ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO REFORÇADO POR FIBRAS DE LIMALHA DE AÇO

Mechanical Characterization of Steel Fillings Fiber-Reinforced Concrete

Paulo Henrique Carvalho Mello
UTFPR | Guarapuava, Paraná | paulohcm123@gmail.com

Dra. Silvia Paula Sossai Altoé
UEM | Maringá, Paraná | spsaltoe@uem.br

Dr. Gustavo de Miranda Saleme Gidrão
UTFPR | Guarapuava, Paraná | gidrao@utfpr.edu.br

RESUMO

A crescente produção de peças metálicas por processos de usinagem ocasiona também o aumento na geração de resíduos, denominados como limalha de aço. A utilização deste no concreto podem ocasionar melhoras significativas nas propriedades mecânicas, tais como resistência a compressão e tração, esta incorporação pode ser realizada como substituição ao agregado do concreto e podendo possuir comportamento fibroso no mesmo. Foram avaliados concretos com substituições de areia por limalha de aço, nas proporções de 5%, 10% e 15% em relação a massa de cimento, obtendo acréscimos em ambas as resistências para todas as substituições realizadas, com o maior acréscimo obtido na faixa de 10%, com valor de 73,70% a mais de resistência tanto a tração como a compressão, com grau de confiabilidade de 95% de acordo com análise estatística de variância (ANOVA) realizada.

Palavras-chave: Concreto; Fibras; Resíduos; Limalha de aço.

ABSTRACT

A growing production of metal parts through machining processes also leads to an increase in the generation of waste, known as steel shavings. The use of these shavings in concrete can result in significant improvements in mechanical properties, such as compressive and tensile strength. This incorporation can be done by replacing a portion of the concrete's aggregate and may exhibit fibrous behavior within it. Concretes with substitutions of sand by steel shavings were evaluated in proportions of 5%, 10%, and 15% relative to the cement mass. All substitutions resulted in increases in both compressive and tensile strengths, with the highest increase observed in the 10% replacement, showing a 73.70% increase in strength for both tensile and compressive properties. These results were obtained with a 95% level of confidence according to the statistical analysis of variance (ANOVA) performed.

Keywords: Concrete; Fibers; Waste; Steel filings

1 INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, surgiu a necessidade na produção de peças metálicas com diferentes formas, tamanhos, acabamentos e materiais bases, para atender as necessidades crescentes das indústrias (CASARIN; 2018). Durante o processo de usinagem é dada a forma e acabamento para as peças metálicas, obtidos por conta da retirada de material, do tipo limalha metálica, um resíduo sólido deste processo. As formas dos resíduos são obtidas conforme o tipo de material utilizado e características do processo. Normalmente utilizados metais como aço e alumínio (MACHADO *et al.;* 2015).

A geração do resíduo de usinagem de aço está atrelada diretamente a produção de aço, é possível estimar que por dia de trabalho um torno pode gerar cerca de 3 a 4 kg deste resíduo. De acordo com um relatório realizado pela ICI *(Investment Company Institute)* a geração deste resíduo já alcançou cerca de 1200 milhões de toneladas ao ano (MALEK *et. al.*; 2021).

Pesquisas como a de Çelic *et. al.* (2022) vêm demonstrando resultados interessantes na utilização destes resíduos no concreto, neste caso, a limalha de aço foi adicionada ao concreto e analisado o comportamento como fibra, obtendo aumento em todas as resistências mecânicas. As fibras, atuam como reforço, sendo distribuídas uniformemente na mistura, o grau de melhora no concreto está atrelado a alguns fatores como, o teor, a geometria, e o tipo das fibras utilizadas (RAI e JOSHI; 2014).

A utilização de fibras de aço no concreto é interessante principalmente para o aumento da capacidade de absorção da energia pós fissuração, incremento da resistência ao impacto e à fadiga por flexão (ACI COMITTE; 1996). As fibras de aço também possuem alto módulo de elasticidade, podendo ser utilizadas como reforço primário para o concreto, indo além de apenas controle de fissuração (FIGUEIREDO; 2000). Ressalta-se que estes materiais não evitam o surgimento de fissuras, que ocorrem semelhante ao concreto convencional, mas sim a propagação das mesmas pela matriz (SINGH; 2017).

