



ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE AÇO INDUSTRIALIZADA E RESÍDUO DA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA

KLEIN, Francis Augusto¹

MARTINS, Wesley Gean²

PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento³

RESUMO: O presente artigo teve por objetivo realizar um estudo para propor uma alternativa de adição ao concreto armado, verificando a possível substituição de adições de fibra industrializada por resíduos da indústria metal mecânica (cavaco de torno) para melhorar parâmetros de tração. O estudo foi realizado a partir de uma metodologia experimental feita por ensaios de compressão axial e tração na flexão realizados em laboratório. Como resultado, chegou-se a conclusão de que o cavaco de torno na proporção adotada não foi um substituto adequado à fibra industrializada, entretanto não se pode ser destacado uma vez que foi utilizado apenas uma proporção e um traço de concreto para os ensaios.

Palavras-chave: Fibras, adição, resíduo, resistência a tração na flexão.

1 INTRODUÇÃO

A utilização do compósito CRF (concreto reforçado com fibra) pode ser uma alternativa perante o uso do concreto armado para estruturas contínuas e pré-moldados (FIGUEIREDO, 2011).

Os materiais compósitos são utilizados na construção civil desde a antiguidade. Compósitos são materiais da construção civil constituídos genericamente por duas fases: a matriz e as fibras. As fibras atuam como um reforço da matriz em função das propriedades de ambas. Atualmente, na construção civil, a utilização de compósitos tem crescido consideravelmente, sendo encontrado em diversas aplicações como telhas, painéis de vedação vertical e em estruturas de concreto como túneis e pavimentos, em que o concreto reforçado com fibra vem aumentando seu grau de aplicabilidade (FIGUEIREDO, 2000).

Apesar das fibras se apresentarem como uma opção bastante aplicada na construção civil, o CRF pode ser produzido com a utilização de resíduos da indústria metal mecânica,

¹ Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR, francisklein98@gmail.com.

² Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR, wesley_gean@hotmail.com.

³ Docente, Mestre, Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.

substituindo a fibra de aço. De acordo com Simião (2011), as indústrias geram diferentes resíduos sólidos, de diferentes características e quantidades, que devem ser destinados e descartados adequadamente, a fim de não causar contaminação do meio ambiente e problemas à saúde dos seres vivos.

Freitas (2013) conduziu um estudo com relação a utilização de resíduos da indústria metal mecânica (cavaco de usinagem) como item de melhoramento das propriedades mecânicas do concreto, obtendo resultados consideráveis em relação à fibra de aço, justificando a necessidade da realização de mais estudos nesse âmbito.

Com estas informações, a justificativa para a realização dessa pesquisa foi devido ao fato do resíduo de usinagem (cavaco de torno) não possuir um descarte adequado. Tendo em vista essa necessidade, o presente estudo sugere uma forma adequada da utilização desses resíduos como item de melhoramento do comportamento mecânico do concreto.

Neste sentido, realizar este trabalho acadêmico justifica-se dentro de uma relevância social/ambiental, tendo em vista o reaproveitamento desses resíduos evitando uma possível contaminação do meio ambiente, bem como pode-se apresentar economicamente viável se os resultados esperados forem satisfatórios.

O descarte de forma incorreta desses resíduos em lugares inapropriados pode trazer sérios riscos ao meio ambiente. Para tanto, a pergunta a ser respondida com a realização dessa pesquisa será a seguinte: É possível ter um ganho de resistência tanto para compressão quanto à tração do concreto realizando adições de resíduos da indústria metal mecânica?

Este estudo foi limitado à comparação dos resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão e ensaios de resistência a tração para o concreto convencional, com adição de fibra de aço e com adição de resíduos da indústria metal mecânica (cavaco de usinagem). O levantamento dos dados foi feito por ensaios de laboratório realizados no Laboratório de Construção Civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz. Restringiu-se à pesquisa, a determinação das propriedades mecânicas do concreto.

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho teve como objetivo geral analisar o comportamento mecânico do concreto quando submetido a esforço de compressão e flexão adicionando resíduos de metal mecânica na quantidade de 20kg por m³ de concreto e fibra de aço industrializada também na quantidade de 20kg por m³ de concreto.



Salienta-se que para que este trabalho científico possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- a) Determinar a resistência à compressão axial do concreto com as adições propostas e convencional sem adições;
- b) Determinar a resistência à tração do concreto com as adições propostas e convencional sem adições.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

Concreto é um insumo da construção civil derivado da mistura em proporções racionais, de aglomerante (cimento), agregados (brita e areia) e água. Logo após a mistura, a característica física deve ser plástica, a ponto de ser possível realizar o seu manuseio, transporte e lançamento, adquirindo resistência e coesão ao longo da cura, resultantes das reações químicas da mistura de aglomerante e água (ALMEIDA, 2002).

