
ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA MECÂNICA ENTRE O CONCRETO CONVENCIONAL E O CONCRETO ENRIQUECIDO COM CAVACO DE AÇO

DIAS, Matheus Guimarães ¹
REICHEL, Lucas Luis ²
FREITAS FILHO, Fernando Luiz ³
CASTELLA, Celso Waldemar⁴

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar as características do concreto obtido com a substituição parcial da areia por cavaco do tipo tubular, e determinar sua aplicabilidade, viabilidade e características. Buscamos substituir parte do agregado miúdo por cavacos de aço na produção de concreto, o que proporciona a redução da exploração de recursos naturais, como a areia, e aproveitar resíduos industriais que, se descartados de forma inadequada, podem causar impactos ambientais. Com isso, comparar a resistência mecânica do concreto convencional e do concreto com resíduo de usinagem (cavaco de aço), substituindo uma porcentagem do agregado miúdo pelo resíduo. O concreto é um material amplamente utilizado e, portanto, a utilização de materiais alternativos em sua composição representa uma oportunidade de melhorar suas propriedades e, desta maneira, destinar materiais que seriam descartados, como os cavacos metálicos, que têm um alto potencial de poluição ao meio ambiente. Através de uma pesquisa em bibliografias e posterior realização de testes, foi evidenciado pela equipe que a adição de uma quantidade de 25% de cavaco de aço do tipo tubular em substituição ao agregado miúdo, apresentou uma melhoria no que diz respeito a resistência à compressão e tração na flexão, desta forma sendo uma alternativa para fundações onde a exigência a resistência seja maior. Em contrapartida foi observado que os custos para produção do m³ de concreto apresenta um aumento devido a necessidade de beneficiamento do cavaco.

Palavras-chave: Cavaco, Aço, Sustentabilidade; Concreto enriquecido.

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço das indústrias, em especial a do setor metal mecânico, nos últimos anos, surgiu a necessidade de encontrar soluções inovadoras e sustentáveis para lidar com os resíduos gerados por essa indústria e preservar o meio ambiente.

Levando em consideração que a indústria é uma grande produtora de resíduos e que o concreto é amplamente utilizado em obras no Brasil, este estudo busca explorar uma alternativa inteligente: o uso de cavacos de aço do tipo tubular na fabricação do concreto.

¹Graduando do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNISOCIESC, lucasluisreichel@gmail.com ; ²Graduando do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNISOCIESC, matheusgui16@hotmail.com ; ³Professor orientador: Doutor, Centro Universitário UNISOCIESC, fernando.freitas@unisociesc.com.br ; ⁴Professor coorientador: Mestre, Centro Universitário UNISOCIESC, celso.castella@unisociesc.com.br .

O objetivo principal deste trabalho é analisar a resistência mecânica à compressão e tração na flexão entre o concreto convencional e o concreto com a adição desse resíduo, o cavaco tubular, substituindo uma porcentagem do agregado miúdo (areia).

Os objetivos específicos são:

- a) Desenvolver a pesquisa com base em referencial bibliográfico;
- b) Determinar a dosagem do concreto com e sem o resíduo;
- c) Efetuar ensaios no estado de cura de 28 dias;
- d) Comparar resultados obtidos e viabilidade.

A utilização de cavacos de aço na produção de concreto se apresenta como uma alternativa viável para a destinação adequada desse resíduo industrial, ao mesmo tempo em que proporciona economia de recursos naturais na construção civil.

Nossa abordagem destaca as vantagens do concreto com adição de fibras, ressaltando sua capacidade de resistir aos desgastes do tempo e oferecer maior flexibilidade sem comprometer sua estrutura.

A metodologia empregada foi o estudo envolvendo a fundamentação teórica e posterior análise experimental no Laboratório da UNISOCIESC Jaraguá do Sul Park Shopping. Buscando evidenciar as vantagens do aproveitamento de materiais provenientes dos resíduos da indústria metal mecânica, poupando elementos da natureza e melhorar a resistência mecânica do concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo trata dos conceitos relacionados às características conceituais dos processos envolvidos na produção do cavaco de aço, bem como classificações e conceitos dos mesmos e estudo do concreto enriquecido com cavaco de aço.

2.1 Usinagem

A usinagem é a transformação da matéria-prima em produto através da remoção de material em forma de cavacos (SANTOS; SALES, 2007). A fim de alcançar a forma desejada, as dimensões perfeitas e um acabamento da peça, utilizamos um processo que envolve o uso de ferramentas especializadas. (SANTOS; SALES, 2007).