O conceito de resistência para o concreto está relacionado fundamentalmente com a tensão necessária para que ocorra a ruptura do material, sendo a tensão máxima que este suporta, normalmente avaliada na tração e na compressão (MEHTA e MONTEIRO; 2008). É observado uma alteração marginal na resistência a compressão do concreto quando adicionadas fibras convencionais, este comportamento dependendo essencialmente do tipo de fibra e teor de adição (SINGH; 2017).

Este artigo objetiva estudar a inserção de fibras do tipo limalha de aço no concreto, como substituição ao agregado miúdo, analisando as propriedades mecânicas de resistência a compressão e tração.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

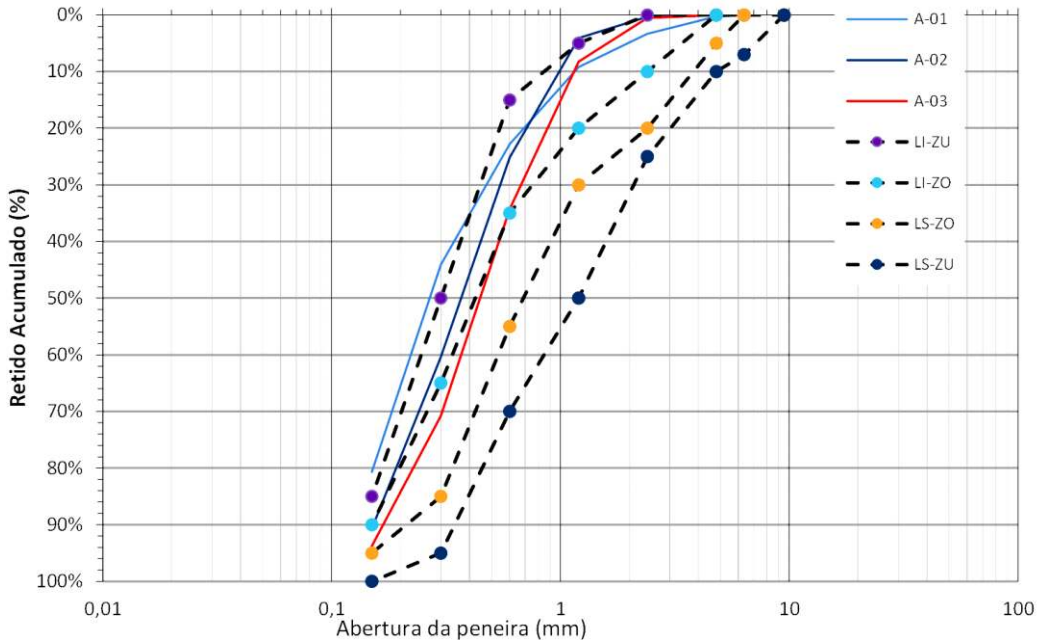
Foi utilizado o cimento CPII-F-32, de acordo com os parâmetros da NBR 16697 (2018) e areia de granulometria média como agregado miúdo (Figura 02). Para o agregado graúdo, utilizou-se da mistura de brita 01 e brita 0 (Figura 03), por fim, resíduos de usinagem provenientes de tornearias do município de Guarapuava – Paraná, conforme Figura 01 abaixo.

Figura 01: Resíduos utilizados.



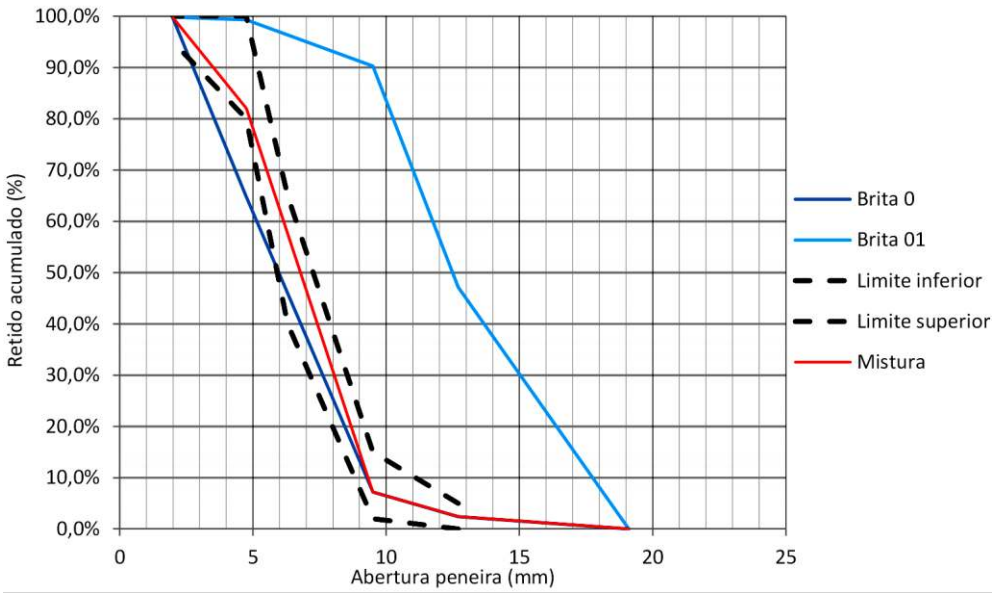
Fonte: Autores (2023)