Para Chust (2014), o concreto em si (sem armadura) é considerado não adequado como elemento resistente, pois possui boa resistência à compressão, no entanto, quando submetidos a esforços de tração apresenta pouca resistência (cerca de 10 % da resistência a compressão). Exemplos comuns para esse tipo de situação, na qual o concreto precisa resistir tanto à tração quanto à compressão são os elementos fletidos, em que em uma mesma seção transversal existem tanto tensões de tração quanto de compressão. Esse tipo de solicitação existe de forma muito frequente nas estruturas de construções usuais.

Os projetistas estruturais, em geral, elaboram seus projetos pensando na segurança e, consequentemente, na fissuração dos elementos relacionadas às tensões de tração, porém existem outros esforços externos aplicados que geram a fissuração do concreto, tais como: flexão, cisalhamento, punção, torção, alguns casos de protensão, entre outros (CARMONA e CARMONA, 2013).

O concreto se apresenta como um elemento em que sua característica de ruptura é frágil e, quando comparado com materiais de rupturas dúcteis ao exemplo do aço, observa-se



que a capacidade de deformação se torna ligeiramente reduzida (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.2 CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO

O Concreto Reforçado com Fibras de Aço - CRFA, segundo Ferreira (2002), vem sendo aplicado e utilizado nos mais variados tipos de obra de engenharia, como por exemplo, em obras hidráulicas, pavimentos viários rígidos, túneis e pisos industriais, sendo possível tornar as estruturas mais duráveis, esbeltas e diretamente proporcionais a se tornar uma obra mais econômica.

Para Beglarigale e Yazici (2015), os avanços referentes ao desenvolvimento de novos materiais trouxeram o concreto reforçado com fibras, sendo um material de construção composto que contém fibras de vários materiais adicionados à matriz de concreto. As propriedades mecânicas destes compósitos são influenciadas pela ligação fibra-matriz, possibilitando aumento de ductilidade e resistência mecânica quando comparado ao concreto simples.

De acordo com Ferreira (2002), em concretos convencionais sem utilização de fibras, as fissuras se tornam incontroláveis logo após o seu aparecimento. Porém, em concretos reforçados com fibra de aço, as fissuras acabam se estabilizando por serem costuradas pelas fibras, em que o compósito é capaz de suportar as cargas impedindo a fissuração. O fraturamento do elemento somente ocorrerá após a dissipação de uma parcela substancial de energia envolvida em conjunto com o processo de arrancamento (*pull-out*) das fibras de aço.

Segundo Garcez (2005), as fibras podem servir para controlar a fissuração de estruturas submetidas a cargas de energias elevadas ocasionadas em um curto espaço de tempo. Desta forma, é possível a construção de compósitos a serem utilizados em situações em que haja probabilidade de quedas ou choques de objetos, de explosões, ou ainda para resistência à penetração de projéteis na estrutura.

2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRA DE AÇO

Os concretos reforçados com fibras de aço formam um dos materiais mais promissores para utilização em estruturas, devido às fibras possibilitarem que o concreto conserve grandes deformações na carga de última de ruptura ou próxima a ela, além de aumentarem a resistência à tração, flexão, cisalhamento e compressão, devido à capacidade de transferência de cargas pelas fissuras, aumentando assim, a capacidade de absorver energia e de controlar o mecanismo de abertura de fissuras (GOMES, 2016).

Guimarães (2010) em estudo conduzido, afirma que o concreto com adição de fibra de aço apresentou melhorias nas propriedades da resistência à compressão axial e o ganho foi de 8,0 % em comparação ao concreto convencional. No entanto, o ganho maior se deu na análise das propriedades de resistência à tração por flexão simples, atingindo o desempenho de 514 % em termos de ganho de resistência. TAHENNI *et al.* (2016), também apresentaram resultados satisfatórios com a adição de fibra no que se refere ao desempenho da resistência à compressão.

No entanto, Lima (2012) complementa que os resultados obtidos em sua pesquisa apontaram para uma diminuição, não significativa, da resistência à compressão do concreto com fibras quando comparado ao com o concreto sem fibras. Ainda segundo o autor, essa redução de resistência pode ter sido em função da quantidade de fibra adicionada.

Para o ACI 544.1R (1996), a resistência à compressão do CRFA é pouco influenciada pelas fibras e o incremento de resistência dessa propriedade mecânica é em torno de 15% com a adição de 1,5% de fibras em relação ao volume de concreto. Já em relação à resistência a tração há uma melhora significativamente, sendo esse acréscimo de carga em torno de 30 a 40% para adições de 1,5% de fibras à massa de concreto.

