



LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
ENGENHARIA CIVIL

TAISA MARIA PIMENTEL

**ANÁLISE COMPARATIVA DO AUMENTO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO EM
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO**

NATAL/RN

2020

TAISA MARIA PIMENTEL

**ANÁLISE COMPARATIVA DO AUMENTO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO EM
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Tomás Barros Vasconcelos

NATAL/RN

2020

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Pimentel, Taisa Maria.

Análise comparativa do aumento de resistência à tração em concreto reforçado com fibra de vidro / Taisa Maria Pimentel. – Natal, 2020.

57 f.

Orientador: Prof. Me. Tomás Barros Vasconcelos.

Monografia (Graduação – Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Fibra de Vidro – Monografia. 2. Concreto – Monografia. 3. Resistência – Monografia. 4. Tração – Monografia. I. Vasconcelos, Tomás Barros. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

TAISA MARIA PIMENTEL

**ANÁLISE COMPARATIVA DO AUMENTO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO EM
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 23 de julho de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Tomás Barros Vasconcelos
Orientador

Prof. Me. Leivlam Rodrigues de Lima
Membro avaliador interno

Prof. Me. Bruno César Rocha Vitória
Membro avaliador externo

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, acima de tudo, que abriu portas e tornou possível a realização deste sonho, e em quem encontrei forças para prosseguir nos momentos de cansaço e desânimo.

Ao meu orientador e professor Tomás Barros Vasconcelos, que foi fonte de inspiração desde a primeira matéria ministrada, pela paciência e conhecimento compartilhado nessa jornada.

Aos meus pais, pelo suporte e incentivo dado sempre.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram, incentivaram e entenderam os momentos em que estava ausente.

A Kamila que pegou no pesado juntamente comigo, auxiliando no laboratório, e Matheus, nos ensaios de resistência.

Por fim, a mim mesma, por manter o esforço, foco, dedicação e sanidade mental no decorrer destes anos.

“Não te mandei eu? Esforça-te, e tem bom ânimo; não temas, nem te espantes; porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares.”

Josué 1:9

RESUMO

Por ser o material mais utilizado na indústria da construção civil, o concreto de cimento Portland é o centro de pesquisas na engenharia civil, buscando encontrar novos materiais mais resistentes e duráveis. Pelo fato de o concreto ser um compósito, podem ser introduzidos em sua composição diversos elementos, com o objetivo de melhorar seu desempenho na área desejada. Um componente que vem sendo cada vez mais estudado em conjunto ao concreto é a fibra devido à sua alta resistência a tração. Assim, o concreto reforçado com fibra de vidro (CRFV) une a boa resistência à compressão do concreto com a resistência a tração da fibra. O objetivo principal desse trabalho é comparar o ganho de resistência à tração no CRFV a partir da incorporação de fibras curtas à mistura em três proporções distintas (0,5%; 1,0% e 1,5% do peso de agregado miúdo). A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, focada em pesquisas similares realizadas na área, e ensaios laboratoriais de compressão axial e tração por compressão diametral, para a análise de dados. Os resultados para este estudo são promissores, visto que é possível obter aumentos de resistência significativos em diversos ensaios, pois as fibras impedem a propagação das microfissuras internas e distribuem os esforços de maneira eficiente. No entanto, nota-se uma redução da trabalhabilidade relacionada ao aumento da quantidade de fibras no concreto, mas que pode ser contornada a partir de outros estudos.

Palavras chaves: Fibra de Vidro. Concreto. Compósito. CRFV

ABSTRACT

As the most used material in the construction industry, Portland cement concrete is the center of research in civil engineering, so that new, more resistant, and durable materials are developed. Because concrete is a composite, several elements can be introduced into its composition, with the aim of improving its performance in the desired area. A component that has been increasingly studied in conjunction with concrete is fiber due to its high tensile strength. Thus, glass fiber reinforced concrete (CRFV) combines the good compressive strength of concrete with the tensile strength of the fiber. The main objective of this work is to compare the tensile strength gain in the CRFV from the incorporation of short fibers to the mixture in three different proportions (0.5%; 1.0% and 1.5% of the fine aggregate weight). The methodology used was bibliographic research, focused on similar research carried out in the area, and laboratory tests of axial compression and traction by diametrical compression, for data analysis. The results for this study are promising, since it is possible to obtain significant strength increases in several tests, since the fibers prevent the propagation of the internal microcracks and distribute the efforts efficiently. However, there is a reduction in workability related to the increase in the amount of fibers in concrete, but which can be circumvented from other studies.

