

**FUNDAÇÃO CARMELITANA MÁRIO PALMÉRIO
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GLENDIA SOUZA COSTA

**AValiação DA MEDIDA DE TENACIDADE DO CONCRETO REFORÇADO
COM FIBRAS DE AÇO**

**MONTE CARMELO – MG
DEZEMBRO / 2018**

GLENDASOUZA COSTA

**AVALIAÇÃO DA MEDIDA DE TENACIDADE DO CONCRETO REFORÇADO
COM FIBRAS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Faculdade de Ciências Humanas e Sociais da Fundação Carmelitana Mário Palmério (FUCAMP), para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Juliete Ribeiro da Silva

**MONTE CARMELO – MG
DEZEMBRO / 2018**

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Célia e Manuel e
à minha filha Maria Valentina*

AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos:

a meus pais Célia Elias de Souza Costa e Manuel Divino Costa Varão pelo apoio para a realização de minha graduação;

à minha filha Maria Valentina Souza por ter sido e ser fonte de inspiração para realizar minha caminhada universitária;

a minhas amigas Angélica Pereira e Aline Marques pela companhia e apoio durante o curso;

aos professores e colegas do curso de Engenharia Civil da FUCAMP pelo auxílio na construção do conhecimento;

à professora Juliete Ribeiro da Silva que confiou em minha capacidade de realizar as pesquisas, bem como a construção do trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar um tipo de compósito que é o concreto reforçado com fibras de aço a partir da realização de um ensaio feito com duas matrizes de concreto com resistência a compressão de 20Mpa e 40Mpa, com dosagens de três tipos diferentes 30 kg/m³, 40 kg/m³ e 50 kg/m³, e compara lós com a metodologia do ensaio internacional da ASTM C1609: 2012.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Fibras de aço. Materiais Compósitos. Medida de Tenacidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Esquema do ensaio de tenacidade à flexão prescrito pela ASTM C1609.
- Figura 2** – Equipamento e configuração do ensaio ASTM, realizado na FECIV-UFU.
- Figura 3** – Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.
- Figura 4** – Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.
- Figura 5** – Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.
- Figura 6** – Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.
- Figura 7** – Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.
- Figura 8** – Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.
- Figura 9** – Variação da Tenacidade ao se adicionar as fibras.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos agregados

Tabela 2 – Composição dos traços utilizados

Tabela 3 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Tabela 4 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Tabela 5 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Tabela 6 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Tabela 7 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Tabela 8 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABREVIATURAS

m³ - Metro cúbico

mm – Milímetro

min – Minuto

kg – Quilograma

MPa – Megapascal

N – Newton

SIGLAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas.

ASTM – American Society for Testing Materials.

CRF – Concreto reforçado com fibras.

CRFA – Concreto reforçado com fibras de aço

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivo.....	11
1.1.2 Objetivo geral.....	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Materiais compostos.....	11
2.2 Concreto.....	12
2.3 Concreto reforçado com fibras e sua importância.....	13
2.3.1 Matriz de concreto.....	13
2.3.2 Fibras.....	14
2.3.3 Interação fibra – matriz.....	15
2.4 Tenacidade.....	15
2.4.1 Método ASTM C1609: 2012.....	16
3. METODOLOGIA.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Apresentação dos resultados para o concreto de 20Mpa.....	20
4.2 Apresentação dos resultados para o concreto de 40Mpa.....	23
4.3 Análise fatorial: ensaio a flexão ASTM C1609.....	26
5. CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

O concreto reforçado com fibras (CRF) pode ser definido como um material feito de cimento Portland, agregados, e contendo fibras descontínuas misturada aleatoriamente. Entre as fibras mais utilizadas na construção civil podemos citar as fibras de aço e as fibras de polipropileno (THOMAZ, 2017).

Atualmente, muitas de suas aplicações estão associadas a obras de grande demanda social. O mercado Brasileiro é centralizado em aplicações de baixo consumo de fibras e estrutura contínuas, e tem como principal aplicação os pavimentos industriais (FIGUEIREDO, 2011).

Na antiguidade, os materiais mais comuns de se utilizar em construções eram pedra natural (rocha), madeira e ferro. Um material para ser utilizado em estruturas deve apresentar características de resistência e durabilidade. A pedra, por exemplo, apresenta boa resistência a compressão e durabilidade elevada, no entanto oferecia baixa resistência a tração. Já o concreto apresenta alta resistência à compressão, o que faz dele um excelente material para ser utilizado em elementos estruturais, porém é frágil à tração, assim como as pedras. Com o intuito de suprir essa carência do concreto, o aço passou a ser utilizado em sua composição (BASTOS, 2014).

O concreto reforçado com fibras ou barras de aço, são exemplos de materiais compostos. Tais materiais levam esse nome, pois possuem algum tipo de reforço e uma matriz frágil. (FIGUEIREDO, 2011).

Em algumas aplicações, o CRF pode ser utilizado como alternativa ao uso do concreto armado para estruturas contínuas e pré-moldadas, as quais são ligadas a obras de infraestrutura com grande demanda social como saneamento básico e transporte (FIGUEIREDO, 2011).

Como materiais que se complementam trabalhando junto o aço e o concreto se tornaram os materiais mais utilizados na construção civil. Tal fato é explicado pela alta disponibilidade dos materiais constituintes do concreto (cimento, agregados e água) e a facilidade de aplicação do aço (BASTOS, 2014).

O mercado da construção civil é amplo e sua demanda alta. Assim, a procura por melhorias que visem facilitar o processo de construção e o ganho de tempo e economia são alvos de várias pesquisas e buscas por aprimoramentos tecnológicos. O concreto reforçado com fibras de aço é uma delas, e tem como finalidade dificultar a propagação das fissuras

sofridas no concreto quando exposto a grandes tensões, pois possui elevado módulo de elasticidade o que permite uma redistribuição de esforços no material.

Diante deste contexto, este trabalho busca por forma de uma análise detalhada mostrar o comportamento do CRF e suas respectivas vantagens, comparadas com o concreto convencional.