Com relação a cisalhamento, as fibras de aço, além de aumentarem a resistência a este tipo de esforço, também apresentam potencial para substituição dos estribos em vigas. O melhor desempenho do CRFA aos esforços de cisalhamento estão relacionados a capacidade das fibras em conter a abertura das fissuras, em aumentar a capacidade resistente do concreto quanto à formação da primeira fissura e à carga de última, além de aumentar a adesão por atrito com a matriz de concreto (ACI 544.1R, 1996).



Gustafsson e Noghabai (1997), com base em suas pesquisas, complementam que concretos contendo fibras curtas e longas contribuem melhor para a resistência do concreto ao cisalhamento.

2.4 FIBRAS DE AÇO

Segundo Mehta e Monteiro (2008), entre os modelos e tipos de fibras existentes no mercado para a maioria das concepções estruturais e não estruturais, a fibra de aço é mais utilizada.

As fibras de aço são elementos caracterizados pela forma geométrica, comprimento e diâmetro e, através da relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra se obtém a relação de esbeltez ou o fator de forma ($l=L/D$). As fibras de aço podem apresentar formatos com superfície corrugada, formas retilíneas ou com ancoragem nas extremidades (SARZALEJO *et al.*, 2007).

A NBR 15530 (ABNT, 2007) classifica as fibras de aço de acordo com a geometria, Tipo A, C e R, e quanto ao aço que lhes deu origem, Classe I, para arame trefilado a frio; Classe II, para chapa laminada cortada a frio; e Classe III, para arame trefilado e escarificado. As fibras do Tipo A, C e R são respectivamente, fibras Hooked (com ancoragem), Crimped (corrugadas) e lisas (retas). A norma ainda leva em consideração o fator de forma da fibra e limite de resistência à tração.

2.5 FIBRA DE AÇO RECICLADA

A usinagem é conhecida como o processo de fabricação que tem mais popularidade a nível mundial, transformando em cavaco cerca de 10 % de toda a produção de metais e emprega dezenas de milhões de pessoas (TRENT, 1985). Cavaco se entende por porção de material da peça retirada pela ferramenta e caracterizada por apresentar forma geométrica irregular (MACHADO e SILVA, 2009).

A maioria das indústrias (principalmente as de pequeno porte), não se atenta de modo responsável ao descarte correto dos cavacos e dos fluidos de corte, vendendo estes resíduos para recuperadores de óleos usados. Alguns desses compradores não possuem um aparato



necessário para estocar e manusear de forma correta esse material, ocasionando despejos em locais inadequados, tendo, como consequência, agressões ao ambiente (DANDOLINE, 2001).

Freitas *et al.* (2013) em estudo conduzido, concluiu que o uso do cavaco de usinagem apresenta melhora na resistência do concreto quanto à compressão axial quando comparado ao convencional, e que o aumento da quantidade de adição de cavaco ao concreto resultou na diminuição da consistência.

Por outro lado, em estudo realizado por Silva e Tezin (2017), concluíram que com quatorze dias de cura, o concreto com adição de cavaco de usinagem apresentou perda de resistência na compressão axial quando comparado ao traço convencional e com adição de fibra de aço.

3. METODOLOGIA

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

O estudo foi do tipo experimental, sendo constituído pelas etapas de dosagem do concreto, adição da fibra de aço e do resíduo de usinagem e da análise dos resultados obtidos, por meio de ensaios realizados no laboratório de construção civil do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, em Cascavel/PR. Foram utilizados 3 amostras, sendo utilizado o mesmo traço de concreto nas três porém em uma delas foi feita com a adição de fibra e a outra por sua vez com a adição de cavaco de torno.

3.2 AGREGADOS E AGLOMERANTES

3.2.1 Agregados

O agregado miúdo utilizado no concreto foi areia média, e o agregado graúdo utilizado para o traço escolhido foi brita nº 01 e, por meio dos quais, suas características granulométricas foram obtidas a partir dos dados disponibilizados pelo fornecedor do material para o estudo.



3.2.2 Aglomerante

O aglomerante utilizado foi o cimento CP II-Z-32 e a massa específica da marca escolhida corresponde ao valor de $2,96 \text{ g/cm}^3$, valor esse de acordo com os estabelecidos pela NBR NM 23 (ABNT, 2001).

3.3 ADIÇÕES

3.3.1 Fibra de aço

O critério de escolha da fibra se deu pela norma NBR NM 15530 (ABNT, 2007), que padroniza tal material. A fibra de aço utilizada foi a com ancoragens nas extremidades, originadas da Classe I e classificada como tipo A. De acordo com a norma, o valor da massa específica do aço utilizado nessa fibra é de 7.850 kg/m^3 e sua adição foram em conformidade com as especificações do fabricante da marca a ser utilizada, que corresponde à adição de 20 quilogramas de fibra para cada metro cúbico de concreto.