Figura 02: Granulometria agregado miúdo



Fonte: Autores (2023)

Figura 03: Granulometria agregado graúdo



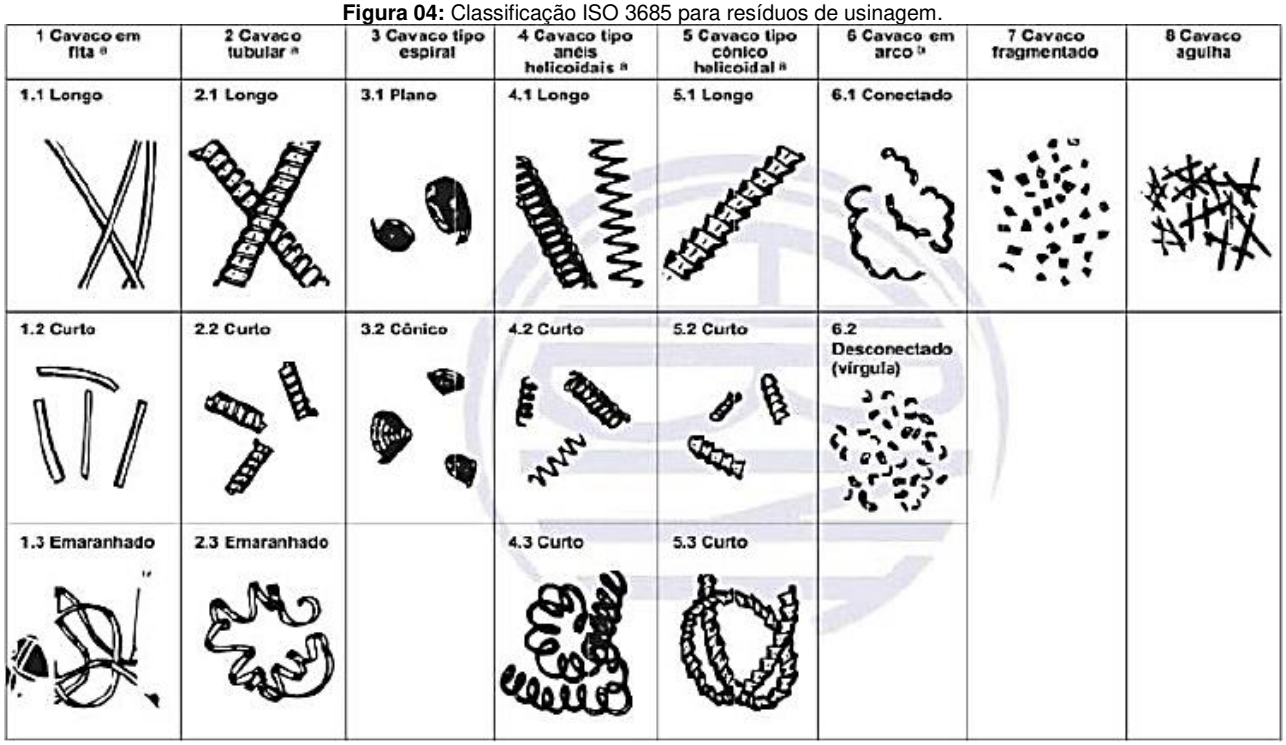
Fonte: Autores (2023)

O resíduo de usinagem utilizado foi classificado conforme a ISO 3685 (2017) como sendo do tipo 6.2. As curvas granulométricas para os agregados miúdos disponíveis está presente na Figura 02, em que foi adotado para a utilização a amostra “A-03”, por possuir a maior parcela de sua granulometria na “zona ótima” (ZO) da norma, além de que, a parte que se encontrava fora deste limite ainda assim estava dentro da “zona utilizável” (ZU). A curva granulométrica para o agregado graúdo é mostrada na Figura 03, onde a utilizada foi a amostra “MISTURA”, composta pela proporção de 50% de cada brita disponível a partir da peneira de 4,75 mm, onde granulometrias superiores foi utilizada 100% da Brita 0.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Foram determinadas as curvas granulométricas dos agregados de acordo com a NBR 17054 (2022). Os resíduos foram classificados conforme a ISO 3685 (2017). Esta leva em consideração a geometria para a classificação de acordo com a Figura 04.