1.1. Objetivo

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é:

Avaliar o comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras.

1.1.2 Objetivo Específico

O objetivo específico é:

Verificar a influência da adição de diferentes teores de fibras de aço na medida de tenacidade.

Comparar os resultados com a metodologia apresentada e verificar com a ajuda da ASTM C1609 se a medida de tenacidade se foi possível obter resultados satisfatórios.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1 Materiais compostos

Segundo Cupertino (2009) o material composto ou compósito é formado por duas ou mais partes distintas. Por tal configuração, qualquer material constituído de dois ou mais componentes com propriedades físico-químicas distintas e não miscíveis podem ser tratadas como um material compósito.

São fabricados a partir de dois elementos: um material-base, chamado matriz, e um reforço ou carga. O propósito da matriz é proteger o reforço do ambiente externo a fim de evitar que o material disperso entre em contato com meios ácidos ou corrosivos, deixa-lo em seu lugar e redistribuir a tensão (CUPERTINO, 2009).

As propriedades dos compósitos dependem das características do reforço como quantidade, tamanho, forma e distribuição e as matrizes podem ser feitas de materiais poliméricos, metálicos ou cerâmicos. Os reforços podem ser particulados (partículas grandes ou dispersas), fibrosos (fibras longas ou curtas) ou estruturais (laminados) (CUPERTINO, 2009).

Utilizados na construção civil desde o Egito antigo, a utilização dos compósitos cresceu em diversidade, podendo ser encontrados em varias aplicações como telhas, estruturas de concreto, tuneis e pavimentos (FIGUEIREDO, 2000).

Com a evolução tecnológica, faz-se presente atualmente um exemplo da utilização de compósitos que está tendo um alto crescimento que são os concretos reforçados com fibras de aço, onde a adição das fibras junto ao concreto tem por finalidade minimizar o comportamento frágil característico do concreto (FIGUEIREDO, 2000).

2.2 Concreto

O concreto consiste em uma mistura de cimento, água, agregados miúdos (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita); podendo conter ou não aditivos químicos que podem melhorar e modificar suas propriedades básicas. Com uma proporção igual dos materiais pode – se atingir diversas características desejadas, tanto estando fresco ou endurecido.

Sendo considerado um dos materiais estruturais mais utilizados no mundo, o concreto entre suas principais vantagens, pode se citar o baixo custo e a capacidade de se adequar a variadas condições de produção; possibilitando infinitas variações de formas para as peças moldadas. Entretanto tal material apresenta algumas limitações, como baixa resistência à tração (FIGUEIREDO, 2011).

Atualmente no mercado há uma grande variedade de tipos de concreto. Por ser um material versátil que é utilizado em varias fases da obra, como, por exemplo, na fundação e na alvenaria, nas quais a demanda de utilização deste material tende a aumentar constantemente. Desse modo, a procura é sempre por um resultado final que atenda todas as demandas presentes em um projeto como qualidade, segurança e um menor preço.

Dentre os variados tipos de concreto podemos citar alguns deles como o concreto convencional (simples) e o concreto armado, segundo a NBR 6118: 2014 (itens 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.5), eles são definidos como sendo:

a) Elementos de concreto simples estrutural: elementos estruturais elaborados com concreto que não possui qualquer tipo de armadura ou que a possui em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado;

b) Elementos de Concreto Armado: aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

2.3. Concreto reforçado com fibras e sua importância

O Concreto Reforçado com Fibras (CRF) consiste no concreto simples com fibras misturadas aleatoriamente durante seu processo de produção. Sendo um material compósito, feito com cimento e agregados, e com adição de fibras que podem ser de variadas formas e tamanhos, ele é composto basicamente por duas fases: a matriz e as fibras.

Para a classificação básica do material, as propriedades relevantes são o módulo de elasticidade e a resistência mecânica. Essas duas propriedades irão definir a capacidade de reforço que a fibra pode proporcionar ao concreto. Em específico, as fibras que possuem módulo de elasticidade superior ao do concreto são conhecidas como fibras de alto módulo (FIGUEIREDO, 2011).

Segundo Arif (2014), do ponto de vista estrutural, o desempenho do CRF é melhor quando, nos resultados da distribuição da fissuração. Pode-se notar uma diminuição da abertura da fissura e do espaçamento entre elas, existindo a possibilidade, assim, de observar um aumento considerável da resistência à flexão. No estado limite último, se nota o melhoramento da ductibilidade, com o intuito de obter um melhor desempenho e uma maior eficiência da matriz. O coeficiente de Poisson e o coeficiente de expansão térmica devem ser da mesma ordem de grandeza e as fibras devem conter as seguintes propriedades:

- 1) A resistência à tração deve ser maior que a do concreto (de duas a quatro vezes);
- 2) A força de aderência da matriz de concreto, de preferência deve ser igual ou maior que a resistência a tração da matriz;
- 3) O reforço da fibra e seu módulo de elasticidade deve ser maior que o da matriz de concreto, pelo menos três ordens de grandeza.

Se as fibras forem consideradas suficientemente resistentes, elas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras permitindo ao concreto resistir a tensões de tração bem elevadas com grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração (THOMAZ, 2017).

2.3.1 Matriz de concreto

As matrizes podem ser originadas por materiais metálicos, poliméricos ou cerâmicos. Sendo o concreto um material compósito cerâmico constituído por: pasta de cimento, agregados graúdos e miúdos e os poros, ele pode ser manuseado facilmente podendo atender às exigências de uma construção, o que proporciona à sua matriz a modificação de seu comportamento com a adição de fibras.

De acordo com Arif (2014) o tamanho da partícula da matriz é importante, pois afeta diretamente a distribuição da quantidade de fibras em um compósito. Sendo assim, é necessário um maior cuidado na dosagem do CRF. A seguir encontram-se citadas as seguintes funções que a matriz do concreto deve desempenhar em um compósito:

- i) Dar forma ao compósito;
- ii) Proteger o reforço do ambiente;
- iii) Transferir carga para o reforço;
- iv) Contribuir para melhorias das propriedades que dependem tanto da matriz quanto do reforço, como absorção da energia do concreto.