3.3.2 Resíduo de usinagem

O resíduo de usinagem (cavaco de torno) foi separado e coletado em uma empresa de usinagem da região de Toledo/PR, ou seja, coletados somente os resíduos em formato espiral (Figura 01) nos quais o aço do resíduo coletado era do tipo SAE 1045, com densidade de 7.870 kg/m^3 . Após a lavagem e retirada do excesso de óleo das amostras, a adição foi feita nas mesmas proporções da adição de fibra de aço e pode-se observar que ambas densidades possuem valores muito próximos, o que leva a definir a proporção de 1:1.

Figura 01: Amostra cavaco de usinagem.



Fonte: Autores (2020).

3.4 DOSAGEM

3.4.1 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto foi realizada por meio do traço de concreto 1:2,1:2,5 em massa com relação água cimento 0,45, conforme estabelecido nos cadernos técnicos de composições para produção de concreto da Tabela SINAPI do ano de 2016, com resistência característica à compressão projetada para 30 MPa.

3.4.2 Dosagem das adições de fibra de aço

As adições de fibra de aço foram realizadas conforme determinações do fabricante da marca escolhida e o mesmo determina que a dosagem deve ser de 20 kg/m³. Levando em consideração que os corpos de prova cilíndricos possuem dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, e que o volume de cada corpo de prova é de 0,0015 m³, em que o número total de amostras para essa adição é de 3 unidades, a quantidade total em massa de fibras de aço foi de 0,09 kg. A mesma relação vale para os corpos de prova prismáticos, ou seja, os mesmos tiveram dimensões de 15 cm de largura, 15 cm de altura e 50 cm de comprimento e um volume



individual de 0,01125 m³ e totalizarão a quantidade de 3 unidades de amostras, que corresponderá a 0,675 kg de fibras de aço.

3.4.3 Dosagem das adições de cavaco de usinagem

As adições de cavaco de usinagem foram realizadas de modo proporcional à adição de fibra de aço. De tal modo, fez-se necessária utilização da massa específica de cada material, 7.850 kg/m³ para fibras de aço e 7.870 kg/m³ para o aço do cavaco de usinagem, porém como ambos os materiais possuem massas específicas com valores muito próximos, leva-se a conclusão de que a proporção se mantém em 1:1, de tal modo que a dosagem de 20 kg/m³ se manteve igual à adição de fibra de aço.

3.4.4 Execução dos traços e ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone

Os traços foram executados em betoneira com a adição do agregado graúdo e parte da água e, em seguida, o aglomerante, agregado miúdo, o restante da água e adição da fibra ou do cavaco ao concreto fluido. O tempo de mistura foi dado pela equação: $t = 120\sqrt{d}$, em que d representa o diâmetro da betoneira em metros e t o tempo de mistura em segundos. Conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), foi realizado teste de abatimento do tronco de cone, por meio do qual, foi analisado o valor do *slump test* para o traço convencional, com adição de fibra de aço e com adição de cavaco de usinagem e todos obtiverem um abatimento de 12 cm conforme mostra a Figura 02.

Figura 02: *Slump Test.*



Fonte: Autores (2020).

3.5 Moldagem e cura dos corpos de prova

3.5.1 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados 9 corpos de prova, cilíndricos de dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura (Figura 03), sendo 3 para o traço convencional, 3 para adição de fibra de aço (20kg por m³ de concreto) e 3 para adição de cavaco de usinagem (20kg por m³ de concreto), todos seguindo as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015).

Para a moldagem, foi realizada lubrificação do corpo de prova antes do lançamento do concreto, a fim de facilitar a desforma. Para as dimensões do corpo de prova estabelecido, fora necessária realização do adensamento do concreto utilizando 2 camadas com 12 golpes cada. Após a moldagem, os corpos de prova ficaram em superfícies horizontais rígidas livres de vibrações e livres de intempéries durante as primeiras 24 h. Após esse período, os corpos de prova foram desmoldados e identificados e, em seguida, levados à câmara úmida a uma temperatura de (23 +- 2) °C e umidade relativa do ar superior a 95 % até o dia do ensaio. O rompimento aconteceu aos 28 dias.

Figura 03: Corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autores (2020).