2.2 Cavaco de aço

Durante o processo de usinagem, a peça passa por uma transformação, adquirindo uma nova forma e acabamento através da remoção de material em forma de cavaco. Estes cavacos são classificados de várias maneiras, como contínuos, descontínuos e segmentados, no qual a sua forma e tipo dependem do material da peça a ser usinada e das condições de corte empregadas ao processo (MACHADO et al., 2015).

a) Cavacos contínuos: É o resultado da usinagem de materiais dúcteis como aços de baixa liga, cobre, alumínio. Por isso usinando um material dúctil forma cavacos mais longos e contínuos (SOUZA, 2011)

b) Cavacos descontínuos: Resulta da usinagem de materiais frágeis, como bronze e ferros fundidos (SANTOS; SALES, 2007);

c) Cavacos segmentados: Caracterizam-se por ter grandes deformações continuadas (MACHADO et al., 2015).

Figura 1 - Classificação do formato de cavaco segundo norma ISO 3685:2017

1 - Cavaco em fita	2 - Cavaco tubular	3 - Cavaco espiral	4 - Cavaco hel. tipo arruela	5 - Cavaco hel. cônico	6 - Cavaco em arco	7 - Cavaco fragmentado	8 - Cavaco tipo agulha
1-1- Longo	2-1- Longo	3-1- Plano	4-1- Longo	5-1- Longo	6-1- Conect.		
1-2- Curto	2-2- Curto	3-2- Cônico	4-2- Curto	5-2- Curto	6-2- Salto		
1-3 - Emaranhado	2-3 - Emaranhado		4-3 - Emaranhado	5-3 - Emaranhado			

Fonte: ABNT NBR ISO 3685:2017.

Cavaco é uma porção de material, retirada pelas ferramentas empregadas na usinagem para obter geometria, dimensões e acabamento da peça (MACHADO et al., 2015). É o principal resíduo dos processos de fabricação da indústria metal mecânica, podendo ser obtido facilmente em grandes volumes em todas as empresas deste ramo. Os resíduos gerados durante o processo de usinagem são encaminhados para reciclagem, uma vez que não possuem mais utilidade nas empresas. No entanto, se forem descartados de maneira inadequada, podem causar danos ao

meio ambiente. Cerca de 10% de toda produção de peças usinadas são transformadas em cavaco (TRENT; WRIGHT, 2000).

2.3 Resíduos industriais

Os resíduos industriais, provenientes de diversos setores fabris, são uma preocupação constante para as empresas. Afinal, esse material, que muitas vezes é considerado descartável, pode representar sérios perigos para o meio ambiente. É fundamental que seja dado um destino adequado a esses resíduos, evitando assim danos irreparáveis à natureza. (KRAEMER, 2017).

2.4 Concreto

O concreto é um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita). Pode também conter adições e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. (BASTOS, 2019). O concreto é, atualmente, o material estrutural mais utilizado. Embora não seja tão resistente nem flexível quanto o aço, mas possui uma excelente capacidade de resistir à água.

As razões para o uso tão difundido do concreto são: a facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos. (MEHTA; MONTEIRO, 1994). O processo de seleção dos materiais é realizado com o objetivo de obter um concreto economicamente viável, que atenda às propriedades essenciais, como consistência, durabilidade e resistência. A qualidade tanto do concreto fresco quanto do endurecido depende das características dos materiais utilizados, por isso é fundamental escolher os componentes adequados. (NEVILLE, 2013).

2.5 Fibra de aço

As fibras são elementos que se destacam por sua natureza descontínua, apresentando um comprimento significativamente maior do que as dimensões de sua seção transversal. Podemos classificar essas fibras em duas categorias: as curtas, com comprimento variando de 25mm, e as longas, que podem chegar até 60mm. (FIGUEIREDO, 2005). São pequenas o suficiente para serem dispersas aleatoriamente no concreto não endurecido por meio de métodos de mistura usuais (ACI 544.1R, 2002).

2.6 Classificação das fibras de aço

A ABNT NBR 15530:2019 nomeada “Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio” dispõe sobre a classificação e especificações das fibras de aço. Estas podem ser classificadas em cinco grupos conforme o material utilizado para a sua produção:

Quadro 1 - Classificação das fibras de aço

Classificação das fibras de aço
Grupo I: arames trefilados a frio
Grupo II: chapas cortadas
Grupo III: arames trefilados e escarificados
Grupo IV: fibras produzidas por fusão
Grupo V: usinadas a partir de blocos de aço

Fonte: Os Autores (2023)

2.7 Concreto reforçado com cavaco de aço

O concreto reforçado com fibras de aço é definido como sendo um concreto produzido com cimento, agregado miúdo (ou agregado miúdo e graúdo), e fibras de aço contínuas e discretas (ACI 544.1R, 2002). Conforme a ACI 544.1R (2002), as propriedades do concreto fresco são modificadas quando fibras são adicionadas, devido a fatores como a forma e geometria das fibras, a porcentagem de adição e a interação entre as fibras e a matriz do concreto.