Por apresentar um comportamento de ruptura frágil e uma pequena capacidade de deformação, o concreto tem uma resistência à tração bem inferior a resistência à compressão uma relação que está em torno de 7% a 11% (ARIF, 2014).

2.3.2 Fibras

As fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal. As destinadas ao reforço do concreto são genericamente chamadas de macro-fibras. Geralmente as fibras de aço possuem extremidades na forma de gancho para aumentar a sua ancoragem e possuem comprimento que varia entre 25 mm (fibras curtas) a 60 mm (fibras longas), podendo ser fornecidas soltas ou coladas em pentes (FIGUEIREDO, 2011).

As que podem ser utilizadas no concreto são classificadas de duas formas, a partir da constituição dos materiais (naturais orgânicos, minerais ou feitos por humanos [aço, vidro, etc]), bem como a partir de suas propriedades físicas e químicas (densidade, rugosidade superficial, reatividade com matriz de cimento e resistência ao fogo). A escolha de qual fibra deverá ser utilizada é feita conforme suas propriedades mecânicas, sua resistência à tração e ao seu módulo de elasticidade (ARIF, 2014).

Segundo Callister (2002), os compósitos mais importantes são aqueles em que a fase dispersa se encontra na fase de uma fibra. E para Strong (2008) a fibra na matriz atua como reforço já que dá resistência, rigidez e tenacidade para o compósito, bem como possui propriedades, como o coeficiente de expansão térmica e condutividade.

2.3.3 Interação fibra-matriz

Ao se adicionar fibras com módulo de elasticidade e teor apropriados, o concreto perde a característica de frágil, uma vez que as fibras passam a agir como uma ponte de transferência de tensões pelas fissuras. À medida que as tensões nas extremidades são minimizadas, há uma grande redução da velocidade de propagação das fissuras no compósito dando início a um comportamento pseudo-ductil, fazendo com que, dessa maneira, o concreto passa a ter certa capacidade resistente após a fissuração. O seu uso é recomendado até mesmo para concretos armados como forma de armadura complementar que reduz a fissuração do material (FIGUEIREDO, 2011).

Pode-se citar como a principal vantagem da adição de fibras ao concreto é que após a fissuração da matriz elas trabalham como uma ponte de transferência de tensões, com isso é necessário forças e energias adicionais para romper a fibra. Em outras palavras as fibras atuam como prendedores ou fixadores nas fissuras (ARIF, 2014).

É por aderência que ocorre as transferências de tensões entre fibras e matriz. No estágio pré-fissuração a interface distribui o carregamento externo entre ambas. As fibras e a matriz apresentam uma diferença de rigidez. É comum aparecer tensões de cisalhamento elásticas ao longo da superfície de contato auxiliando na transferência de parte da força aplicada nas fibras. (ARIF, 2014)

2.4 Tenacidade

Como a análise está fortemente embasada na interação fibra-matriz, são necessários ensaios que procurem quantificar este comportamento em que a maioria procura avaliar a tenacidade do compósito (FIGUEIREDO,2011). Segundo Callister (2002), tenacidade se define como a energia absorvida por um material dúctil até a sua ruptura, envolvendo a energia gasta com deformações elásticas e plásticas.

Para o CRFA, a definição de tenacidade mais aceita é a de energia absorvida pelo compósito quando carregado, abrangendo a energia absorvida antes e após a fissuração da matriz, quando as fibras passam a atuar de maneira mais efetiva por já apresentar uma ruptura.

Quando tal fibra passa a trabalhar, o CRFA é considerado um material pseudo-ductil, pois não possui mais a característica do concreto simples “frágil”. Desta forma, tenacidade pode ser definida como a área sob a curva carga por deslocamento, que representa o trabalho dissipado no material e depende das dimensões dos corpos de prova e sistema de aplicação dos esforços para sua avaliação. (FIGUEIREDO, 2011)

Por já ser considerado um material frágil, uma vez que o concreto se rompe com pequenas deformações. O papel das fibras, em sua composição, é melhorar seu comportamento mecânico e a capacidade de absorção de energia, ou seja, a tenacidade.

Há uma série de ensaios internacionais disponíveis para a quantificação da medida de tenacidade no CRF, sendo que a maioria deles utiliza corpos de prova prismáticos para avaliar tal medida a partir do ensaio de flexão à tração.

Para avaliação da medida de tenacidade do CRF é necessário considerar os seguintes fatores: tipo de máquina de ensaio utilizado, tamanho e geometria dos corpos de prova, resistência das fibras e matriz, teor e espaçamento das fibras (ARIF, 2014).

Segundo Dias (2018), os principais métodos utilizados para avaliar a medida de tenacidade são os métodos: JSCE-SF4 (1984), ASTM C1609 (2012), EN 14651 (2007), AENOR UNE 83515 (2010) (Barcelona teste) e Barcelona simplificado, método da abertura por encunhamento, bem como o método com duplo corte em cunha (DEWS).

Para a composição metodológica deste texto, usaremos como base para a avaliação da medida de tenacidade o método prescrito pela norma americana ASTM C1609: 2012.