Também foram moldados 9 corpos de prova prismáticos de dimensões de 15 cm de lado da seção transversal e 50 cm de comprimento, sendo 3 para o traço convencional, 3 para adição de fibra de aço e 3 para adição de cavaco de usinagem, todos seguindo as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015) conforme visto na Figura 04. Para a moldagem, foi realizada lubrificação do corpo de prova antes do lançamento do concreto, a fim de facilitar a desforma. Para as dimensões do corpo de prova estabelecido, foi necessário adensamento do concreto utilizando 2 camadas com 12 golpes cada. Após a moldagem, os corpos de prova ficaram em superfícies horizontais rígidas livres de vibrações e livres de intempéries durante as primeiras 24 h e, após esse período, os corpos de prova foram desmoldados e identificados. Em seguida, levados à câmara úmida onde ficaram sobre uma temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 % até o dia do ensaio. O rompimento aconteceu aos 28 dias.

Figura 04: Corpos de prova prismáticos



Fonte: Autores (2020).

3.6 ENSAIOS DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO

3.6.1 Ensaio de compressão axial

Este ensaio teve a finalidade de verificar a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto. Quem normatiza os processos deste ensaio, por sua vez, é a NBR 5739 (ABNT, 2018). De tal forma, o ensaio ocorreu aos 28 dias de cura com o posicionamento do corpo de prova entre dois pratos de compressão em uma máquina hidráulica do laboratório em questão. O prato que se desloca se movimentando na direção vertical, coaxial ao prato fixo. Os resultados da resistência à compressão após o rompimento do corpo de prova foram expressos em Mega Pascal (MPa), com três algarismos significativos.

Inicialmente, a prensa foi ajustada para o tamanho do corpo de prova e, após isso, as dimensões do corpo de prova foram inseridas no software, dando início ao ensaio a partir da aplicação de carga, conforme a Figura 05. A aplicação da carga se manteve até que o corpo de prova chegou a seu estado de romper de forma que, ao romper, a aplicação de carga foi parada instantaneamente.

Figura 05: Aplicação de carga ensaio de compressão axial



Fonte: Autores (2020).

De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), a resistência a compressão é calculada pela seguinte Equação 01.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (01)$$

Onde:

F_c: é a resistência à compressão, expressa em Mega Pascals (Mpa).

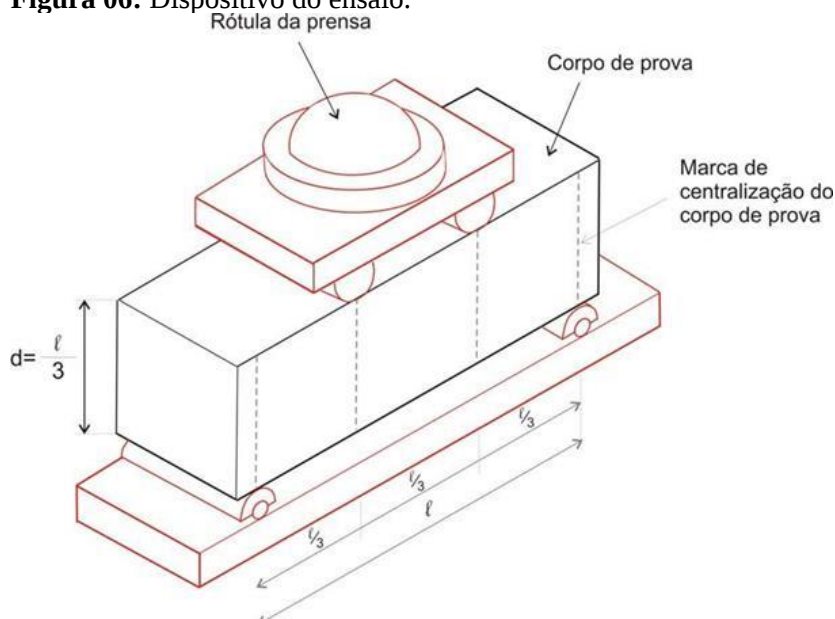
F: é a força máxima alcançada em Newtons (N).

D: é o diâmetro do corpo de prova (mm).

3.6.2 Ensaio de tração na flexão

Este ensaio teve como objetivo verificar a resistência à tração na flexão do concreto utilizando corpos de prova prismáticos, empregando o princípio da viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços dos vãos. Quem normatiza os processos deste ensaio, por sua vez, é a NBR 12142 (ABNT, 2010), sendo que o ensaio ocorreu aos 28 dias de cura com posicionamento do corpo de prova com seu lado maior paralelo ao seu eixo longitudinal, sobrepondo aos apoios, centrando-o entre eles conforme a Figura 06.

Figura 06: Dispositivo do ensaio.



Fonte: NBR 12142 (ABNT, 2010).

Inicialmente, foi realizado o ajuste da máquina para o tamanho do corpo de prova escolhido, após isso, foi colocado o corpo de prova seguindo as instruções da norma supracitada, fazendo marcações no corpo de prova para garantir que o mesmo ficasse alocado na posição correta. Depois disso, a prensa foi ajustada e deu-se início a aplicação de carga, conforme a Figura 07, e a aplicação permaneceu até o corpo de prova se romper, parando assim a aplicação de carga no mesmo momento.