Segundo Rai e Joshi (2014), o concreto reforçado com fibras de aço trata-se de um concreto especial, produzido com cimento, no qual são incorporadas fibras de aço que se espalham de forma uniforme na mistura. Essas fibras trazem uma série de melhorias significativas para o material, graças a fatores como sua geometria e formato, a forma como são adicionadas à mistura e a quantidade de fibras utilizadas.

De acordo com FIGUEIREDO (2005), o concreto é um material frágil, mas pode ter suas propriedades aprimoradas com a adição de fibras. Essas fibras, que possuem resistência e elasticidade adequadas, atuam como verdadeiras pontes de transferência de tensões entre as fissuras, modificando completamente a característica frágil do concreto. Dessa forma, é possível obter uma estrutura mais resistente e durável. Esse fato ocasiona uma redução na velocidade de propagação das mesmas e alterando o comportamento frágil do concreto para um comportamento pseudo-dúctil, além de resultar na menor fissuração do concreto.

(FIGUEIREDO, 2005). Com a diminuição da propagação das fissuras e o aumento da tenacidade devido a transmissão das tensões pelas fissuras, a resistência à tração do concreto aumenta (NEVILLE; BROOKS, 2013).

As fibras realizam reforço em nível macro, elas reduzem a propagação de fissuras, garantindo que o concreto absorva mais energia e se torne mais resistente. Em escala micro, essas fibras impedem a propagação de microfissuras, tornando o concreto ainda mais resistente à compressão. (NEVES; ALMEIDA, 2005).

Um aspecto adicional que influencia a aderência entre a fibra e a matriz é o comprimento da fibra. À medida que a fibra se torna mais longa, a área de contato entre a fibra e a matriz também aumenta. Isso significa que é necessário aplicar uma força maior para separar a fibra da matriz, devido à maior área de ancoragem. (VILLARES, 2001)

A ruptura do concreto reforçado com fibras pode ocorrer pelo arrancamento das fibras, que possui a característica de ser uma falha gradual, ou pela ruptura das fibras por tração, resultando em falhas rápidas e catastróficas (MALATESTA; CONTERAS, 2009).

2.8 Oxidação das fibras de aço

Não é possível assegurar um recobrimento mínimo para as fibras de aço em reforço ao concreto, verificando-se assim, a existência de fibras na superfície do concreto (FIGUEIREDO, 2005). Sendo capaz de se verificar a corrosão das fibras de aço que estão próximas a superfície, como é o caso da aplicação de concreto reforçado com fibras de aço em pavimentos de concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013). O pequeno diâmetro das fibras não causa danos ao concreto devido à baixa liberação de óxidos durante a oxidação, o que mantém a integridade do material sem a formação de fissuras. Isso, por sua vez, protege as fibras de qualquer dano interno. (FIGUEIREDO, 2005).

A propagação também é dificultada pois as fibras são dispersas de forma aleatória no concreto, e em consequência do seu pequeno comprimento, as fibras esporadicamente se tocam, não formando assim, caminhos condutores dentro do concreto. Além do mais, essa propagação não parece ocorrer com profundidade maior do que 0,1pol (2,5mm) abaixo da superfície do concreto (ACI 544.1R, 2002)

Para aplicações em que se deseja obter menor oxidação das fibras e manchas na superfície do concreto, pode se realizar o emprego de outras fibras, como, por exemplo, fibras de aço inoxidável (ACI 544.1R, 2002). Para evitar um episódio de oxidação das fibras, as

mesmas podem receber um revestimento superficial de zinco que prolongará a durabilidade em meios agressivos (SARZALEJO et al., 2008).

2.9 Aplicações do concreto reforçado com cavaco

Segundo Figueiredo (2005), o mercado das fibras no Brasil está em constante evolução, com aplicações cada vez mais diversificadas. Atualmente, a maior demanda está concentrada na fabricação de pisos industriais, seguida pelo uso no concreto projetado e, em terceiro lugar, nos pré-fabricados. Essas aplicações representam a grande maioria do uso das fibras no país.

Além disso, as fibras são amplamente utilizadas em estruturas de baixo consumo e contínuas. No entanto, é provável que o cenário das fibras no Brasil sofra mudanças futuras devido à sua aplicação em projetos de saneamento e transporte público em massa. (FIGUEIREDO, 2005).

Devido à ductilidade do concreto reforçado com fibras de aço, suas aplicações são possíveis para estruturas que requerem resistência a terremotos, altas temperaturas, fadiga por impacto e tração. Além disso, também é eficaz no controle da retração do concreto. (RAI; JOSHI 2014).

As fibras se distribuem de forma aleatória dentro do concreto realizando o reforço de toda a estrutura, sendo assim, uma alternativa para estruturas contínuas, como pavimentos e revestimento de túneis. (FIGUEIREDO, 2005).