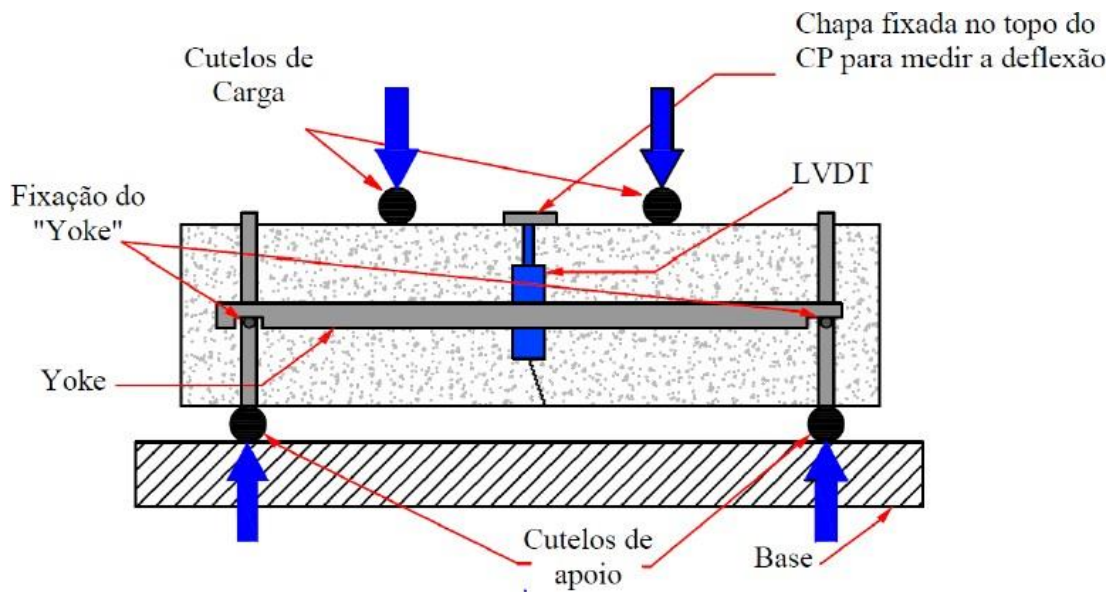
2.4.1. Método ASTM C1609: 2012

A ASTM C1609: 2012 define a tenacidade do CRF como a quantidade de energia absorvida pelo compósito quando este é submetido à tração na flexão, podendo observar a absorção de energia antes e após a ruptura da matriz, além de caracterizar também a área abaixo da curva carga \times deflexão. Após a fissuração da matriz em determinadas deflexões, se calcula a resistência residual (ARIF, 2014).

O ensaio desse método é realizado da seguinte maneira: amostras na forma prismática com dimensões de 100 mm \times 100 mm \times 350 mm e vão livre de 300 mm ou com dimensões de 150 mm \times 150 mm \times 500 mm e vão livre de 400 mm, deve se levar em conta que a largura e a altura das amostras devem ser três vezes maiores que o comprimento da fibra, como, por exemplo, para amostras com largura e altura de 150 mm, o comprimento da fibra a ser utilizada deve ser inferior a 50 mm (DIAS, 2018).

Devem ser estabelecidas duas velocidades de carregamento diferentes durante o ensaio, e a taxa de incremento da deflexão deve ser limitada a 0,05 mm/min, estabelecido pela norma (DIAS, 2018). A Figura 1 mostra como e feito o ensaio de tenacidade à flexão.

Figura 1: Esquema do ensaio de tenacidade à flexão prescrito pela ASTM C1609



Fonte: Arif, 2014

3. METODOLOGIA

No presente trabalho será avaliada a medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço com por meio da norma ASTM C1609: 2012. Para a realização deste procedimento serão utilizadas duas matrizes de concreto (resistências médias à compressão de 20 MPa e 40 MPa) simples (sem fibras) e reforçado com fibras de aço em três dosagens diferentes (30kg/m^3), (40kg/m^3) e (50kg/m^3). Para cada traço serão analisados três corpos de prova.

Para a realização deste ensaio foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CPIV 32 RS, com massa específica determinada segundo as recomendações da ABNT NBR 16605: 2017, de $2,90\text{ g/cm}^3$. Já os tipos de agregados utilizados e seus respectivos resultados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos agregados

Classificação dos agregados	Tipos de ensaio				
	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária no estado solto (g/cm ³)	Massa unitária no estado compactado (g/cm ³)	Dimensão máxima (mm)	Módulo de finura
Agregado miúdo (areia fina)	2,60	1,39	x	1,20	1,43
Agregado miúdo (areia média)	2,94	1,38	x	1,20	1,42
Agregado graúdo ($D_{máx} = 12,5$ mm)	2,66	1,53	1,65	12,5	2,40
Agregado graúdo ($D_{máx} = 19$ mm)	2,78	1,49	1,64	19,0	3,04

Fonte: Adaptado de PEREIRA , VICTOR (2017).

As fibras utilizadas são formadas de fios de aço trefilados com ancoragem nas extremidades e seção transversal circular com diâmetro e comprimento médio de 0,90 mm e 60 mm. A fim de melhorar a trabalhabilidade do material e não afetar o tempo de pega na moldagem dos corpos de prova foi utilizado o aditivo hiperplastificante.

Para a dosagem do concreto foram feitos traços com o consumo de fibras de 30 kg/m³, 40 kg/m³ e 50 kg/m³, utilizando como base a Tabela 2 feita dos estudos de Vitor (2017) e Pereira (2017), para comparação de resultados.

Tabela 2 – Composição dos traços utilizados

Materiais	S20	S40
Cimento CP IV 40 RS (kg/m ³)	315,99	459,27
Agregado miúdo – módulo de finura 1,24 (kg/m ³)	290,71	257,19
Agregado miúdo – módulo de finura 1,63 (kg/m ³)	543,5	477,64
Agregado graúdo – dimensão máxima 12,5 mm	265,43	275,56
Agregado graúdo – dimensão máxima 19 mm	796,28	826,69
Água	208,55	183,71
Aditivo hiperplastificante	0,86	2,34
Traço	1:2,64:3,36:0,66	1:1,6:2,4:0,4

Fonte: Adaptado de PEREIRA , VICTOR (2017).