Figura 07: Aplicação de carga ensaio de tração na flexão



Fonte: Autores (2020).

Para melhor validar os dados obtidos pelo Software, foi utilizada a Equação 02 conforme indicada pela norma supracitada para este ensaio:

$$f_{ct,f} = F \cdot \ell / b \cdot d^2 \quad (02)$$

Onde:

$f_{ct,f}$: é a resistência a tração, expressa em MegaPascals (MPa);

F : é a força máxima alcançada em Newtons (N);

ℓ : é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

b : é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

d : é a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios de Resistência à Compressão dos concretos, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018), foram planilhados para melhor entendimento dos dados obtidos. Para cada tipo de concreto moldado, aos 28 (vinte e oito) dias, foram rompidos 3 (três) corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Quando fazemos uma análise gráfica dessas planilhas, é possível observar que os corpos de prova apresentaram valores distintos de resistência a compressão, estes dados foram organizados de forma crescente, conforme pode ser evidenciado no Tabela 01 para melhor visualização, notando-se que a fibra de aço foi a adição que apresentou os melhores resultados, enquanto o cavaco de torno ficou abaixo do esperado inicialmente.

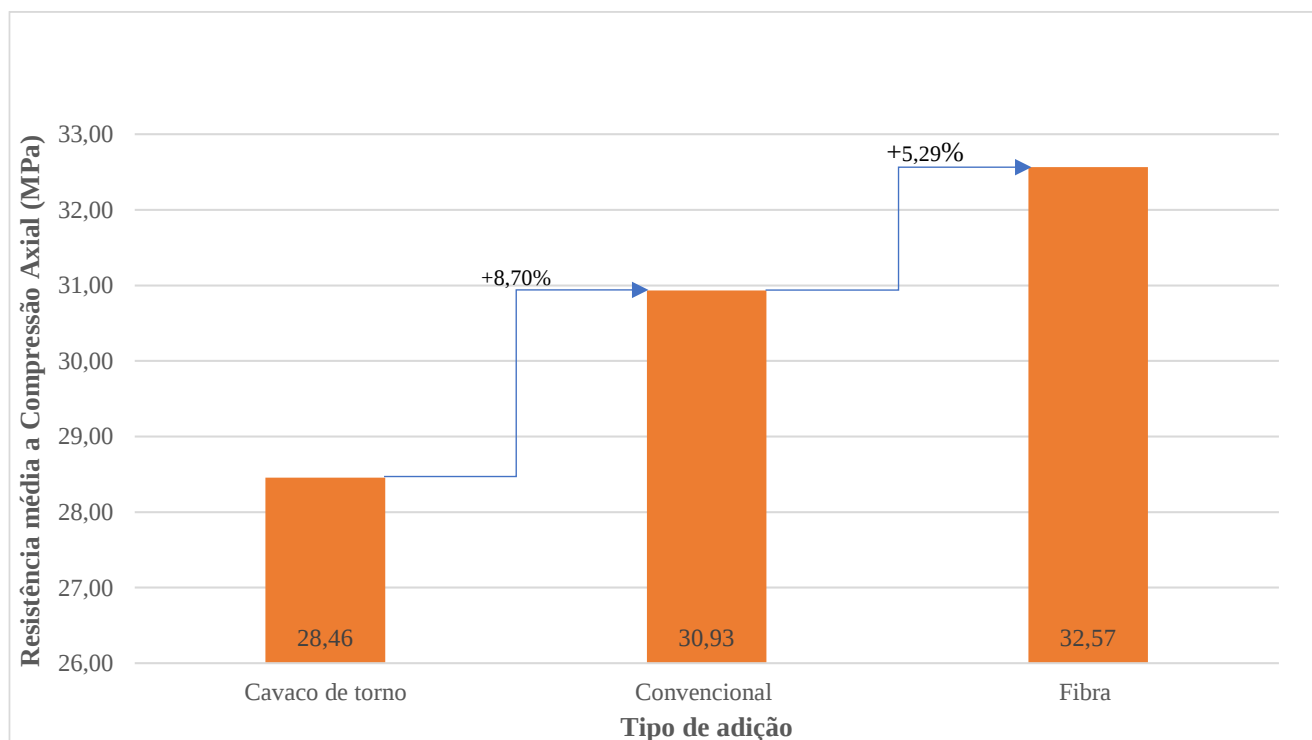
Tabela 01: Resultados de compressão axial

Ensaio de Compressão Axial	
Corpo de prova /Adição	Tensão Máxima (MPa) registrada pela máquina
CP 01 Sem adição	29,9
CP 02 Sem adição	31
CP 03 Sem adição	31,9
CP 01 Fibra	31,4
CP 02 Fibra	32,8
CP 03 Fibra	33,5
CP 01 Cavaco de torno	25,5
CP 02 Cavaco de torno	29,3
CP 03 Cavaco de torno	30,6

Fonte: Autores (2020).

