ARTIGO CIENTÍFICO

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS ENTRE O CONCRETO CONVENCIONAL E O CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO

COMPARATIVE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES BETWEEN CONVENTIONAL CONCRETE AND CONCRETE REINFORCED WITH CARBON FIBER

Thuany Espirito Santo de Lima[1]; Vinícius do Couto Lau[2]

RESUMO

As estruturas de concreto armado são afetadas de diversas maneiras e são muito utilizadas no Brasil devido às suas vantagens como boa resistência, custo benefícios, entre outros. As solicitações inicialmente previstas em projeto podem ser alteradas, ou a estrutura pode sofrer a ação de agentes externos, reduzindo o desempenho estrutural do material, tendo a necessidade de reforços ou reparos. Com isso, o presente trabalho aborda aspectos experimentais sobre o reforço do concreto com a fibra de carbono. O reforço foi realizado com tecido bidirecional de fibra de carbono aplicado com resina epóxi, tendo como objetivo testar o desempenho do concreto reforçado quando submetido à tração na flexão. A partir da realização dos ensaios foi observado que a resistência à tração do concreto foi modificada com a aplicação da fibra de carbono, onde houve um aumento de 14% em relação ao concreto simples sem armaduras ou reforços, demonstrando que a utilização da fibra como reforço do concreto teve um efeito positivo.

Palavras-chave: Concreto armado; Fibra de carbono; Reforço estrutural.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures are affected in several ways and are widely used in Brazil due to their advantages such as good resistance, cost-benefits, among others. The requests initially foreseen in the project may be changed, or the structure may suffer the action of external agents, reducing the structural performance of the material, resulting in the need for reinforcement or repairs. Therefore, the present work addresses experimental aspects of reinforcing concrete with carbon fiber. The reinforcement was carried out with bidirectional carbon fiber fabric applied with epoxy resin, with the aim of testing the performance of reinforced concrete when subjected to flexural tension. After carrying out the tests, it was observed that the tensile strength of the concrete was modified with the application of carbon fiber, where there was an increase of 14% in relation to simple concrete without reinforcement or reinforcement, demonstrating that the use of fiber as reinforcement of concrete had a positive effect.

Keywords: Reinforced concrete; Carbon fiber; Structural reinforcement.

1 Doutora em Engenharia e Ciência de Materiais, docente do UNIFESO, Teresópolis, RJ, Brasil - thuanylima@unifeso.edu.br

2 Engenheiro Civil pelo UNIFESO, Teresópolis, RJ, Brasil.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado do mundo, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado FIHP (IBRACON, 2009), estima-se que seu consumo anualmente seja de 11 bilhões de toneladas, um consumo aproximado de 1,9 toneladas por habitante, perdendo apenas para água, pois para a realização do concreto se utiliza também a água.

O cimento ao ser hidratado forma uma pasta que se adere aos agregados, formando uma mistura resistente e fácil de ser moldada, fazendo com que seja muito utilizada para formar diversos tipos de arquitetura. Após a cura do mesmo, chega-se a altas resistências à compressão e se adequa às exigências necessárias. Contudo segundo Neville (2016), o mesmo apresenta aspectos negativos como o seu peso elevado, não permitindo que seja criada estruturas muito esbeltas apenas com o concreto armado.

Apenas o concreto simples sozinho como uso estrutural não é suficiente, pois o mesmo tem uma alta resistência à compressão, mas sua resistência à tração é baixa (cerca de 1/10 da resistência à compressão), necessitando assim de uma composição com outros materiais para resistir a flexão, como armaduras ou fibras (CHUST CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2021).