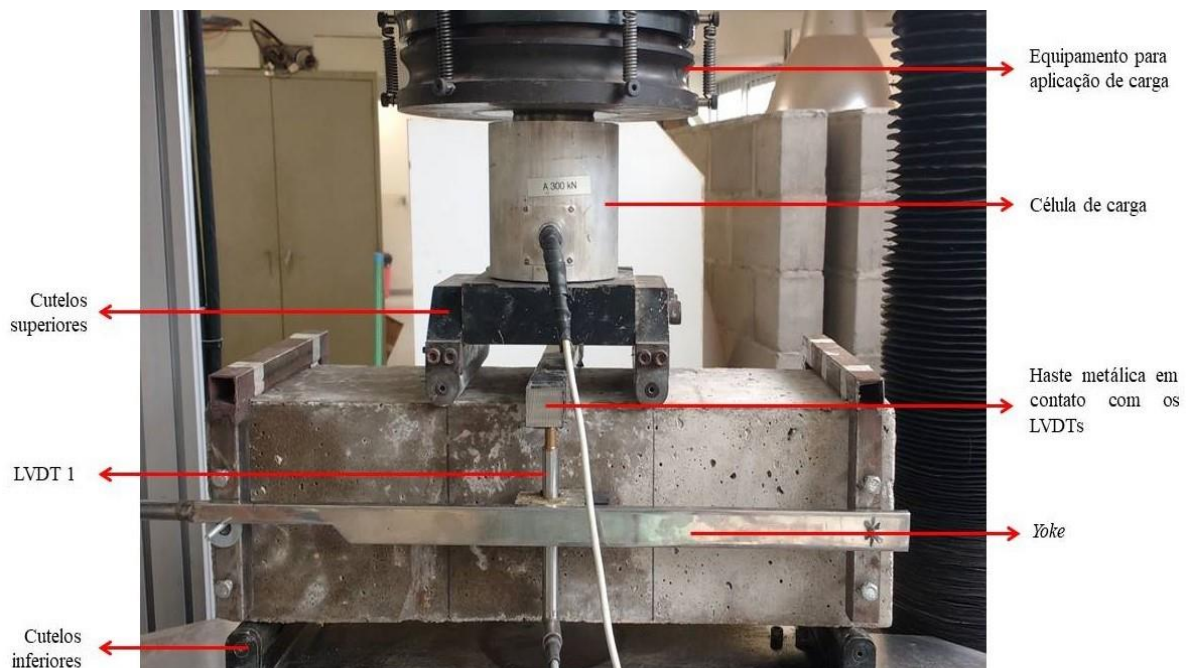
Foi feita a moldagem dos corpos de prova em formas metálicas de seção transversal 150 mm × 150 mm e comprimento de 500 mm. Na moldagem dos corpos de prova

prismáticos, de acordo com a norma EN14651 o tamanho do incremento 1 deve ser o dobro do incremento 2. Realizado em mesa vibratória com tempo adotado de aproximadamente 10 segundos.

De acordo com a norma ASTM C1609: 2012 os corpos de prova prismáticos devem aguardar um período de 48 horas para serem desenformados. Depois dos sessenta dias completos de cura submersa, dando ao todo um total de três corpos de prova de cada traço, com o sentido da moldagem girados 90° em torno do seu eixo longitudinal, para que a aplicação da carga pudesse ser realizada no plano perpendicular ao sentido da moldagem.

Podendo haver irregularidades, o vão de ensaio foi adotado em 450 mm, centralizado com duas placas de madeira. Com o intuito de melhorar o ensaio, Yoke foi colocado também placas de borracha com cola. Utilizou-se o dispositivo de Yoke de aço inoxidável com espessura e comprimento de 8 mm e 500 mm. A Seguir a Figura 2 mostra o equipamento utilizado para a realização do ensaio:

Figura 2: Equipamento e configuração do ensaio da ASTM, realizado na FECIV-UFU



Fonte: DIAS, 2018

Devidamente montados e posicionados os corpos de prova e feita a realização do ensaio, deve-se destacar que a velocidade de carregamento foi empregada em duas partes, velocidade inicial até $L/900 = 0,5$ mm de deflexão, resultado de $0,05$ mm/min, velocidade

secundária de L/900 a L/150 (0,5 mm a 0,33 mm) resultado de 0,10 mm/min, de acordo com a norma ASTM C1609: 2012.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tenacidade foi determinada por um teste a flexão da ASTM C1609: 2012. A seguir serão apresentados e analisados os valores obtidos. A análise dos gráficos será feita somente com os que tiveram a adição de fibras, dado que os que não a levaram em sua composição não apresentaram resultados considerados satisfatórios para ser realizado a análise destes.

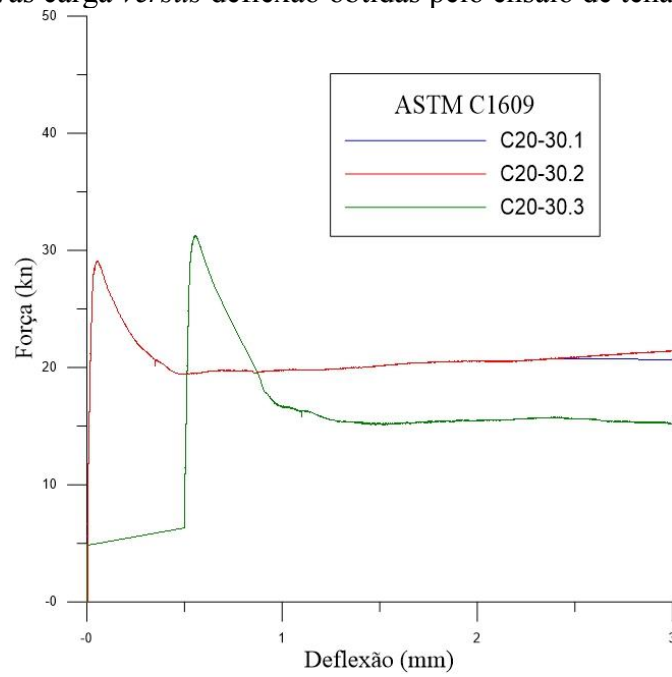
Foi utilizado o programa *grapher 11* para obter a curva de carga *versus* a deflexão. Tal procedimento possibilitou a obtenção da tenacidade ao calcular a área sob as curvas. As tabelas mostram os respectivos valores da tenacidade média, o desvio padrão (Sd), bem como o coeficiente de variação (CV).

A análise de dados foi realizada partir da repetitividade já que ela fornece respostas próximas com as mesmas condições e por repetidas vezes.

4.1. Apresentação dos resultados para o concreto de 20 MPa

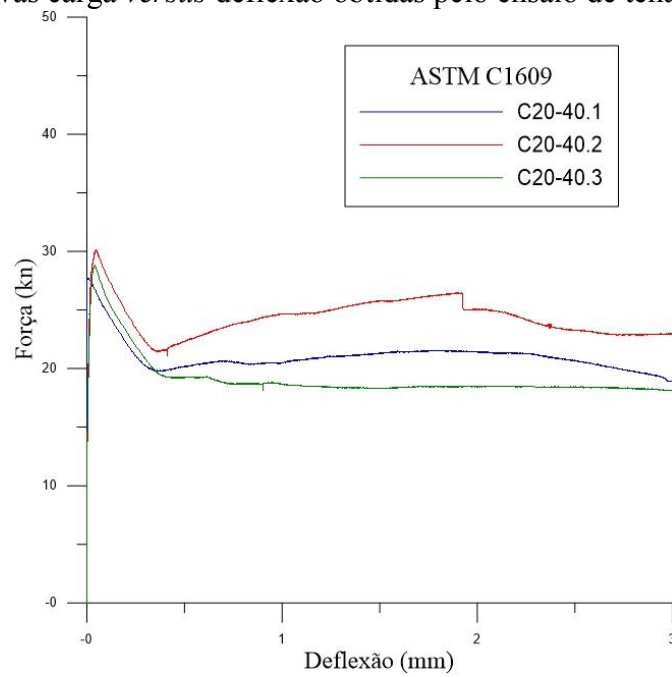
Nas Figuras 3,4 e 5 são apresentadas a curvas de força x deflexão, como também são apresentados os valores da tenacidade, a flexão de acordo com a norma ASTM C1609, até o limite de deflexão de 3 mm para os traços de 30 kg/m³, 40kg/m³ e 50 kg/m³ de fibras. A legenda das figuras e disposta da seguinte forma C20 – 30.1 (concreto de 20MPa com 30 kg/m³, corpo de prova 1).

Figura 3: Curvas carga *versus* deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.



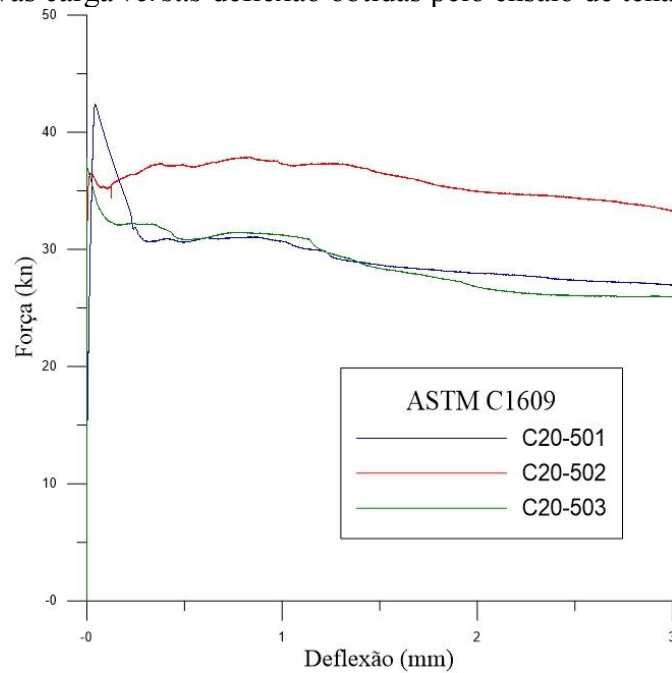
Fonte: Autora, 2018

Figura 4: Curvas carga *versus* deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.



Fonte: Autora, 2018

Figura 5: Curvas carga *versus* deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.



Fonte: Autora, 2018

A média e a variância dos valores de tenacidade à flexão são apresentados nas tabelas 3,4 e 5.

Tabela 3 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio à flexão ASTM C1609

Dosagem	Tenacidade a flexão segundo a ASTM C1609			
	Área	Tmédia (N.m)	Sd (N.m)	CV (%)
C20-30.1	69,27	62,89	8,85	14%
C20-30.2	69,80			
C20-30.3	49,61			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 4 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio à flexão ASTM C1609

Dosagem	Tenacidade a flexão segundo a ASTM C1609			
	Área	Tmédia (N.m)	Sd (N.m)	CV (%)
C20-40.1	64,15	71,99	10,41	14%
C20-40.2	87,62			
C20-40.3	64,20			

Fonte: Autora (2018).

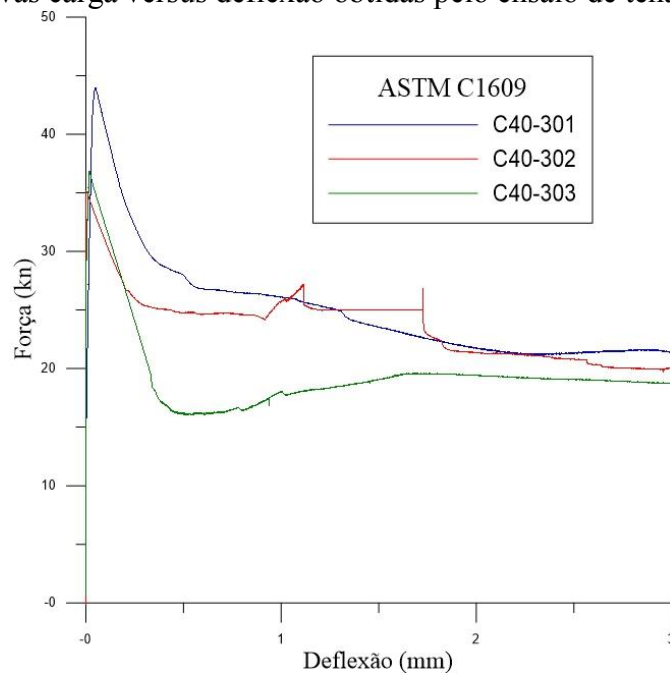
Tabela 5 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Dosagem	Tenacidade a flexão segundo a ASTM C1609			
	Área	Tmédia (N.m)	Sd (N.m)	CV (%)
C20-501	95,41	99,46	10,16	10%
C20-502	114,70			
C20-503	88,26			

Fonte: Autora (2018).

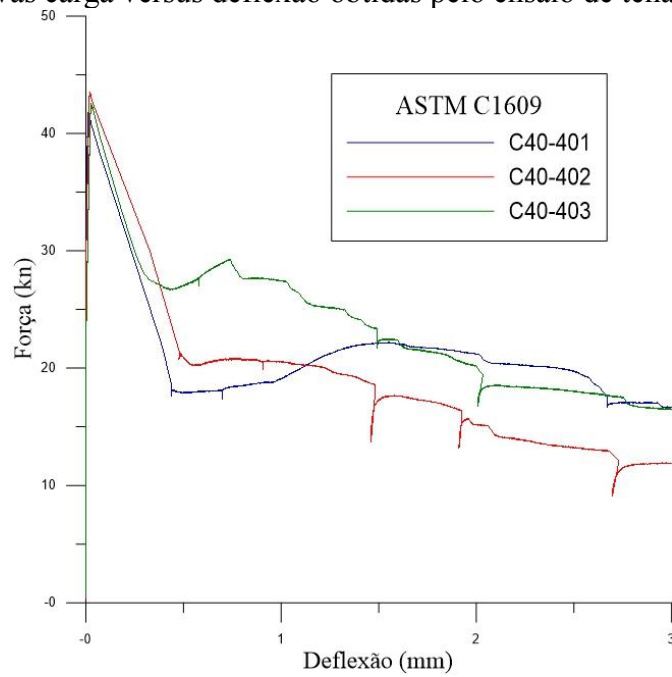
4.2 Apresentação dos resultados para o concreto de 40 MPa

Nas figuras 6,7 e 8 são apresentadas as curvas de carga por deflexão são apresentados os valores da tenacidade a flexão de acordo com a norma ASTM C1609, ate o limite de deflexão de 3 mm para os traços de 30 kg/m³, 40kg/m³ e 50 kg/m³. A legenda das figuras e disposta da seguinte forma C40 – 30.1 (concreto de 40MPa com 30 kg/m³, corpo de prova 1).

Figura 6: Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão

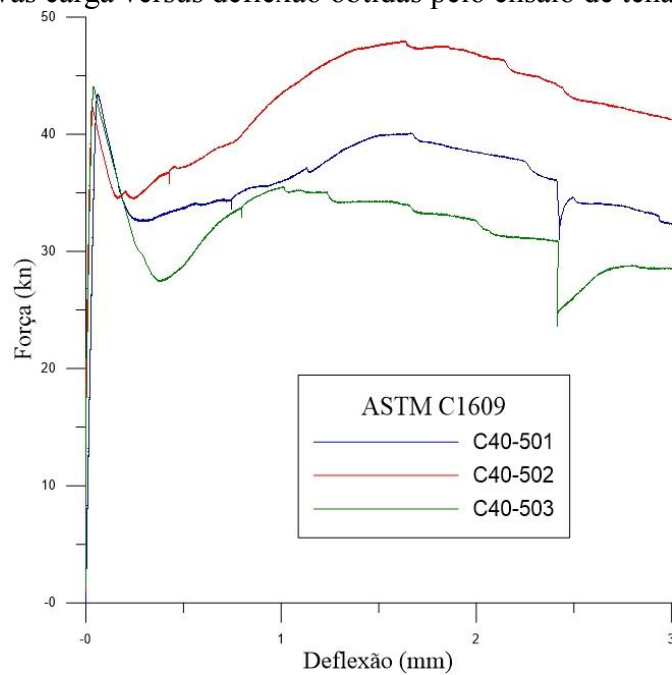
Fonte: Autora, 2018

Figura 7: Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.



Fonte: Autora, 2018

Figura 8: Curvas carga versus deflexão obtidas pelo ensaio de tenacidade à flexão.



Fonte: Autora, 2018

A média e a variância dos valores de tenacidade à flexão são apresentados nas tabelas 6,7 e 8.

Tabela 6 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Dosagem	Tenacidade a flexão segundo a ASTM C1609			
	Área	T _{média} (N.m)	Sd (N.m)	CV (%)
C40-301	78,47	71,95	4,46	6%
C40-302	72,14			
C40-303	65,25			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 7 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Dosagem	Tenacidade a flexão segundo a ASTM C1609			
	Área	T _{média} (N.m)	Sd (N.m)	CV (%)
C40-401	66,03	68,36	5,06	7%
C40-402	63,10			
C40-403	75,97			

Fonte: Autora (2018).

Tabela 8 – Valores de Tenacidade obtidos pelo ensaio á flexão ASTM C1609

Dosagem	Tenacidade a flexão segundo a ASTM C1609			
	Área	T _{média} (N.m)	Sd (N.m)	CV (%)
C40-501	116,03	118,30	11,85	10%
C40-502	136,08			
C40-503	102,80			

Fonte: Autora (2018).

O intuito de se adicionar as fibras ao concreto é que elas possam redistribuir as tensões a partir do momento em que o concreto sofre uma ruptura impedindo que ela fique maior, o que é possível se notar nas Figuras apresentadas onde a partir do momento em que o concreto sofre sua primeira fissuração as fibras passam a atuar como uma espécie de ligante impedindo que estas fiquem maiores proporcionando um ganho de resistência e tenacidade maiores.

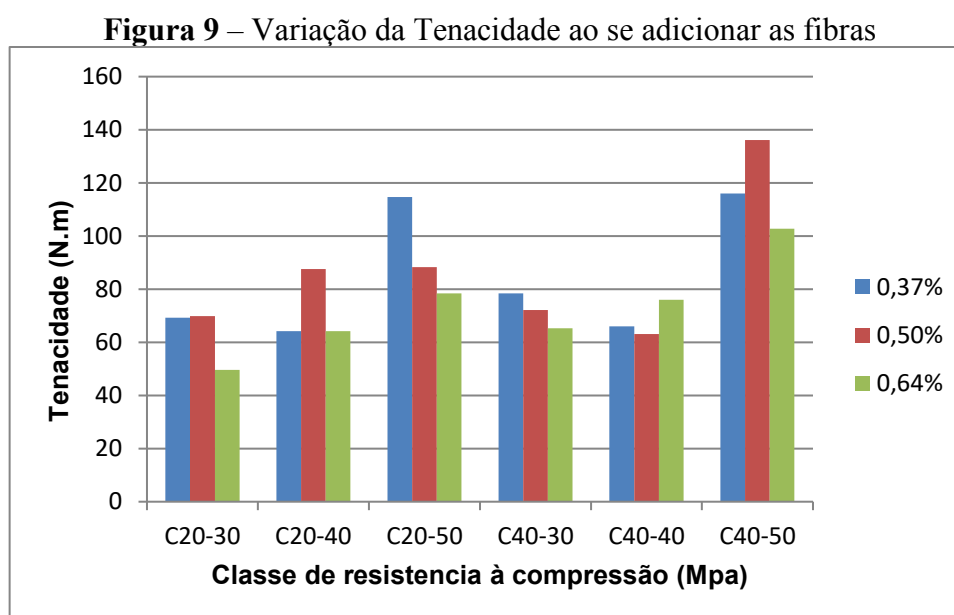
É possível notar claramente esta aplicação quando o concreto sofre a primeira fissura se tem um pico mais elevado nos gráficos. Como dito na metodologia anteriormente as fibras passam a atuar como grampos ou fixadores impedindo que esta aumente, no gráfico é possível notar que a partir do momento que as fibras passam a atuar o concreto passa a ficar estável por um período maior de tempo até sofrer sua ruptura por completo.

Nas Tabelas as medias se mantêm estáveis conforme a variação do concreto somente nas de C40, em que houve uma baixa em 2 corpos de prova testados. O coeficiente de variação se nota que ficou entre 14% e 6%.

Diante das curvas e da análise separada de cada Figuras e Tabelas, e comparados com a metodologia da norma, pode-se dizer que houve coerência com os resultados obtidos pelo ensaio de desempenho a flexão ASTM C1609, já que apresentou índices de repetitividade, com coeficiente de variação (CV) dentro do limite de 16% estabelecidos pela norma ASTM C1609: 2012.

4.3. Análise fatorial: Ensaio a flexão ASTM C1609

Com os valores obtidos do ensaio a flexão se representa graficamente a interferência do teor de fibras e da resistência à compressão na tenacidade. A Figura 9 apresenta essa variância:



Fonte: Autora (2018)

O teor de fibras para essa análise e disposto da seguinte maneira as porcentagens de 0,37%, 0,50% e 0,64% se referem a quantidade de fibras que foi adicionado ao traço de concreto equivalente a sua proporção ou seja 37 quilos de fibras para 1m³ de concreto. Tanto para o traço C20 e C40 o critério de análise no aumento do teor de fibras é o mesmo ao adiciona-las: 30 kg/m³ (0,37%), 40kg/m³(0,50%) e 50 kg/m³ (0,64%).

Ao aumentar o teor de fibras é possível notar um aumento percentual na tenacidade, analisando a Figura 9, percebe-se a queda no valor da tenacidade no concreto C20, onde a mesma deveria aumentar com o acréscimo de fibras e um ganho no concreto C40, porém ao analisar o desvio médio é possível notar que as tenacidades se encontram em um mesmo intervalo de valores.

Em uma análise verifica-se que há um acréscimo mais significativo quando se varia o acréscimo de fibras de 0,37% para 0,64% do que quando a classe de resistência é alterada. O maior valor de tenacidade foi para a dosagem do corpo de prova C40-50 (50kg/m³).

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados e comparados com a metodologia conclui-se que:

- ao se adicionar as fibras de aço no concreto é possível notar o ganho de tenacidade, tração e módulo de elasticidade, uma vez que adicionando as fibras junto ao concreto tem a diminuição da propagação de fissuras já que as fibras agem como ponte de tensões e aumentam a ductilidade do compósito reduzindo a velocidade de abertura.

- a influência das fibras na tenacidade se da com o aumento favorável delas visto que uma quantidade maior de fibras aumentará a capacidade portante do compósito.

- com a análise dos gráficos foi possível notar que o maior ganho de tenacidade foi na classe de resistência C40 com teor de fibras de 0,64%, dentro do limite estipulado pela norma ASTM C1609.

Dessa maneira, pode-se considerar o concreto reforçado com fibras de aço um bom material para ser utilizado uma vez que comparados a metodologia com os resultados obtidos em gráficos obtém-se ganhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C1609: Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforce Concrete** (Using Beam with Third Point Loading). Pennsylvania, USA, 2012.

ARIF, M. A. **Avaliação da medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço**. 2014. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. **NBR 6118**, ABNT, 2014, 238p.

BASTOS, P. S. D. S. **Estruturas de Concreto Armado**. 2014. 13 p. Estruturas de Concreto I Notas de Aula, Disciplina: 2117 – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2014.

CUPERTINO, L. F. **Modelagem do Módulo de Young em Nanocompósitos Através de Inteligência Computacional**. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2002.

DIAS, R. F. **Comparação da Determinação da Tenacidade do Concreto Reforçado com Fibras de Aço por Meio do Ensaio de Abertura por Encunhamento e da ASTM C1609**. 2018. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras de aço**. 2000. 69 p. Boletim Técnico, Série BT/PCC/260 – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011b. 248 p. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011b.

STRONG, A. B. **Fundamentals of Composite Manufacturing: Materials, Methods and Applications**. 2. ed. Society of Manufacturing Engineers. Dearborn, Michigan, 2008.

THOMAZ, E. C. S. **Concreto com fibras incorporadas: CRF – Concreto Reforçado com Fibras – Mito e Realidade**. 24 ago. 2017. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/PriMaciel2/concreto-reforado-com-fibras-de-ao-artigo-crfconcreto-reforado-com-fibras-de-ao-artigo>>. Acesso em 04 jul. 2018.