Para uma análise mais precisa, foi obtida a média das 3 amostras e criado um gráfico de forma comparativa das amostras para verificar as diferenças percentuais no ganho de resistência, conforme evidenciado no Gráfico 02.

Gráfico 02: Valores médios de resistência a compressão axial



Fonte: Autores (2020).

A partir da análise dos dados do Gráfico 02, o que pode se notar, nesse caso, é que as amostras submetidas à adição do cavaco de torno perderam em torno de 8,70% da sua resistência à compressão axial, relação quando comparadas as amostras feitas apenas com concreto convencional. As amostras com a adição da fibra apresentaram um ganho de 5,29% em relação ao concreto com o traço convencional sem adição.

Os dados de Resistência à tração na flexão dos concretos conforme a NBR 12142 (ABNT, 2010) foram planilhados e analisados. Para cada tipo de concreto moldado, aos 28 (vinte e oito) dias, foram rompidos 3 (três) corpos de prova prismáticos com dimensões de 15 cm de lado da seção transversal e 50 cm de comprimento. A Tabela 02 demonstra os resultados de resistência à tração para cada amostra de concreto, no valor inconclusivo a máquina apresentou problemas e não registrou a correta marcação do resultado ao ensaio.



Gráfico 03: Resultados de tração na flexão

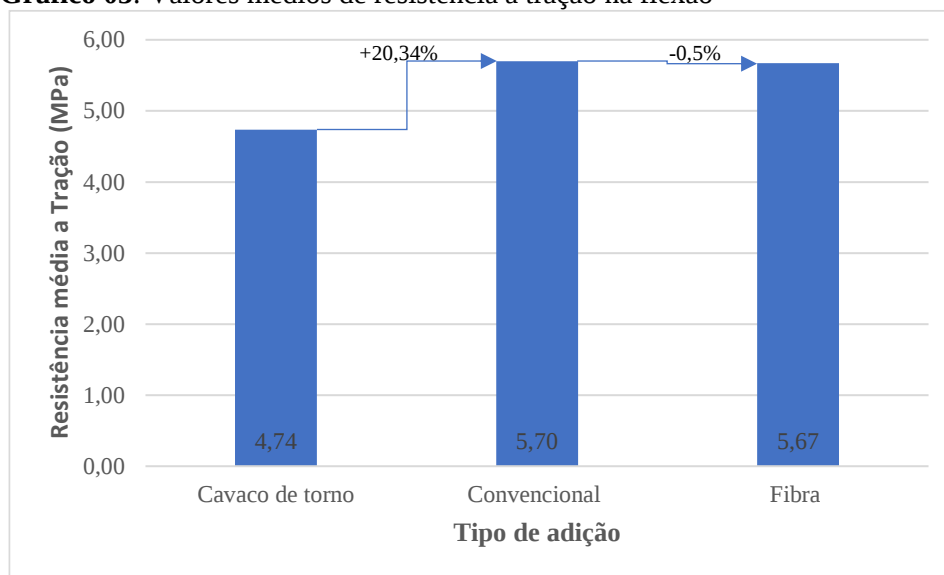
Ensaio de Tração por Compressão	
Corpo de prova /Adição	Tensão Máxima (MPa) registrada pela máquina
CP 01 Sem adição	1,6
CP 02 Sem adição	1,8
CP 03 Sem adição	1,8
CP 01 Fibra	1,6
CP 02 Fibra	1,6
CP 03 Fibra	1,9
CP 01 Cavaco de torno	INCONCLUSIVO
CP 02 Cavaco de torno	1,5
CP 03 Cavaco de torno	1,6

Fonte: Autores (2020).

Nota-se, a partir da tabela 02, que a um dos corpos de prova com fibra obteve a maior resistência a tração como era o esperado, enquanto o cavaco de torno, sobre o qual havia muita expectativa pelo aumento da tração, acabou apresentando valores inferiores aos esperados.

No Gráfico 3, estão dispostos os resultados de resistência média à tração, apresentados para análise das diferenças percentuais entre as adições e o concreto convencional.

Gráfico 03: Valores médios de resistência a tração na flexão



Fonte: Autores (2020).