Nos últimos anos, o reforço estrutural com fibras de carbono tem se destacado como uma tecnologia promissora para aumentar a capacidade de carga e a resistência de estruturas da construção civil. Com uma excelente relação resistência-peso e propriedades mecânicas superiores, as fibras de carbono oferecem uma alternativa eficaz e durável em comparação com os métodos tradicionais de reforço estrutural (MACHADO, 2006). A necessidade de reforçar estruturas existentes surge em várias situações, seja devido ao envelhecimento natural das edificações, à deterioração causada por eventos extremos ou ao aumento das cargas de serviço. O reforço convencional, como o uso de aço ou concreto adicionais, muitas vezes é inviável ou inadequado em termos de peso, complexidade e impacto nas estruturas existentes, nesse contexto, o reforço estrutural com fibras de carbono emerge como uma solução inovadora e eficiente.

Devido aos fatos expostos, neste trabalho foi escolhida a fibra de carbono para reforçar o concreto, e realizar a comparação com o concreto convencional, a fim de verificar o benefício de seu uso em relação a resistência à tração na flexão. Dessa forma, o objetivo do estudo é analisar e comparar o comportamento dos corpos de prova de concreto reforçado com fibra de carbono em relação ao concreto convencional sem nenhum tipo de armadura passiva.

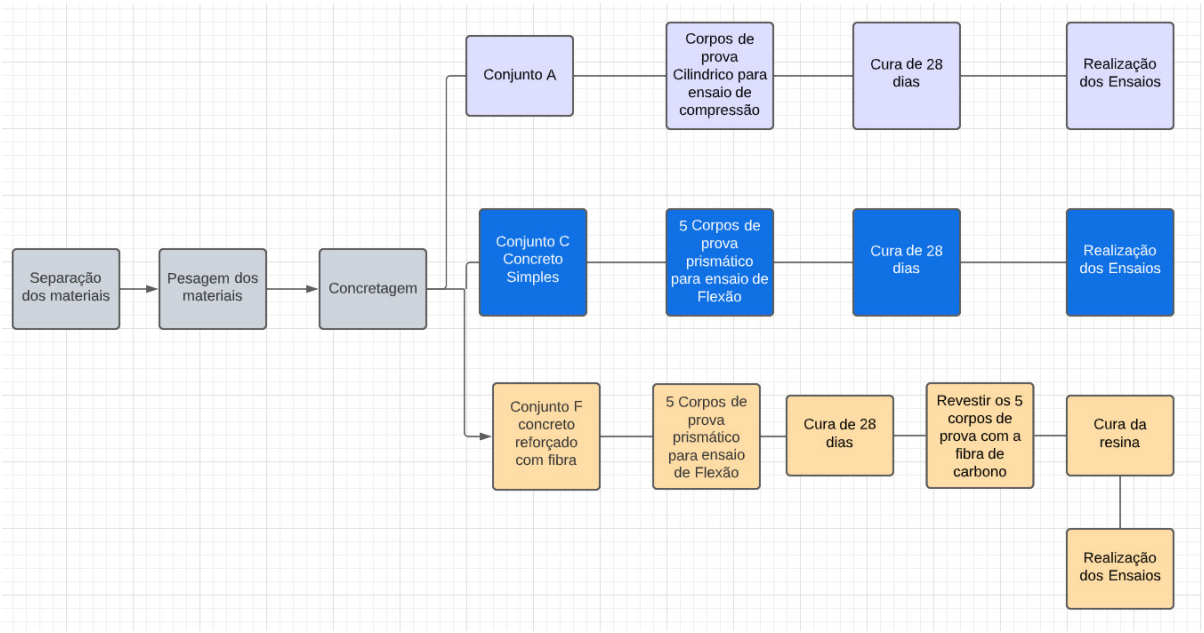
MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento experimental do trabalho consiste na realização de dois ensaios de laboratório: Resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos para verificação do traço de concreto de 25 MPa aos 28 dias para qual foi projetado, e de resistência à tração na flexão com corpos de prova prismáticos. Para o ensaio de compressão foram utilizados 4 corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura e para o de tração foram utilizados 10 corpos de prova prismáticos com dimensões 50 cm x 15 cm x 15 cm, sendo 5 reforçados com fibra de carbono e 5 sem reforço.