Figura 04: Classificação ISO 3685 para resíduos de usinagem.



Fonte: ISO 3685 (2017)

2.3 DOSAGEM E AVALIAÇÃO DO CONCRETO

Para o traço de referência "T1", foi utilizado fundamentos desenvolvidos por Camargo (2020), o qual, realizou um estudo otimizando os traços de concreto estruturais a fim de se obter 30 MPa de resistência. Foram produzidos traços que substituíam agregado miúdo por resíduo de usinagem nas proporções de 5%, 10% e 15% em relação a massa de cimento, com os traços unitários sendo representados na Tabela 1.

Tabela 1: Consumo de materiais do traço

Consumo de materiais (kg/m³)						
Traço		Fator a/c	Cimento	Resíduos	Areia	Brita
T1	0%	0,5	489,71	0,00	959,83	1332,00
T2	5%	0,5	489,71	24,49	935,34	1332,00
T3	10%	0,5	489,71	48,97	910,86	1332,00
T4	15%	0,5	489,71	73,46	886,37	1332,00

Fonte: Autores (2023)

Foram obtidas as resistências à compressão e tração por compressão diametral para cada traço, utilizando 6 corpos de prova cilíndricos para cada ensaio. A resistência à compressão do concreto foi obtida de acordo com NBR 5739 (ABNT, 2018)**.** A resistência à tração por compressão diametral do concreto é obtida conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011).

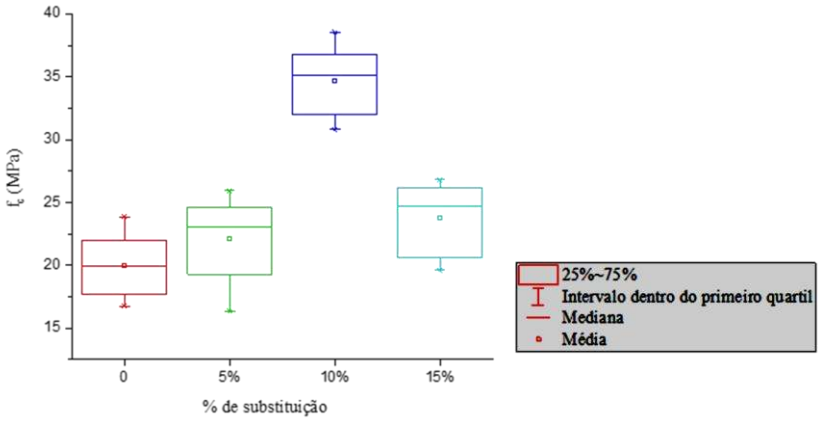
A análise de variância (ANOVA), é uma análise estatística de comparação de médias de grupos de amostra diferentes, determinando se a diferença destes valores é estatisticamente significativa, e se forem, qual o nível de confiabilidade, sendo assim é possível a comparação entre as médias obtidas em cada traço. A validação dos dados obtidos para todas as amostras dos ensaios foi realizada utilizando a análise de variância através do *software OriginLab.*

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA NA COMPRESSÃO

O acréscimo de resistência à compressão (Figura 05) foi observado para todas as substituições, com valores de 10,74%, 73,70% e 19,07% de aumento das médias para os traços com substituição de 5%, 10% e 15% respectivamente. De acordo com a análise de variância realizada, observa-se que em relação ao traço de referência T1, as amostras com 5% e 15% não são diferentes de maneira significativa com confiabilidade de 95%, obtendo uma confiabilidade de 75% para o primeiro caso e 90% para o segundo, enquanto a substituição de 10% possui valor de 95% de confiabilidade.

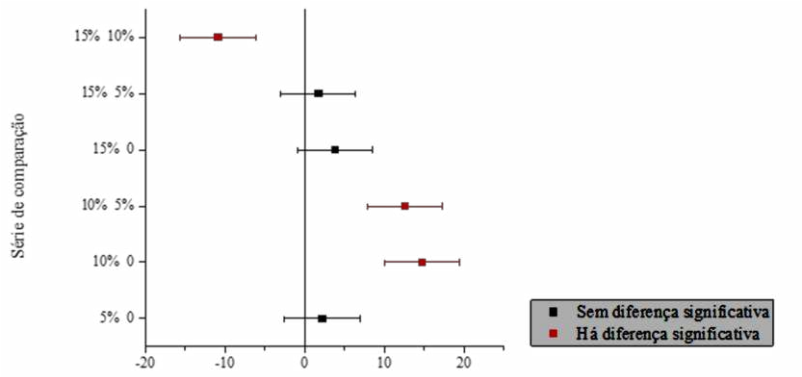
Figura 05: Gráfico resistência à compressão por teor de substituição



Fonte: Autores (2023)

A Figura 06 demonstra a comparação entre cada traço com confiabilidade de 95%, sendo assim, o acréscimo da resistência é notório e válido para este teor de substituição. Resultados semelhantes foram obtidos por outros pesquisadores como: Prabu *et. al.* (2020) que obteve, para a substituição de 15%, um acréscimo de 20% na resistência à tração; Malek *et. al.* (2021) que demonstrou um aumento de 13,9% para o teor de 5% e; Arunakanthi e Kumar (2016) que obtiveram15% e 19% de aumento de resistências para os teores de 5% e 15% respectivamente.

Figura 06: Comparação das médias dos traços com confiabilidade a 95%

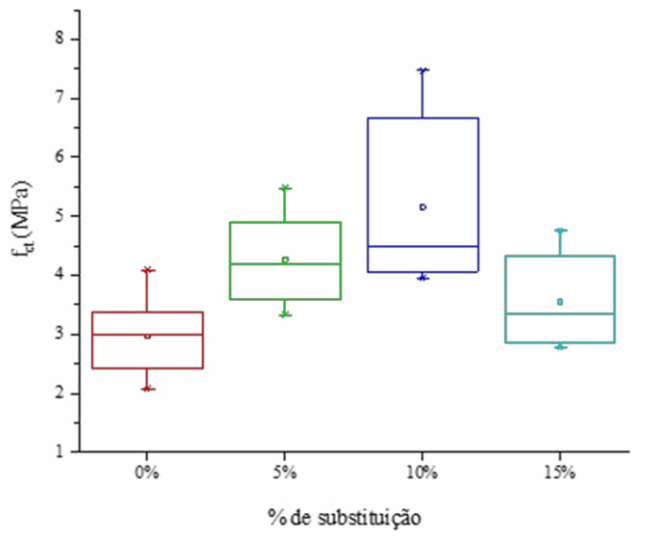


Fonte: Autores (2023)

3.3 RESISTÊNCIA A TRAÇÃOPOR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Assim como para a compressão, a tração por compressão diametral (Figura 07) apresentou acréscimo observado para todas as substituições, com valores de 43,75%, 73,70% e 19,62% de aumento das médias para os traços com substituição de 5%, 10% e 15% respectivamente.

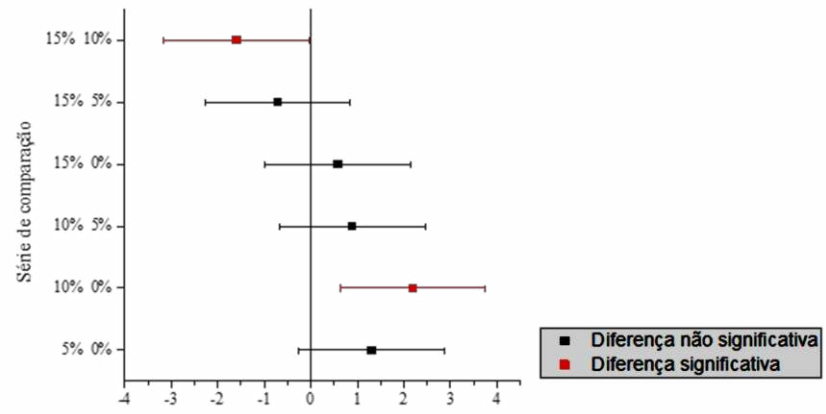
Figura 07: Gráfico resistência na compressão por teor de substituição.



Fonte: Autores (2023)

De acordo com a análise de variância realizada, observa-se que em relação ao traço de referência T1, as amostras com 5% e 15% possuíram confiabilidade na análise inferior a 95%, obtendo um valor de 90% para o primeiro caso e 80% para o segundo, enquanto a substituição de 10% possui valor de 95% de confiabilidade. A figura 08 mostra a comparação realizada entre cada traço utilizando o valor de 95% para confiabilidade. É interessante notar que a comparação do traço de 10% com o de 5%, diferente do observado na compressão, não possui médias diferentes neste grau de análise.

Figura 08: Comparação das médias dos traços na tração com confiabilidade a 95%



Fonte: Autores (2023)

4 CONCLUSÕES

Observa-se com os resultados obtidos, acréscimos consideráveis no comportamento mecânico do concreto com a utilização da limalha de aço, o oposto do que ocorre para os materiais fibrosos convencionais, em que a alteração nas resistências é dada de maneira marginal. Os resíduos quando utilizados como substituição de 10% da areia, em relação a massa de cimento, apresentaram para ambas as resistências analisadas o maior acréscimo, aproximadamente 70%, com confiabilidade de 95%, sendo esta faixa de incorporação a próxima dos teores ótimos.

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios, é possível afirmar com um considerável grau de precisão a melhora do comportamento mecânico do concreto. Estes acréscimos podem estar relacionados com o fato dos resíduos serem de aço, material que possui resistência mecânica superior a areia. Além disto, a variabilidade de formas e tamanhos, em até certos teores, fazem com que os resíduos possam preencher melhor os vazios da matriz de concreto.

5 REFERÊNCIAS

ACI Comite 544. (2002). **State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported** (ACI 544.1R-96 Reapproved 2002). ACI Structural Journal, 1996 (Reapproved).

ARUNAKANTHI, E.; KUMAR, C. J.D. **Experimental studies on fiber reinforced concrete (FRC).** Int. J. Civ. Eng. Technol. **2016**, 7,329–336.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17054:** Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT 2015.

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

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

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

CASARIN; S. J. **Manufatura Mecânica: Usinagem.** Editora e Distribuidora Educacional S.A., 1° ed. Londrina-PR. 2018.

CAMARGO, M. V. DE. **Resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto por meio de ensaios não destrutivos (END)**. 2020. 143f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço.** 2000.Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Civil. São Paulo-SP. 2000

MACHADO, Á. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; DA SILVA, M. B. **Teoria Da Usinagem Dos Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

MALEK, M.; KADELA, M.; TERPILOWSKI, M.; SZEWCZYK, T.; LASICA, W.; MUZOLF, P. **Effect of Metal Lathe Waste Addition on the Mechanical and Thermal Properties of Concrete.** MATERIALS. 2021. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/351786205_Effect_of_Metal_Lathe_Waste_Addition_on_the_Mechanical_and_Thermal_Properties_of_Concrete >. Acesso em 20 de mai. de 2023.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2. ed. São Paulo-SP: IBRACON 2014.

PRABU, M.; VIGNESH, K.; SAII PRASANNA, N.; PRAVEEN, C.; MOHAMMED NAFEEZ, **A. Experimental study on concrete in partial replacement of fine aggregate with lathe waste**. Int. J. Sci. Eng. Res. **2020**, 11, 68–72. Disponível em: < https://www.ijser.org/researchpaper/Experimental-study-on-concrete-in-partial-replacement-of-fine-aggregate-with-lathe-waste.pdf > Acesso em 20 de março de 2023.

RAI, A.; JOSHI, Y. P. **Applications and Properties of Fiber Reinforced Concrete**. Journal of Engineering. Research and Applications, Vol 4. maio de 2014. Disponível em: < http://www.kresttechnology.com/krest-academic-projects/krest-mtech-projects/Civil/Civil%20M.tech%20Projects%202017%20-2018/2.%20Concrete%20Projects/BASE%20PAPERS/25.fiber%20reinforced%20concrete.pdf>. Acesso em 20 de mai. de 2023.

SINGH, H. **Steel fiber reinforced concrete: behavior, modelling and design**. Springer, 2017.

ÇELIC, A. I.; OZKILIÇ, Y.O.; ZEYBEK, O.; OZDONER, N.; TAYEH, B.A. **Perfomance Assessment Fiber-Reinforced Concrete Product with Waste Lathe Fibers**. Sustainability. 20 de setembro de 2022. Disponível em: < https://