A partir dos dados apresentados no Gráfico 03, considerando a média dos valores obtidos, observou-se que o concreto com fibra de aço teve um acréscimo de 0,5% de resistência quando comparado com o concreto convencional. Já no que se refere ao concreto com adição do cavaco de torno, houve um decréscimo de resistência em torno de 20% quando comparado ao convencional. Tais dados mostram que a adição do cavaco de torno não supriu as expectativas quanto à resistência à tração e à fibra pouco mudou em relação ao traço convencional, essa diminuição da resistência pode ter ocorrido por conta de alguns fatores, tais quais a disposição do cavaco de torno não ter ficado na horizontal, a espessura e ou formato do resíduo utilizado, bem como pode estar relacionado com o traço realizado ou proporção da adição adotada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos dados, concluiu-se que a adição do cavaco de torno não obteve o efeito desejado para o ganho de resistência à compressão. Embora o foco de tal adição seja o ganho de resistência à tração, foi possível observar que a adição de fibra de aço teve um aumento, embora pequeno, mas considerável na resistência à compressão axial em relação ao concreto com o traço convencional.

No que diz respeito aos resultados referentes a ensaios de tração, pode-se perceber que a relação empírica de que a resistência do concreto para tração é de aproximadamente 10% da compressão é conservadora, pois o traço convencional sem adição alguma apresentou uma resistência quase que o dobro desta porcentagem citada, entretanto, as adições que deveriam aumentar essa resistência à tração não mudaram muito o panorama geral, de forma que apresentaram ganho mais expressivo em compressão com a fibra do que em tração e a média ficou abaixo do esperado. Porém, o cavaco de torno acabou não se mostrando como um bom substituto para a fibra de concreto, uma vez que seus resultados foram insatisfatórios dando abaixo do esperado em ambas as situações. Podendo isso estar relacionado ao formato do resíduo adotado e ou sua espessura, bem como o tipo de aço escolhido do resíduo, a disposição em que o resíduo ficou dentro do concreto. Pode também ter influenciado o traço adotado para a realização deste trabalho, ou até mesmo a proporção de adição utilizada, uma vez que usamos a mesma proporção recomendada para fibra.

Com a realização deste estudo, concluiu-se que as adições são sim muito interessantes para o concreto armado, a busca por melhorias no desempenho à tração sempre será um desafio aos cientistas que estudam adições para melhorar esta matéria prima, embora o cavaco de torno não tenha se mostrado como uma alternativa viável em substituição a fibra de aço, no entanto, o mesmo não pode ser totalmente descartado, uma vez que para este ensaio foi adotada a mesma quantidade recomendada pelo fabricante de fibra para o cavaco de torno, então, em outras dosagens, talvez a adição do cavaco de torno mostre-se viável mecanicamente, assim como já apresenta benefícios sustentáveis, uma vez que é ecologicamente correto à reciclagem do material e pode apresentar vantagem econômica se comparado ao valor da fibra.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. **Concreto**. Notas de aula da disciplina. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.1R - *State-of-the-art report on fiber reinforced concrete*. ACI Comitê 544, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó** – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 248: Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 15530: Fibras de aço para concreto** – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR NM 52: Agregado miúdo** - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53: Agregado graúdo** - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 12142: Concreto** – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 5738: Concreto** – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.



_____. **NBR 5739: Concreto** – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

CARMONA, A.; CARMONA, T. **Fissuração nas estruturas de concreto**. Dissertação (boletim técnico). Associação Latinoamericana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação da Construção, Mérida, 2013.

CARVALHO, R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Paulo: EdUFSCar, 2014.

DANDOLINE, D. **Gerenciamento ambiental de fluidos de corte em indústrias metal-mecânicas**. Dissertação (mestrado). Orientador: Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

FERREIRA, L. **Sobre a resistência ao faturamento do concreto e do concreto reforçado com fibras de aço**. Tese (doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FIGUEIREDO, A. **Concreto reforçado com fibras**. Dissertação (boletim técnico). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FREITAS, G; VIOLIN, R.; SILVA, J. **Concreto com adição de resíduos de indústria metal mecânica para fins de fabricação de peças pré-moldadas sem função estrutural**. Dissertação (iniciação científica). Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2012.

GARCEZ, E. **Análise teórico-experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço submetidos a cargas de impacto**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. **Concreto, microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

SARZALEJO, A.; ROSSI, B.; PERRI, G; WINTERBERG, R.; ARISTEGUIETA, R. **Fibras como elemento estrutural para reforço de concreto – Manual Técnico**. MACCAFERRI, Jundiaí, 2007.

SILVA, C.; TEZIN, P. **Adição de fibras de aço corrugada e cavaco de torno ao concreto**. Dissertação (iniciação científica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA, M.; COELHO, R.; MACHADO, A.; ABRÃO, A. **Teoria da usinagem dos materiais**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2009.



SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa.** Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

TRENT, E. *Metal cutting*. 2. ed. Londres: Butterworths & Co, 1984.