Os corpos de prova foram separados, de acordo com seu tratamento e tipos de ensaio, foram separados em 2 conjuntos para o ensaio a flexão: conjunto C apenas o concreto e conjunto F concreto reforçado com fibra de carbono, e por fim foi separado o conjunto A para o ensaio de compressão, como é ilustrado na Figura 1.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Figura 1 – Conjunto de corpos de prova e fluxograma da metodologia



Fonte: Autor, 2023.

Para a concretagem dos corpos de prova foi utilizado cimento CPII-E-32, areia média e brita 1, seguindo o traço 1:1,31:2,56:0,495, sendo o fck esperado de 25 MPa, e seguindo o método de dosagem da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Também foi utilizado no trabalho a fibra de carbono, que é composta por tecido em trama bidimensional, possui resistência de 0,2 kg/m², com 0,40 mm de espessura, 15 cm de largura.

Para a aderência da fibra de carbono no concreto foi utilizado uma resina epóxi e um endurecedor da resina, elas são muito utilizadas como material adesivo, pois tem boa adesão e um ótimo desempenho mecânico em diferentes temperaturas (COUTINHO, 2008).

A resina utilizada no trabalho foi a EPÓXI 2001, além da resina, é preciso endurece-la, por conta disso foi utilizado e misturado o endurecedor EPÓXI 3154, composto por álcool benzílico. Para a aplicação da resina deve se seguir uma proporção de 2:1 (resina:endurecedor), e esperar no mínimo 24 horas para a cura da resina.

RESULTADOS

Rompimento do Conjunto A

Após a preparação da máquina universal de ensaio, foram rompidos os quatro corpos de prova do conjunto A (CPs 1, 2, 3, 4), de modo a encontrar a resistência do concreto à compressão, a fim de verificar se a resistência calculada no traço foi atingida. Os resultados obtidos são representados na Tabela 1 a seguir, e tiveram como média uma resistência de 26,998 MPa, atingindo assim a resistência esperada no cálculo do traço.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Tabela 1 – Resultados do ensaio de compressão.

Data de modelagem:	24/01/2023	Ruptura 21/02/2023	MPa de fabricação:	25	
Conjunto	**Idade**	**Tensão de Ruptura (MPa)**	**Carga de Ruptura (kN)**	**Desvio Padrão**	**Média (MPa)**
Concreto Simples (CONJUNTO A)	A1 -28 dias	26,757	210,148	2,099	26,998
	A2 -28 dias	24,624	193,394		
	A3 -28 dias	29,737	233,557		
	A4 -28 dias	26,873	211,058		

Fonte: Autor, 2023.

Rompimento do Conjunto C

Os resultados do ensaio do conjunto C estão dispostos na Tabela 2, onde é possível observar que a resistência média foi de 0,337 MPa.

Tabela 2 – Resultados do Ensaio de Tração na Flexão Conjunto C

Data de modelagem:	24/01/2023	Ruptura 21/02/2023	MPa de fabricação:	25	
Conjunto	**Idade**	**Tensão de Ruptura (MPa)**	**Carga de Ruptura (kN)**	**Desvio Padrão**	**Média (MPa)**
Concreto Simples (CONJUNTO C)	C1 -28 dias	0,341	25,610	0,011	0,337
	C2 -28 dias	0,350	26,233		
	C3 -28 dias	0,338	25,371		
	C4 -28 dias	0,338	25,371		
	C5 - 28 dias	0,320	24,031		