Podem ser aplicados em pavimentos de aeroportos, rodovias e pontes. Eles também são indicados para uso em dormentes e pisos industriais, pois essas estruturas são como placas apoiadas no solo e precisam suportar uma variedade de cargas. (SARZALEJO, 2008).

2.10 Desvantagens

Na maioria das vezes, durante o processo de usinagem, são utilizados fluidos de corte. No início, a água era a opção mais comum, porém, além de ter um poder de lubrificação baixo, ela também contribui para a oxidação. Por isso, passou-se a usar óleos, que possuem uma ação lubrificante mais eficiente e reduzem a quantidade de calor gerado durante a usinagem. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000).

Dessa maneira, estes fluidos são encontrados tanto na peça quanto nos cavacos após o processo de usinagem, além disso, o cavaco juntamente com o fluido de corte são os principais

agentes nocivos da indústria metalmecânica, possuindo alto poder de poluição no meio ambiente (DIAS, 2021).

Como afirma FIGUEIREDO (2005) a aplicação de fibra como reforço do concreto também compreende certas desvantagens, como o acréscimo da probabilidade de retração diferencial que ocasiona o empenamento das placas, além da corrosão das fibras que estão na superfície que resulta em manchas afetando assim a estética do piso.

Outro fator que afeta as fibras de aço e a durabilidade do pavimento é a permeabilidade do concreto. No contexto de um concreto com alta permeabilidade, em principal a superfície, facilita a entrada de água no seu interior prejudicando o concreto e as fibras, reduzindo assim, a durabilidade (BALBO, 2009).

Uma desvantagem adicional que pode ser observada durante a mistura do concreto é o empelotamento das fibras, que resulta na formação de ouriços. Esses ouriços são basicamente bolas formadas pelo agrupamento das fibras, o que acaba reduzindo a quantidade de fibras distribuídas no restante do concreto. (FIGUEIREDO, 2005). Além disso, a região onde se encontra o ouriço se torna frágil devido à grande porosidade presente. Essa situação pode comprometer a qualidade do concreto e impactar negativamente no desempenho estrutural. (FIGUEIREDO, 2005).

3 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolveu-se no laboratório MENSLAB da UNISOCIESC Jaraguá Park Shopping, na qual se produziu 18 corpos de prova para análise de características físicas através de ensaio de compressão e tração na flexão para determinar sua resistência, comportamento e por fim um comparativo entre eles. Desta maneira, o estudo assume o perfil de pesquisa experimental baseado em referencial bibliográfico, foram realizados ensaios para avaliação das suas propriedades, e assim conhecer melhor as características de cada de cada amostra. O cavaco de aço usado no experimento foi o Aço 1045 proveniente do torneamento cedido pela empresa do ramo sediada na cidade de Guaramirim-SC. Buscando evidenciar as vantagens do aproveitamento de materiais provenientes dos resíduos da indústria metal mecânica, poupando elementos da natureza e melhorar a resistência mecânica do concreto.

3.1 Etapas da pesquisa

Para construção dos corpos de prova foram utilizados os materiais conforme quadro 2.

Quadro 2 - Materiais utilizados

Materiais utilizados
Cimento Portland CP-II;
Agregados miúdo (Areia);
Agregado graúdo (Brita);
Solvente
Agregado miúdo artificial (Cavaco de aço);
Água.

Fonte: Os Autores (2023)

3.2 Processo de mistura

Para a massa produzida in loco foram seguidas as instruções da NBR 12655:2022. Com relação ao traço adotado para produção, foi pesquisado por meio de consultas com 3 construtores da região de Jaraguá do Sul, notando pequenas diferenças entre os traços, adotando assim um traço de 1:2:3. A mistura dos traços de concreto foi realizada de forma manual com um traço 1:2:3, o processo foi realizado de forma que proporcionasse uma melhor distribuição das fibras na matriz sem a ocorrência de empelotamento. Assim, a adição do material foi realizada de forma gradativa, inserção do agregado graúdo e de 1/3 da quantidade da água, sendo misturado, seguido pela inserção do cimento e mais 1/3 da água, após realizou-se a adição do agregado graúdo com o restante da água é realizado o processo de mistura por 3 minutos.

3.3 Confeção dos corpos de prova

A Tabela 1 mostra as quantidades de cada material em gramas. Para a realização dos ensaios, foi estipulado as quantidades de cavaco de aço tipo tubular que será adicionado a massa no correspondente proporcional de areia. Assim, chamaremos de “CC” o concreto convencional, ou seja, aquele livre de cavaco de aço. Nomeamos os corpos de prova compostos de 25% e 40% de cavaco de “C25%” e “C40%”, respectivamente. Respeitando essas

proporções foram confeccionados 18 corpos de prova, sendo eles 9 Cilíndricos destinados aos ensaios de compressão e 9 prismáticos destinados aos ensaios de tração na flexão.