Keywords: Fiberglass. Concrete. Composite. CRFV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cimento.....	17
Figura 2 - Areia.....	18
Figura 3 - Brita.....	18
Figura 4 - Manta de fibra de vidro.....	19
Figura 5 - Betoneira.....	20
Figura 6 - Slump test.....	20
Figura 7 - Adensamento do concreto.....	21
Figura 8 -Corpos de prova moldados.....	21
Figura 9 - Cura.....	22
Figura 10 - Prensa manual.....	23
Figura 11 - Ensaio de compressão axial.....	23
Figura 12 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	24
Figura 13 - Fibra desfiada.....	24
Figura 14 - Incorporação da fibra.....	25
Figura 15 - Concreto com fibras incorporadas.....	26
Figura 16 - Ensaio de tração.....	37
Figura 17 - Tipos de fibra.....	38
Figura 18 - Fibras de vidro comerciais.....	41
Figura 19 - Ilustração de grampeamento.....	43
Figura 20 - Slump para cada traço.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem e quantidade de corpos de prova	22
Tabela 2 - Tipos de Cimento Portland	27
Tabela 3 - Dimensão dos agregados miúdos.....	29
Tabela 4 - Diâmetro comercial dos agregados graúdos	30
Tabela 5 - Consistência do concreto.....	35
Tabela 6 - Desvios	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência x Vazios.....	33
Gráfico 2 - Trabalhabilidade	48
Gráfico 3 - Compressão	49
Gráfico 4 - Compressão (média)	50
Gráfico 5 - Tração	51
Gráfico 6 - Tração (média)	51
Gráfico 7 - Flexão.....	52
Gráfico 8 - Flexão (média).....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. JUSTIFICATIVA	15
1.2. OBJETIVO GERAL	15
1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
1.4. METODOLOGIA.....	17
1.4.1 Materiais utilizados	17
1.4.2. Métodos	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1. CONCRETO.....	26
2.1.1. Composição do concreto	27
2.1.1.1. Aglomerante	27
2.1.1.2. Agregados	28
2.1.2. Fatores que influenciam na resistência do concreto	31
2.1.3. Propriedades do concreto fresco	34
2.1.4. Propriedades do concreto endurecido	35
2.1.4.1. Resistência à compressão	35
2.1.4.2. Resistência à tração.....	36
2.2. FIBRA.....	38
2.2.1. Utilização de fibras na construção civil	39
2.2.2. Fibra de Vidro	40
2.4. ENSAIOS	44
2.4.1. Moldagem dos corpos de prova	44
2.4.2. Compressão axial	45
2.4.3. Compressão diametral	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
3.1. ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	47
3.1.1. Trabalhabilidade	47
3.1.2. Compressão	49
3.1.3. Tração por compressão diametral	50
3.2. ANÁLISE NORMATIVA	52
3.2.1. Flexão	52
4. CONCLUSÃO	54

REFERENCIAS.....	55
------------------	----

1. INTRODUÇÃO

A engenharia procura sempre encontrar materiais que apresentem boas características mecânicas nas mais abrangentes áreas, de maneira que se consigam estruturas cada vez mais resistentes e duráveis. O principal centro de pesquisas nesta área é o concreto de cimento Portland por ser o material mais utilizado na indústria da construção civil.

Metha e Monteiro (2014) justificam essa vasta utilização devido a sua boa resistência à água, sem sofrer grave deterioração (principalmente se comparado ao aço e à madeira), fácil trabalhabilidade do material, podendo ser obtidos diversos formatos e tamanhos de peças, além da facilidade de mercado e abundância de suas matérias primas constituintes. A sua ampla aplicabilidade, se dá também, devido a sua boa resposta a compressão, no entanto, relacionado a esforços tração e flexão não se consegue obter resultados satisfatórios.

Pelo fato de o concreto ser um compósito, podem ser introduzidos em sua composição diversos elementos, que modificarão suas propriedades, melhorando seu desempenho na área desejada e evitando danos ao material e à estrutura executada. Um componente que vem sendo cada vez mais estudado em conjunto ao concreto é a fibra.

A fibra de vidro, principalmente pelo seu elevado ponto de fusão, é amplamente utilizada como uma proteção contra incêndios e isolamentos. (FANGUEIRO, 2011) No entanto conhecem-se também suas outras qualidades como alto módulo de elasticidade e alta resistência à tração, propriedades que podem elevar a capacidade de resistência quando em conjunto com outros materiais.

O concreto reforçado com fibra de vidro - CFRV, (também conhecido como glass fiber reinforced concrete- GFRC), combina as melhores características da fibra com as do concreto, unindo a resistência à compressão com a resistência a tração. Cria-se dessa forma um novo compósito, apresentando melhor resistência devido à transmissão das cargas para as fibras incorporadas. Com isso, as características frágeis do concreto são incrementadas, obtendo melhores respostas aos esforços solicitantes, semelhantemente à utilização da armadura no concreto armado. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016)

Qualquer material executado apresenta internamente microfissuras, que, com o passar do tempo e desgaste, tendem a aumentar de espessura, a utilização de fibras incorporadas ao concreto fresco, tendem auxiliar na selagem destas microfissuras e impedir sua propagação com a solicitação de esforços. “As fibras ajudam a melhorar a ductilidade, resistência à tração antes da trinca, resistência ao impacto e eliminam as rachaduras por contração.” (KENE; VAIRAGADE; SATHAWANE, 2012).