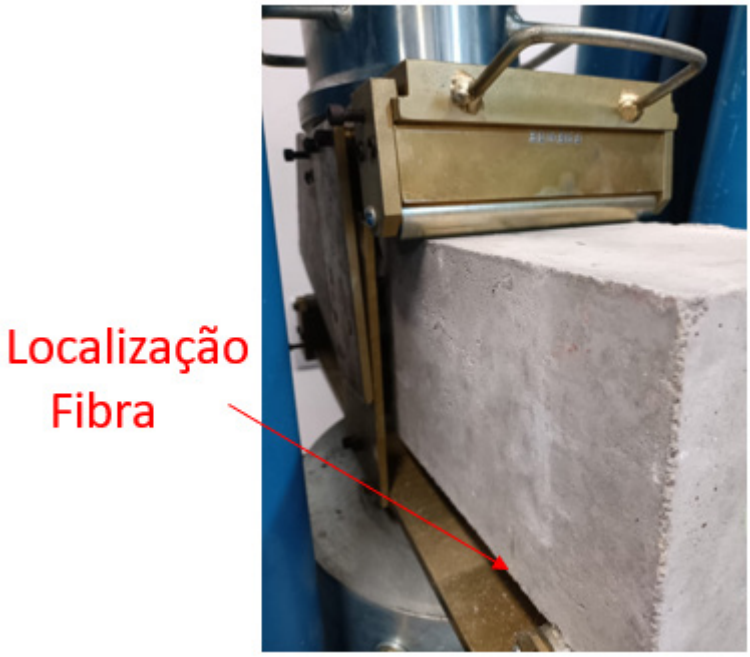
Fonte: Autor, 2023.

Rompimento do Conjunto F

Após serem retirados da câmara úmida os corpos de prova do conjunto F foram revestidos com a fibra de carbono e ficaram 24 horas em um local para que fosse feita a cura da resina, respeitando o mínimo de 24 horas pedido pelo fabricante. Os CPs foram colocados na máquina de ensaios posicionados com a fibra na parte inferior do equipamento, onde ocorreria o esforço de tração. É possível verificar na Figura 2 a localização da fibra.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Figura 2 – Localização da Fibra de Carbono no Corpo de Prova



Fonte: Autor, 2023.

Os resultados do ensaio encontram-se na Tabela 3. Onde é possível verificar pela resistência média que a mesma foi superior ao do conjunto C, demonstrando que a fibra aumentou a resistência do corpo de prova.

Tabela 1 - Resultados do Ensaio de Resistência à Tração na Flexão do Conjunto F

Data de modelagem:	24/01/2023	Ruptura 22/02/2023	MPa de fabricação:	25	
Conjunto	**Idade**	**Tensão de Ruptura (MPa)**	**Carga de Ruptura (kN)**	**Desvio Padrão**	**Média (MPa)**
Concreto Simples (CONJUNTO F)	F1 -28 dias	0,380	28,530	0,015	0,385
	F2 -28 dias	0,401	30,062		
	F3 -28 dias	0,377	28,291		
	F4 -28 dias	0,367	27,525		
	F5 -28 dias	0,401	30,110		

Fonte: Autor, 2023.

DISCUSSÃO

No ensaio de tração na flexão foi observado, tanto numericamente quanto visivelmente, que o reforço com a fibra de carbono resulta aumento da capacidade de carga nos corpos de prova que foram revestidos com o tecido. A partir da Tabela 4 e da Figura 3, é possível visualizar este aumento.

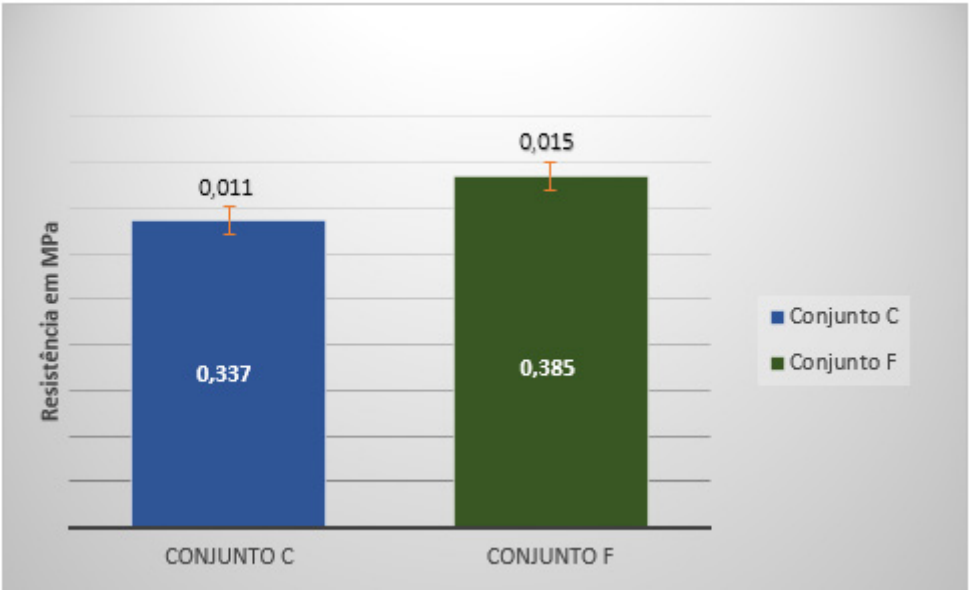
CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Tabela 2 – Resultado Comparativo entre os Conjuntos

Data de modelagem:	24/01/2023	Ruptura 21/02/2023 C e 22/02/2023 F	MPa de fabricação:	25	Desvio Padrão	Resultado comparativo
Conjunto	Idade	Tensão de Ruptura (MPa)	Carga de Ruptura (kN)	Média (MPa)		
Concreto Simples (Conjunto C)	C1 -28 dias	0,341	25,610	0,337	0,011	
	C2 -28 dias	0,350	26,233			
	C3 -28 dias	0,338	25,371			
	C4 -28 dias	0,338	25,371			
	C5 -28 dias	0,320	24,031			
Concreto Reforçado com Fibra (Conjunto F)	F1 - 28 dias	0,380	28,530	0,385	0,015	Teve um aumento de 14,24%
	F2 - 28 dias	0,401	30,062			
	F3 - 28 dias	0,377	28,291			
	F4 - 28 dias	0,367	27,525			
	F5 - 28 dias	0,401	30,110			

Fonte: Autor, 2023.

Figura 3 – Gráfico Comparativo das Resistências à Tração na Flexão



Fonte: Autor, 2023.

Os corpos de prova revestidos com a fibra tiveram um aumento de 14,24% na resistência em comparação com os que não foram revestidos, porém como é possível observar em outros trabalhos de conclusão de curso como Gabardo (2019) e Tayt-Sohn (2020) esse aumento deveria ter sido maior, onde no trabalho dos mesmos chegando a cerca de aproximadamente 40%. Durante a execução do ensaio foi observado que a fibra não trabalhou de forma completa, pois quando a mesma começava a ser tracionada ouvia-se um som da mesma descolando do corpo de prova.

Esse descolamento pode estar associado a resina não ser específica para este tipo de experimento, sendo utilizada para piscina. A resina recomendada para este tipo de ensaio é a da marca reconhecida REDELEASE®. Além disso, o tempo de cura da resina pode ter influenciado, podendo ser necessário mais tempo no processo de cura da resina.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

Também pode ter influenciado no resultado do experimento o tamanho e tipo da fibra de carbono, onde a utilizada neste trabalho foi a bidirecional e estava do tamanho incorreto, e teve que ser cortada para ficar nas dimensões do corpo de prova, e com isso ela apresentou a característica de desfiar muito facilmente não sendo também uma fibra de marca conhecida e com dimensões incompatíveis com o corpo de prova.

Todavia, a fibra resistiu muito bem trazendo resultados positivos em comparação como concreto convencional sem reforço.