Para os corpos cilíndricos utilizou-se o molde de 100mm de diâmetro por 200mm de altura, estes foram cedidos pela Unisociesc. Os moldes podem ser vistos na Figura 2.

Tabela 1 - Quantidade de materiais por corpo de prova

Quantidade de material por bloco					
Cilíndrico					
Corpo	Cimento	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	Água	Cavaco
CC	530	1580	1050	100	0
C25%	530	1580	790	100	260
C40%	530	1580	630	100	420
Unidade de medida: (g)		Peso médio dos blocos: 3364g			
Prismático					
Corpo	Cimento	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	Água	Cavaco
CC	190	570	380	96	0
C25%	190	570	285	96	95
C40%	190	570	230	96	150
Unidade de medida: (g)		Peso médio dos blocos: 1210g			

Fonte: Os Autores (2023)

Figura 2 - Molde e corpo de prova cilíndrico



Fonte: Os Autores (2023)

Os corpos prismáticos foram confeccionados pelos autores seguindo a ABNT NBR 5738:2015.

Figura 3 - Molde para corpos de prova prismáticos



Fonte: Os Autores (2023)

Figura 4 - Adição de cavaco ao concreto



Fonte: Os Autores (2023)

Figura 5 - Corpos de prova confeccionados



Fonte: Os Autores (2023)

3.4 Ensaaios laboratoriais

Os ensaios de caracterização dos concretos, para assim verificar as diferenças das propriedades do concreto simples com o concreto reforçado com cavaco de aço tipo tubular, com diferentes porcentagens, realizando um comparativo entre eles foram: o ensaio de resistência à compressão e resistência à tração na flexão. Para os ensaios de resistência à compressão e resistência à tração, a amostragem de concreto seguiu-se o procedimento de execução da ABNT NBR 16886:2020, em relação aos corpos de prova, estes foram moldados e seu processo de cura foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 5738:2015. Para análise comparativa foram confeccionados três corpos de prova para cada traço de concreto. Ficando nomeados como:

- Concreto convencional: sem a adição de cavaco de aço;
- Concreto de cavaco 25%: este com substituição de 25% do agregado miúdo por cavaco;
- Concreto de cavaco 40%: este com substituição de 40% do agregado miúdo por cavaco.

O cavaco de aço obtido da metalúrgica encontra-se em estado bruto, assim foi realizada a retirada as impurezas contidas. O processo de peneiração foi efetuado, buscando remover partes pequenas e sujidades que seriam prejudiciais ao estudo. Procedeu-se à limpeza do cavaco por meio da lavagem com gasolina para retirada do fluido de corte. Sobrando após esses procedimentos um cavaco com menos impurezas e com tamanho desejado.

3.5 Resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão, foram moldados 3 corpos de prova para cada traço de concreto. Obtendo assim 9 corpos, cada grupo com suas respectivas proporções. Os corpos de prova possuem o formato cilíndrico, com diâmetro de 100mm e altura de 200mm. Nos quais, foram rompidos 3 corpos de prova de cada. Todos com 28 dias de cura. Sendo o ensaio executado de acordo com a ABNT NBR 5739:2018.

Figura 6 - Teste resistência à compressão



Fonte: Os Autores (2023)

3.6 Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão tem o objetivo de especificar a tenacidade que é obtido no concreto pelo incremento das fibras (SARZALEJO, 2008). O procedimento foi realizado seguindo a ABNT NBR 16940:2021. Foram moldados 3 corpos de prova para cada traço de concreto. Os corpos de prova possuem o formato prismático, com seção transversal quadrada de 50mm de lado e comprimento de 200mm. Sendo rompidos 3 corpos de prova de cada. Todos com 28 dias de cura.

Figura 7 Teste de tração na flexão



Fonte: Os Autores (2023)

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Este capítulo é destinado à análise dos resultados obtidos e as discussões que estes proporcionam. Será abordada as impressões ocorridas durante os ensaios e pontos relevantes.

4.1 Resistência à compressão

Os resultados obtidos pela análise dos nove corpos de prova cilíndricos com 10mm de diâmetro x 200mm de comprimento foram referenciados posteriormente na tabela 4.

Verificamos através dos testes que o Concreto convencional (CC) apresentou valor médio de 23,13 Mpa para compressão. Foi verificado que o momento de ruptura ocorreu de forma abrupta.

Figura 8 - Ruptura do corpo de prova



Fonte: Os Autores (2023)

Por sua vez o corpo de prova Concreto com 25% de cavaco (C25%) apresentou valor médio de 29,36 Mpa, sendo assim houve um aumento de 26% na resistência à compressão adicionando o material. Foi observado que o momento de ruptura ocorreu de modo gradual e foi possível verificar as fibras de aço aderidas ao concreto. Isso conferiu melhoria nas suas características.

Figura 9 - Corpo de prova C25% após teste de compressão



Fonte: Os Autores (2023)

Já o concreto com adição de 40% de cavaco, apresentou valores médios de 21,85Mpa , ficando abaixo do Concreto convencional e do C25%, contudo este também apresentou a característica de ruptura gradual, a mesma observada no C25%.

4.2 Resistência à tração na flexão

Os resultados obtidos pela análise dos nove corpos de prova prismáticos com 50mm x 50mm x 200mm de comprimento referenciados posteriormente na tabela 4.

Verificamos através dos testes que o Concreto convencional (CC) apresentou valor médio de 9,77 Mpa para tração na flexão. Foi verificado que o momento de ruptura ocorreu de forma abrupta.

Figura 10 - Corpo de prova prismático CC



Fonte: Os Autores (2023)

O corpo de prova Concreto com 25% de cavaco (C25%) apresentou valor médio de 12,25 Mpa, sendo assim houve um aumento de 25% na resistência à tração na flexão adicionando o material. Foi observado que o momento de ruptura ocorreu de modo gradual.

Figura 11 - Corpo de prova prismático C25% após teste de tração na flexão



Fonte: Os Autores (2023)

Por sua vez, concreto com adição de 40% de cavaco, apresentou valores médios de 6,3Mpa, ficando muito abaixo do Concreto convencional e do C25%, este também apresentou a característica de ruptura gradual, a mesma observada no C25%.

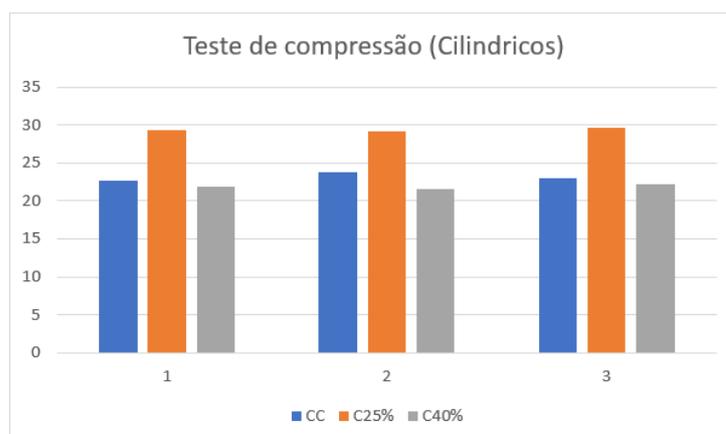
Tabela 2 - Panorama geral dos testes realizados

Resultado dos testes laboratoriais							
Cilíndricos				Prismáticos			
CC	2260	2376	2304	CC	940	1003	988
C25%	2935	2911	2962	C25%	1224	1135	1317
C40%	2189	2152	2214	C40%	480	654	756
Valores convertidos de N/cm ² para Mpa							
Cilíndricos				Prismáticos			
CC	22,6	23,76	23,04	CC	9,4	10,03	9,88
C25%	29,35	29,11	29,62	C25%	12,24	11,35	13,17
C40%	21,89	21,52	22,14	C40%	4,8	6,54	7,56

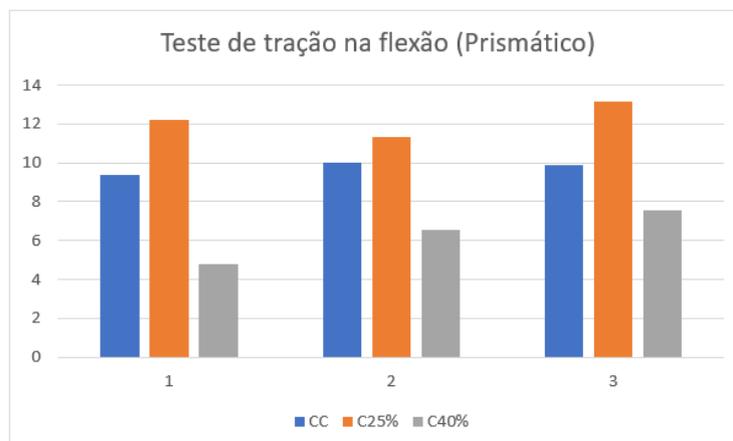
Fonte: Os Autores (2023)

Conforme a tabela 2 as figuras 12 e 13 apresentam os resultados gráficos comparando os dados de cada corpo de prova com suas respectivas características.