O CRFV vem sendo cada vez mais utilizado e estudado na construção civil por apresentar boa resistência mecânica à tração e a impactos, e impedir a propagação de fissuras nos elementos estruturais. Além de também possuir larga aplicação em diferentes tipos de construções e diversos formatos de peças, para elementos pré-moldados, por exemplo.

1.1. JUSTIFICATIVA

Pelo fato de o concreto ser o mais utilizado na construção civil, também é o mais estudado, e, ainda assim, existem muitos fatos desconhecidos sobre ele, principalmente no que se diz respeito ao acréscimo de outros materiais em sua composição, onde as propriedades finais e microestrutura apresentam-se diferentes da original.

A grande deficiência do concreto está em sua resistência à tração e flexão, dessa forma, a adição da fibra de vidro à matriz cimentícia, visa promover um melhoramento nesta área, criando um conjunto com boa resposta aos três tipos principais de solicitação das estruturas.

Por isso decidiu-se explorar esta área, para obter melhor conhecimento sobre as possibilidades de materiais que melhorem as características em que o concreto possui deficiência, especificamente neste trabalho: a resistência à tração.

1.2. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral estudar e comparar o ganho de resistência à tração no concreto reforçado com fibra de vidro a partir de um traço de 25 MPa, padrão para zona de agressividade moderada urbana, e incorporação de fibras curtas à mistura em três proporções distintas (0,5%; 1,0% e 1,5% do peso de

agregado miúdo), realizando ensaios de compressão e tração por compressão diametral.

1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Confeccionar corpos de prova cilíndricos para um traço padrão, como e sem adição de fibras de vidro;
- Realizar ensaios laboratoriais de compressão e tração por compressão diametral;
- Analisar o comportamento mecânico sob compressão uniaxial em corpos de prova cilíndricos;
- Analisar o comportamento mecânico sobre tração por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos;
- Analisar a resistência à flexão, baseado nos resultados de resistência a tração indireta através de cálculos normativos;
- Comparar os resultados obtidos das diferentes misturas com o concreto sem adição.

1.4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se revisões bibliográficas que discorram acerca das propriedades mecânicas do concreto e da fibra de vidro, como livros, artigos e monografias, bem como pesquisas relacionadas à área de concreto reforçado com fibra de vidro. Visa-se seguir os procedimentos semelhantes aos já estudados para a confirmação dos resultados obtidos. Os ensaios e procedimentos descritos neste trabalho foram realizados no laboratório de materiais de construção do UNI-RN.

1.4.1 Materiais utilizados

- Cimento

Para a confecção dos corpos de prova de concreto foi utilizado cimento Portland Poty do tipo CP II-Z 32, concedido pelo UNI-RN conforme Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Cimento



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

- Areia

A areia utilizada foi do tipo média, passada na peneira n°40, concedida pela UNI-RN, conforme Figura 2.

Figura 2 - Areia



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

- Brita

A brita utilizada foi a n°19, também concedida pelo laboratório do UNI-RN, segundo Figura 3.

Figura 3 - Brita



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

- Fibra

A manta de fibra de vidro utilizada foi adquirida na Ibex Químicos e Compósitos Ltda, apresenta gramatura de 450g/m² e resistência à tração de 220kg/m². Conforme Figura 4.

Figura 4 - Manta de fibra de vidro



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

1.4.2. Métodos

Primeiramente definiu-se o traço para a realização do estudo. Como o objetivo do presente trabalho é o comparativo de resistências, com possibilidade de utilização em ambientes urbanos, de acordo com a NBR 6118 de 2014, a agressividade ambiental a ser adotada é classe II, do tipo moderada, assim, tem-se o traço padrão utilizado pelo laboratório de materiais de construção do UNI-RN que segue os métodos de cálculo da Associação Brasileira de Cimento Portland-ABCP, resultando no traço abaixo:

25 MPa → 1:2,9:3,29:0,6

Inicialmente separa-se o material a ser utilizado, a mistura foi realizada na betoneira elétrica de 250 litros da CSM (Figura 5). É necessário umedecê-la para que a água do concreto não seja absorvida pela mesma. Em seguida os materiais são adicionados e misturados na sequência.

Figura 5 - Betoneira



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

Preparado o concreto, é realizado o ensaio de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone padronizado pela NBR NM 67 de 1998, também conhecido como *slump test*.

Para este ensaio é utilizado um molde em formato de cone, haste de compactação e placa de base. Os materiais são umedecidos, em seguida é colocado o concreto, em três camadas aproximadamente iguais com compactação utilizando a haste de 25 golpes espaçados em cada camada. Após a compactação da última camada é feito o arrasamento do topo, retira-se o molde na direção vertical cuidadosamente, em uma velocidade de 5 a 10 segundos. Retirado o molde mede-se o abatimento, diferença entre a altura do molde e altura do eixo do corpo de prova, conforme Figura 6.

Figura 6 - Slump test



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

Após realizado o ensaio, seguindo os procedimentos da NBR 5738 de 2015 – Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, moldaram-se sete corpos de prova de dimensões 10x20 e sete corpos de prova de dimensões 15x30. O adensamento foi realizado com o vibrador manual, conforme Figura 7.

Figura 7- