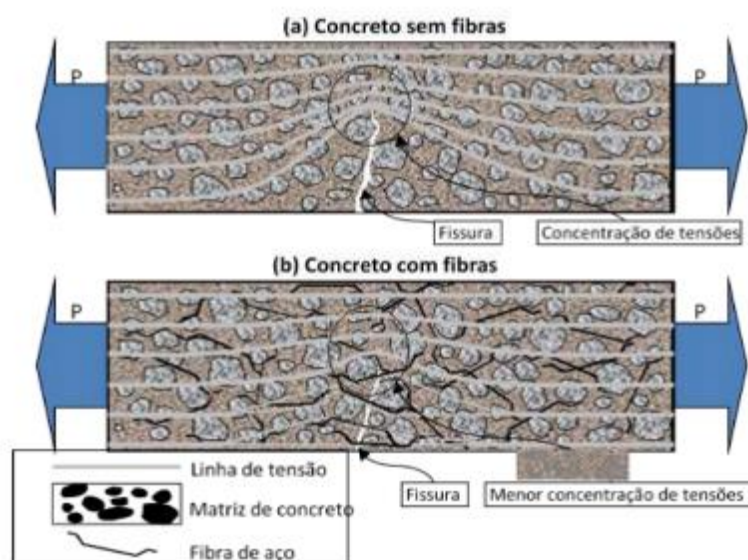


Figura 1 – Concentração de tensões no concreto sem fibras pós fissuração (a) e tensões no concreto com fibras, pós fissuração(b)

Fonte: Figueiredo, (2011).

Apesar das vantagens, deve-se ter precauções ao confeccionar o concreto com adições de fibra de aço. É recomendado que o comprimento da fibra seja igual ou superior a duas vezes o diâmetro máximo do agregado, onde essa compatibilidade faz com que a interação da fibra com a matriz seja para reforço do concreto e não apenas da argamassa do concreto, já que a fibra deve atuar como ponte de transferência de tensões para controle de fissuras e estas devem ter comprimento que facilite o seu posicionamento em relação às fissuras para trabalhar corretamente (FIGUEIREDO, 2000). Na Figura 2(a) foi expresso o comportamento do concreto com a adequada compatibilização do agregado, já a Figura 2(b) ilustra a ineficiência do controle de fissuras pelas fibras, sem os agregados compatibilizados.

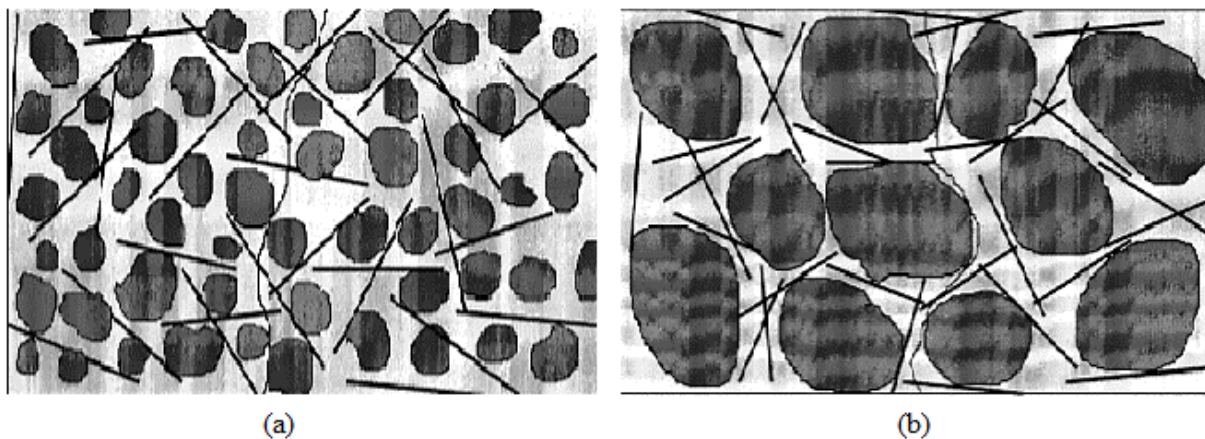


Figura 2 – Correta transferência de tensões no concreto com agregado compatibilizado (a) e má transferência de tensões sem agregado compatibilizado (b)

Fonte: Figueiredo, (2000).

Durante a confecção do concreto deve se atentar à forma de inserção das fibras no concreto e no comportamento dele após as mesmas serem inseridas. Conforme Shakhmenko *et al.*, (2007), a trabalhabilidade do concreto é diminuída pela adição de fibras de aço. Os aditivos podem ser usados no CRFA (concreto reforçado com fibra de aço) para reduzir a água, o preenchimento de vazios e aumentar a trabalhabilidade (GUIMARAES, 1999). Com isso faz-se necessário um cuidado ao fazer a adição das fibras sendo necessário a adição de aditivos superplastificantes até para manter o mesmo parâmetro para todas as amostras. De acordo com Ceccato (1997 apud GUIMARAES, 1999), o abatimento do tronco de cone é eficiente para medir consistências de concretos com valores inferiores que 80kg/m^3 de fibra de aço. Segundo ACI 544.3R (2008), é recomendada a adição da fibra de aço numa mistura fluida, para com isso diminuir as chances de formação de aglomeração das fibras, também chamados de ouriços.

Para concretos que possuam fibras mais ou menos distribuídas aleatoriamente, possuem ganhos pequenos de resistência, chegando talvez a 60% (BENTUR & MINDESS, 2007). De acordo com Figueiredo (2000), os concretos de 20 MPa confeccionados em seu trabalho, com as adições de fibra de 20 e 30kg/m^3 , tiveram uma diminuição da resistência à compressão de até 14% quando comparado ao concreto referência, e também um acréscimo de até 12,7% da resistência à tração do concreto com fibras em relação ao convencional

O presente trabalho visa ensaiar o concreto convencional e com adições de 20, 25 e 30kg/m^3 de fibra de aço, em 7 e 28 dias, coletando a resistência à compressão através do ensaio de compressão axial e resistência à tração através do ensaio de compressão diametral.

2. Materiais e métodos

O cimento utilizado foi CII-Z-40-RS, foram utilizadas areia média classificada conforme a norma NBR 7211 (ABNT, 2005), o módulo de finura da areia é de 1,81 e diâmetro máximo da pedra brita é de 25mm classificada através do ensaio granulométrico embasado pela norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Conforme representado na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos Agregados

Caracterização	Areia	Brita
Massa Específica (g/cm ³)	2,65	2,71
Módulo de Finura	1,81	-
Diâmetro Máximo (mm)	-	25

A classificação das fibras de aço de acordo com seu tipo, classe e geometria é determinada conforme a norma NBR 15530 (ABNT, 2007).

A fibra de aço utilizada foi de ancoragem nas extremidades e comprimento de 60mm e fator de forma 80, classificada como AI (tipo e classe da fibra, respectivamente). Com isso constata-se a compatibilização do agregado com a fibra de aço como supracitado.

Para manter um mesmo padrão de fluidez para todas as dosagens foi utilizado o aditivo superplastificante Glenium 51.

O Centro Universitário – UNDB disponibilizou a água utilizada no concreto e o laboratório com os equipamentos e reservatórios necessários para confecção do mesmo e cura dos corpos de prova.

O concreto foi dimensionado para obter 25MPa aos 28 dias onde a metodologia do cálculo para este concreto que foi usada foi o método ABCP criado por Rodrigues (1998). As adições de fibra de aço inseridas nas dosagens foram de 20, 25 e 30kg/m³ e as amostras ensaiadas em 7 e 28 dias. As fibras de aço foram inseridas no concreto de forma aleatória a fim de fazer estas fibras ficarem distribuídas em diversas direções no compósito, fazendo com que combatesse a fissuração (CARVALHO & FIGUEIREDO FILHO, 2017). Foi preparado o concreto convencional, e com essa mesma dosagem foi utilizado nos concretos reforçados com fibras de aço (CRFA) para efeito comparativo de desempenho. A Tabela 2 mostra a dosagem utilizada nos corpos de provas ensaiados.

Tabela 2 – Dosagem dos corpos de prova ensaiados

Concretos	Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Fibra de aço (kg/m ³)
CREf	350,88	715,50	1113	200	0
CRFA20	350,88	715,50	1113	200	20
CRFA25	350,88	715,50	1113	200	25
CRFA30	350,88	715,50	1113	200	30

Onde:

CREF: Concreto referência, sem adição de fibra

CRFA20: Concreto com adição de 20kg/m³ de fibras de aço

CRFA25: Concreto com adição de 25kg/m³ de fibras de aço

CRFA30: Concreto com adição de 30kg/m³ de fibras de aço

Para preparar a massa de concreto fresco baseou-se na norma NBR 5738 (ABNT, 2015), após o preparo de cada dosagem foi realizado o ensaio de abatimento para determinação da fluidez do concreto conforme as instruções da norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), quando colocado nos moldes foi realizado o adensamento com a mesa vibratória, e com isso separados e colocados para endurecer durante 24h, então foram desmoldados e colocados no tanque para cura imersa em água. Assim 24h antes de cada ensaio foram retirados os respectivos corpos de provas para rompimento. A Figura 3 mostra o concreto sendo vibrado e o armazenamento dos corpos de prova para cura do concreto.

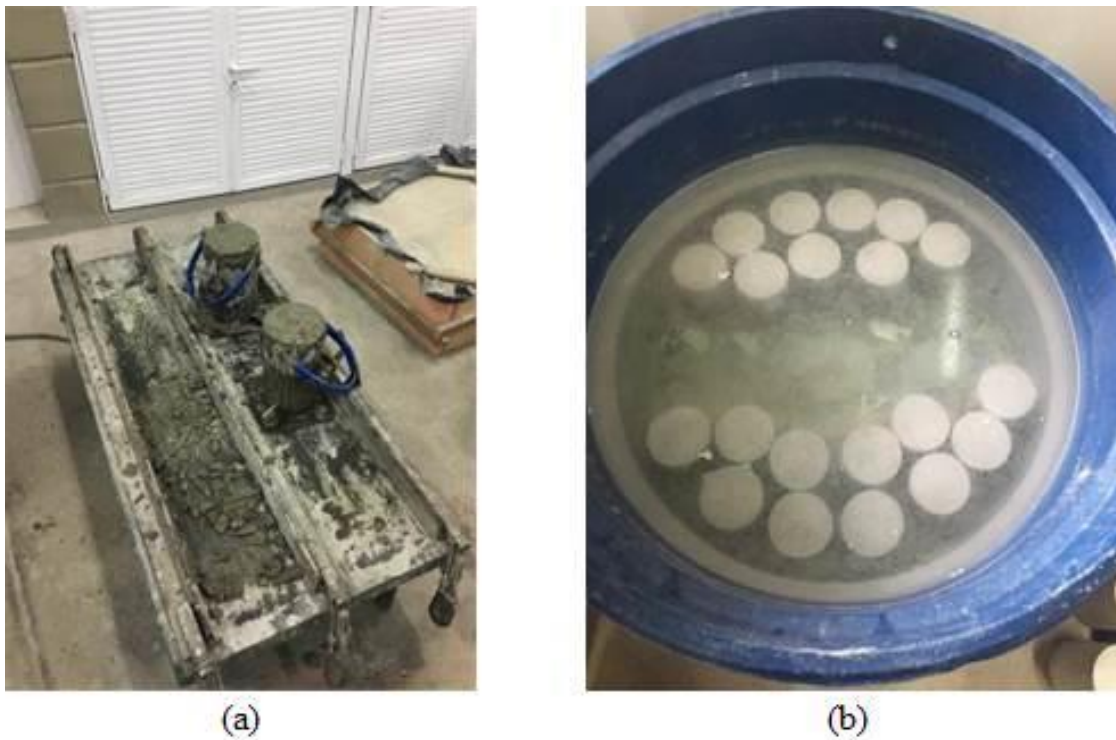


Figura 3 – Adensamento do concreto na mesa vibratória (a) e corpos de prova curados no tanque de água (b)

No ensaio de compressão axial foram utilizadas as recomendações da norma NBR 5739 (ABNT, 2018) e para o ensaio de compressão diametral usou-se a norma NBR 7222 (ABNT, 2015). Onde foram ensaiados três corpos de prova para cada dosagem em cada um dos ensaios, totalizando 48 corpos de prova rompidos. A Figura 4 mostra os ensaios de compressão axial e diametral.



Figura 4 – Ensaio de compressão axial (a) e ensaio de compressão diametral (b)

3. Resultados e discussões

3.1 Ensaio de abatimento

Antes de preparar o concreto havia sido definido um abatimento de $90\text{mm} \pm 20\text{mm}$, realizou-se o ensaio de abatimento em conformidade com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Com isso notou-se inicialmente que ao fazer o concreto sem fibras de aço foi obtido um concreto que conforme o ensaio de abatimento, possuía abatimento médio de 80mm. Adicionada as fibras em cada traço notou-se uma diminuição na consistência e assim corrigido através da inserção do aditivo. Como já supracitado, quando há a adição de fibras de aço no concreto se tem uma notória alteração na consistência do mesmo, então foi utilizado o aditivo Glenium 51 já mencionado nos materiais, visto que este aditivo provoca o aumento da trabalhabilidade do concreto para manter a mesma fluidez. Observa-se na Figura 5 o ensaio de abatimento feito no concreto com adição de fibra de aço.



Figura 5 – Ensaio de abatimento

Durante o preparo dos corpos de prova e assim realizados os ensaios de abatimento, foram obtidos os valores médios expressos na Tabela 3.

Tabela 3 – Abatimento dos corpos de prova

Corpos de prova	CREF	CRFA20	CRFA25	CRFA30
Abatimentos (mm)	80	110	110	100

3.2 Ensaio de compressão axial

Assim que os corpos de provas foram ensaiados em 7 e 28 dias à compressão axial, foram obtidas suas resistências, e para efeito de definir um desempenho único para cada dosagem, em cada dosagem foi feita uma média dos valores obtidos dos corpos de prova rompidos e estes sendo expressos na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Resistência à compressão média

Datas de rompimento	CREF	CRFA20	CRFA25	CRFA30
7 DIAS	17,75MPa	15,11MPa	16,09MPa	13,57MPa
28 DIAS	25,56MPa	21,88MPa	22,72MPa	18,09MPa

A Figura 6 abaixo é um gráfico comparativo das resistências à compressão média obtidas nos ensaios.

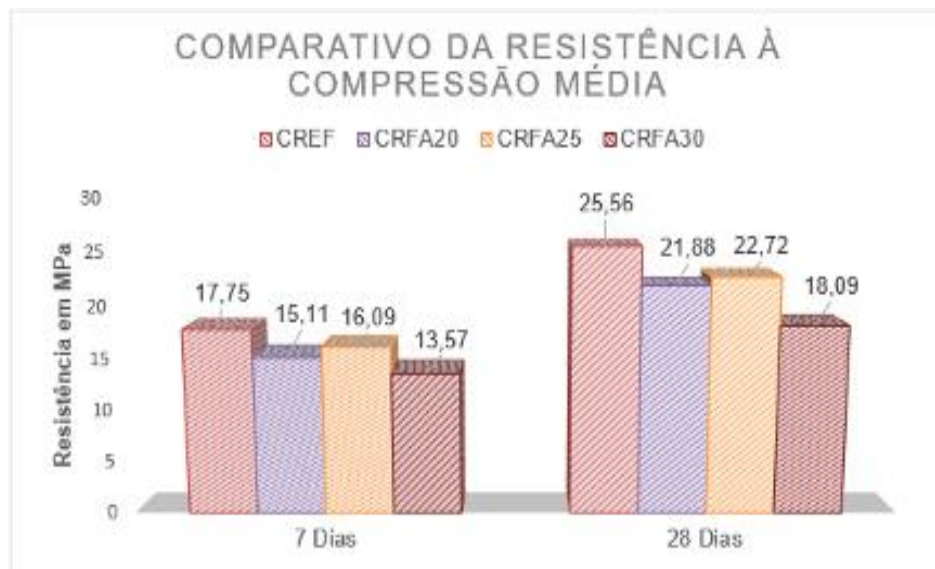


Figura 6 – Comparativo das resistências à compressão média em 7 e 28 dias

O CREF teve maior desempenho, onde este em 7 dias foi maior 2,64MPa que o CRFA20, 1,66MPa que o CRFA25 e 4,18MPa que o CRFA30. Em 28 dias teve uma diferença de 3,68MPa em relação ao de CRFA20, 2,84MPa em comparação ao de CRFA25 e 7,47MPa em

equiparação ao de CRFA30. No concreto com adições de fibra de aço nota-se um valor de resistência à compressão inferior em relação ao convencional como já constatado no trabalho de Figueiredo já supracitado. Pode-se constatar que a diferença de compressão do concreto reforçado com fibra e do convencional aumentou no decorrer dos dias e essa diferença foi maior no CRFA30. Ao considerar um dimensionamento do concreto com baixos teores de fibra de aço, deve-se levar em consideração no cálculo essa diferença de compressão, já que a adição de fibras no concreto tem como fundamental importância a melhora de resistência à tração. Como já citado anteriormente o concreto é um material que resiste muito bem à compressão, após a proporcional adição de fibra de aço no concreto houve uma diminuição do teor de argamassa nos corpos de provas ensaiados, assim também influenciando na resistência à compressão dos mesmos.

3.3 Ensaio de compressão diametral

Assim que os corpos de provas foram ensaiados em 7 e 28 dias à compressão diametral, foram obtidas suas resistências, e para efeito de definir um desempenho único para cada dosagem, em cada dosagem foi feita uma média dos valores obtidos dos corpos de prova rompidos e estes sendo expressos na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Resistência à tração média

Datas de rompimento	CREF	CRFA20	CRFA25	CRFA30
7 DIAS	1,77MPa	1,87MPa	2,18MPa	1,83MPa
28 DIAS	2,4MPa	2,68MPa	2,76MPa	2,67MPa

A Figura 7 mostra a relação das resistências à tração entre os concretos em 7 e 28 dias.

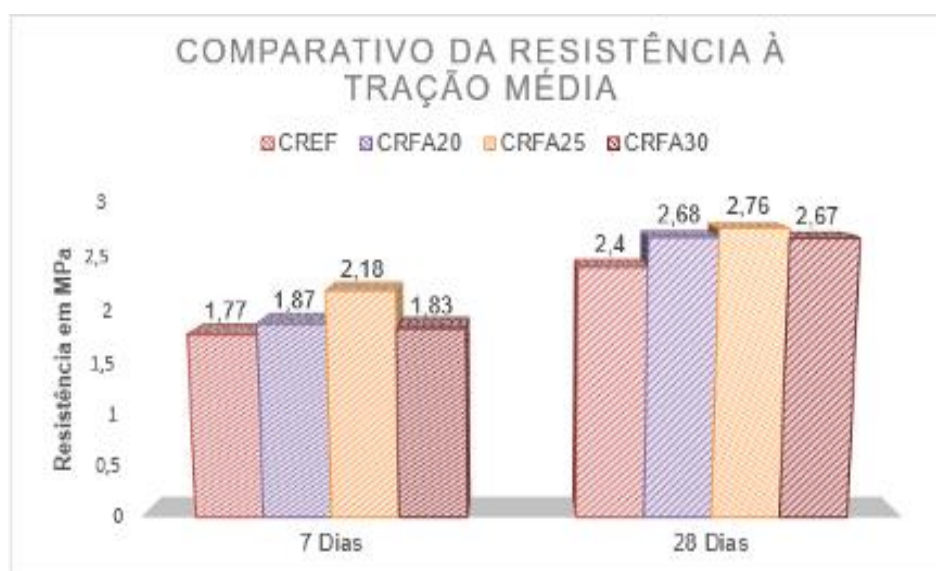


Figura 7 – Comparativo das resistências à tração média em 7 e 28 dias

De acordo com o gráfico, é possível constatar que o concreto convencional teve desempenho

à tração inferior a todos os CRFAs, tanto em 7 quanto em 28 dias, onde em 7 dias a resistência à tração do CRFA20 teve desempenho 0,1MPa maior que o convencional, o CRFA25 superou em 0,41MPa e o de CRFA30 foi 0,06MPa maior. Em 28 dias o de CRFA20 foi 0,28MPa superior, o CRFA25 foi 0,36MPa maior e o CRFA30 foi 0,27MPa maior. Pode-se afirmar que houve um ganho de resistência à tração como afirmado no trabalho de Figueiredo, e como as fibras foram distribuídas aleatoriamente este ganho foi inferior à 60%, em conformidade com o trabalho de Bentur & Mindess (1998).

Após ensaiados, tanto em 7 quanto em 28 dias, as resistências à tração dos CRFAs de 20kg/m³ e 30kg/m³ ficaram bem semelhantes, sendo a de CRFA30 levemente inferior, desta forma pode-se constatar que ao utilizar um destes teores para reforçar o concreto para melhorar tração, não teve benefício aumentar o teor de 20 para 30kg/m³.

Aos 7 dias, a dosagem de 25kg/m³ de adição de fibras possuiu uma resistência à tração que se destacou dentre as demais.

4. Conclusão

Ao realizar os experimentos do trabalho foi possível constatar uma mudança notável no comportamento do concreto com adição da fibra de aço, já que sua trabalhabilidade foi diminuída, assim, para manter o parâmetro de consistência foi necessário fazer a utilização de aditivo superplastificante.

Com os corpos de prova ensaiados à compressão axial notou-se resultados satisfatórios, foi possível concluir que tanto em 7 quanto 28 dias, a resistência à compressão do concreto convencional foi superior aos dos concretos com adições de fibras, só que dentre os concretos com adição de fibra o que teve a resistência à compressão mais notável foi o CRFA25, que possuiu valores maiores em 7 e 28 dias, já os desempenhos do CRFA20 teve sua resistência bem próxima ao de CRFA25 além de possuir uma amplitude maior, ou seja, ganhou mais resistência no decorrer do tempo que o outro, enquanto o CRFA30 teve resistência e amplitude inferior aos demais concretos, assim podendo concluir que dentre as adições ensaiadas não corroborou-se vantajoso o aumento da adição de fibra de aço para 30kg/m³ já que seu desempenho à compressão é minorado com relação aos outros. Mesmo o de 25kg/m³ tendo o melhor desempenho, por conta da semelhança da resistência com o de 20kg/m³ deve-se fazer um estudo econômico para avaliar a viabilidade do aumento deste teor de fibras.

Obteve-se o objetivado com as amostras ensaiadas à tração, já que foi possível constatar que os concretos com adições de fibra tiveram melhor desempenho quando comparados ao convencional, se destacando o CRFA25 já que aos 7 dias teve sua tração 23,16% superior ao concreto convencional, só que diminuiu de 23,16% para 15% superior em 28 dias, sendo este quem possuiu melhor desempenho dentre as outras adições. Assim, pode-se dizer que no parâmetro de tração é viável a adição de qualquer teor de fibra dentre os ensaiados quando comparados ao convencional, sendo o com adição de 25kg/m³ o que obteve melhor desempenho dentre os demais, aos 7 dias a diferença foi notória, só que aos 28 dias os valores se mantiveram próximos entre os concretos com adições.

De maneira geral, é possível dizer que houve uma redução na resistência à compressão compreendida pela diminuição do teor de argamassa proporcionalmente à adição de fibras ao concreto. Também se nota que o CRFA25 teve o melhor desempenho, onde inicialmente sua resistência à tração foi bastante superior às outras.

Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI 544.3R-08)** – *Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete*. Reported by ACI committee 544, 2008.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI 544.4R-88)** – *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete*. Reported by ACI committee 544, Reapproved 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. *NBR 15530*: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. *NBR 5738*: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. *NBR 5739*: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2018.
- _____. *NBR 7211*: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2009.
- _____. *NBR 7222*: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. *NBR NM 248*: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. *NBR NM 67*: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 1998.
- BENTUR, A.; MINDESS, S.** *Fiber reinforced cementitious composites*. Second Edition, USA, 2007.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.** *Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2014*. ed.4, São Carlos, Edufscar, 2017, 415p.
- FIGUEIREDO, Antônio Domingues Figueiredo.** *Concreto com fibra de aço*. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- GUIMARÃES, Ana Elisabete Paganelli.** *Análise de pilares de concreto de alta resistência com adição de fibras metálicas submetidos á compressão centrada*. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999, 131p.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M.** *Concreto microestrutura, propriedades e materiais*. 2 ed. Editora: IBRACON, 2014, 782p.
- METHA, P. K; MONTEIRO, P.J.M.** *Microestrutura, propriedades e materiais*. 3 ed. Editora Imbracon, São Paulo, 2008.
- RODRIGUES, Públio Penna Filho.** *Manual de pisos industriais: fibras de aço e protendido*. Editora Pini, São Paulo, 2010, 143p.
- RODRIGUES, Pubio Penna Firme.** *Parâmetros de dosagem do concreto*. 3ed.. Editora: Imbracon. São Paulo, 1998.
- SHAKHMENKO, G.; KRASNIKOVS, A.; EIDUKS, M.** *Fiber concret for construction member subjected to bending load*. 9 th. International Conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques ‘’: Book of Abstracts, Lithuania, Vilna, May, 2007.