Figura 12 – Comparativo teste de compressão



Fonte: Os Autores (2023)

Figura 13– Comparativo teste de tração na flexão

Fonte: Os Autores (2023)

4.3 Custos

Além dos ensaios para verificar as características físicas do concreto, faremos um comparativo de preços. Com isso, obteremos uma visão mais ampla do custo x benefício. O levantamento foi feito utilizando dados da tabela SINAPI(2023) e valores de mercado no mês de Outubro de 2023.

Tabela 3 – Custos de cada material – Outubro 2023

Tabela de preço dos materiais - Outubro/2023	
Material	Preço
Saco de Cimento Portland C-II 50Kg	R\$ 34,50
m ³ de Areia grossa	R\$ 199,00
m ³ de Brita 1	R\$ 104,90
Kg de Cavaco de aço	R\$ 0,15
L de solvente (gasolina comum)	R\$ 5,14

Fonte: Os Autores (2023)

Tabela 4 – Custos para produção de 1m³ de concreto convencional

Custos CC		
Material	Consumo (Kg)	Valor
Cimento	379,63	R\$ 261,94
Areia	755,88	R\$ 100,28
Brita	1039	R\$ 72,66
Água	200	R\$ 0,28
H/Homem	2(horas)	R\$ 50,00
Total		R\$ 485,16

Fonte: Os Autores (2023)

Tabela 5 - Custos para produção de 1m³ de concreto com 25% de cavaco adicionado

Custos C25%		
Material	Consumo (Kg)	Valor
Cimento	379,63	R\$ 261,94
Areia	556,91	R\$ 75,21
Brita	1039	R\$ 72,66
Água	200	R\$ 0,28
Cavaco	189	R\$ 28,20
Solvente	16,6	R\$ 85,66
H/Homem	2(horas)	R\$ 50,00
Total		R\$ 573,95

Fonte: Os Autores (2023)

Tabela 6 - Custos para produção de 1m³ de concreto com 40% de cavaco adicionado

Custos C40%		
Material	Consumo (Kg)	Valor
Cimento	379,63	R\$ 261,94
Areia	453,52	R\$ 60,16
Brita	1039	R\$ 72,66
Água	200	R\$ 0,28
Cavaco	302,26	R\$ 45,35
Solvente	19,09	R\$ 98,11
H/Homem	2(horas)	R\$ 50,00
Total		R\$ 588,50

Fonte: Os Autores (2023)

Podemos perceber através dos dados expostos que a confecção do concreto com adição de 40% apresentou o maior custo por m³ para produção, isso se deve ao valor empregado na limpeza do cavaco. Este deve passar pelo processo de limpeza e remoção de impurezas. Com isso o consumo de solvente utilizado onera a produção do mesmo. Por outro lado, é de se considerar que o custo do C25% em comparação com o CC apresentou um aumento 18% no custo de produção, contudo houve uma melhora nas características de 25%. Com isso, se faz necessário uma análise buscando custo x benefício x aplicabilidade, visando uma maior assertividade com relação ao concreto.

5 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos neste artigo, concluímos que o concreto enriquecido com cavaco de aço tipo tubular apresentou os melhores desempenhos frente as propriedades estudadas. Com relação às quantidades adicionadas, a substituição com 25% apresentou os melhores resultados, havendo um aumento de 25% de resistência na compressão e 26% de resistência à tração na flexão em relação à amostra de concreto convencional. Em contrapartida, a produção de concreto com cavaco adicionado em 25% gera um aumento no custo de produção na casa dos 18%, devido a necessidade de tratamento do cavaco, a fim de remover impurezas e resíduos de fluido de corte. Pode-se dizer que existe uma oportunidade de considerar o custo x benefício para sua implementação. No entanto, ainda são necessários mais estudos para que se possa verificar o comportamento de concretos frente a outras propriedades relevantes, como as de durabilidade, permeabilidade, entre outras.

O emprego do cavaco em elementos sem fins estruturais como calçamento, pode melhorar as condições de resistência destes materiais com isso aumentaria a vida útil, assim pode-se empregar em órgãos públicos. Pisos industriais e aeroportos também podem usufruir dessas características.

Atualmente o consumo de produtos industriais está cada vez mais acelerado, gerando inúmeros resíduos que precisam ser destinados e aproveitados de uma maneira adequada. Sendo o concreto um material utilizado na maioria das obras no Brasil, adiciona um resíduo industrial na sua confecção e alcançar bons resultados com a aplicação deste material, se tornou um tema interessante a ser estudado, buscando a melhoria do concreto.

Com a substituição de uma porcentagem do agregado miúdo por cavacos de aço, proveniente do processo de torneamento, pode ser obtido o aproveitamento de resquícios industriais. Outro benefício ao usar este material é a capacidade de poupar recursos naturais, pois a sua exploração pode causar impactos ambientais.

Desta maneira, com os valores e dados apresentados durante os ensaios no decorrer deste trabalho de pesquisa, foi demonstrado que é possível reaproveitar este tipo de resíduo industrial podendo incluí-lo na confecção do concreto com uma porcentagem adequada.

O objetivo principal deste trabalho foi atingido ao comparar a resistência mecânica à compressão e na tração na flexão entre o concreto convencional e o concreto com a adição de cavaco tubular, obtendo valores satisfatórios e uma base de custos de produção

Os objetivos específicos foram efetuados, e com isso obtivemos dados, informações suficientes para desenhar o melhor cenário baseado no estudo de artigo. Com base nos ensaios e análise de custos, concluímos que o concreto enriquecido com a adição de 25% de cavaco de aço do tipo tubular apresenta as melhores propriedades mecânicas para compressão e tração na flexão em comparação com os demais estudados. Com isso apresentando um aumento na ordem de 25% a mais de resistência nos testes realizados. Apesar de apresentar um custo maior em 18% em relação ao concreto convencional, podemos concluir que ainda assim, o concreto enriquecido com 25% de cavaco tubular é uma alternativa viável para pavimentos públicos e pisos industriais devido às suas maiores capacidades de resistência.

O estudo se ateve a características específicas, assim não contemplando todas as possíveis análises do concreto, dito isso, os autores deixam como recomendação de futuros estudos a realização de ensaios de durabilidade, permeabilidade, densidade, entre outros.

6 AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por ter nos mantido na trilha certa durante este projeto com saúde e forças para chegar até o final dessa graduação.

As nossas famílias pelo apoio que sempre nos deram durante toda a nossa vida.

As nossas respectivas namoradas que sempre estiveram presentes e nos motivando.

Ao professor Castella pela confiança depositada na nossa proposta de projeto, atuando como coorientador. Também ao professor Fernando, nosso orientador. Obrigado por nos guiar durante todo o processo.

Ao nosso amigo Daniel pela sua disposição em nos ajudar durante os ensaios.

Ao Gregori e seu pai por ter cedido o cavaco utilizado no nosso projeto.

E a Unisociesc e todo o seu corpo docente.

Sem alguma dessas partes não seria possível chegarmos até aqui, portanto deixamos aqui o nosso muito obrigado a todos.

6 REFERÊNCIAS

ACI Committee 544.1R, (2002). State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 3685: Ensaio de vida da ferramenta de ponta única para torneamento. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15530: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16886: Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16940: Concreto reforçado com fibras – Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BALBO, José Tadeu. Pavimentos de concreto. Oficina de Textos, 2009.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Sapatas de Fundação, 2019.

DIAS, Júlio César Resende et al. Comportamento do concreto reforçado com cavacos de aço e alumínio: resistência à tração por compressão diametral. Brazilian Journal Of Development, [s. l], v. 7, n. 5, p. 51880-51889, 2021.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. Tecnologia da usinagem dos materiais. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras. In: Isaia, Geraldo Cechalla. (Org.) Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005, v. 2, Capítulo 39, p. 1195-1225. 2005.

KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. A questão ambiental e os resíduos industriais. Itajaí, 2005? Disponível em: <http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_25.pdf>. Acesso em: 18 out. 2023.

MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; DA SILVA, Márcio Bacci. Teoria da usinagem dos materiais. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

MALATESTA, Sergio Carmona; CONTERAS, Manuel Cabrera. Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero. Revista Engenharia de Construção, v. 24, n. 1, p. 79-94, abr. 2009.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. Concrete: microstructure, properties and materials. McGraw-Hill Education, 2014.

NEVES, R. D.; ALMEIDA, J. C. O. Fernandes de. Compressive behavior of steel fiber reinforced concrete. Structural Concrete, v. 6, n. 1, p. 1-8, mar. 2005.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J.; Tecnologia do concreto. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RAI, Amit; JOSHI, Y. P. Applications and properties of fiber reinforced concrete. Journal of Engineering Research and Applications, v. 4, n. 5, p. 123-131, 2014.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

SARZALEJO, Antonio Gallovich; ROSSI, Bruno; PERRI, Gianfranco; WINTERBERG, Ralf; ARISTEGUIETA, Roberto Eduardo Perri. Fibras como Elemento Estrutural para reforço de Concreto: Manual técnico. Maccaferri do Brasil Ltda, 2008.

SOUZA, André João de. Processo de fabricação por usinagem: Parte 1. UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Apostila.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL- Cadernos técnicos de composições para - Produção de Concreto p. 30, 2023.

TRENT, Edward M.; WRIGHT, Paul K.. Metal Cutting. 4. ed. Butterworth- Heinemann, 2000.

VILLARES, Ana Maria Oliveira. Influência da largura do corpo-de-prova na medida da tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço. 2001. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001