CONCLUSÃO

Ao longo das últimas décadas, o reforço de estruturas na construção civil tem ganhado importância, especialmente no que se refere a patologias e ao aprimoramento do desempenho. O reforço externo, por sua viabilidade sem a necessidade de demolição ou remoção de elementos, tem sido amplamente estudado e testado, com os materiais compósitos como as fibras de carbono, mostrando resultados promissores. Além disso, os elementos construtivos para reforço em estruturas de concreto armado estão cada vez mais presentes na construção civil, desempenhando um papel fundamental na manutenção. As fibras são amplamente utilizadas para o reforço, sem a necessidade de demolição ou remoção de materiais, aumentando a resistência da estrutura, sendo aplicadas como revestimento em vigas, lajes e pilares.

A partir da pesquisa realizada neste trabalho, foi observado que a aplicação das fibras de carbono aumentou a capacidade de resistência à tração dos corpos de prova em comparação aos que não foram revestidos, resultando em um aumento de aproximadamente 14% em sua resistência à tração na flexão, onde demonstra que este tipo de reforço estrutural pode e deve ser utilizado em estruturas em que outro tipo de reforço não seja viável.

Portanto, a utilização de materiais compósitos como a fibra de carbono como um elemento de reforço na região onde ocorre tração do concreto permitiu aumentos significativos na capacidade de carga do elemento estrutural, podendo ser estudado cada vez mais para um dia se desenvolver uma norma para o dimensionamento dos reforços com fibra de carbono.

São sugeridas para futuras pesquisas, as realizações dos ensaios: tração na flexão com corpos prismáticos, sendo eles totalmente revestidos pela fibra, aumentar o tempo de cura da resina e colocar mais camadas da fibra no corpo de prova, também realizar uma amostragem maior, a fim de comparações com os resultados presentes neste trabalho. Além disso, também podendo ser realizado um estudo de análise de viabilidade econômica da aplicação de fibras de carbono comparado a reforços convencionais em estruturas de concreto e análise do desempenho do concreto reforçado com outros tipos de fibra.

CADERNO UNIFESOTEC
v. 2, n. 1 (2024) | Teresópolis | ISSN: 3085-7732

REFERÊNCIAS

ACI. **ACI SPEC-440.6-08(17)(22) Specification for Carbon Fiber-Reinforced Polymer Bar Material for Concrete Reinforcement**. American Concrete Institute. Chicago, p. 6. 2022.

ARAÚJO, J. M. D. **Curso de Concreto Armado**. 4ª. ed. Cidade nova, Rio Grande: DUNAS, v. I, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro. 2010.

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

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

BEBER, A. J. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono.** 2003. 317 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2002.

CHUST CARVALHO, R.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. 10 Reimpressão. São Carlos: EdUFSCar, 2021.

COUTINHO, I. **Resinas epoxídicas-estudos de envelhecimento acelerado e sua aplicação em Conservação e Restauro de vidro**, 2008. Tese de Doutorado. FCT-UNL..

GABARDO, B. **DESEMPENHO DE CONCRETO COM REFORÇO DE TECIDO DE FIBRA DE**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Joinville, p. 71. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO (IBRACON). **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. CONCRETO & Construções IBRACON, São Paulo, v. 53, p. 80, Jan/mar 2009.

MACHADO, Ari De Paula. **Fibras de Carbono – Manual Prático de Dimensionamento**. Edição BASF, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª. ed. São Paulo: BOOKMAN, 2016.

RODRIGUES P.P.F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto. ET - 67**. [S.l.]: [s.n.], 1998.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros da Dosagem Racional do Concreto. In:** 34ª Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento. [S.l.]: [s.n.]. 1983.

SOUZA, VICENTE CUSTÓDIO MOREIRA DE; RIPPER, THOMAZ. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI LTDA, 2009.

TAYT-SOHN, M. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO COM REFORÇO DE FIBRAS DE CARBONO**. CENTRO UNIVERSITÁRIO SERRA DOS ÓRGÃOS UNIFESO. Teresópolis, p. 54. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso.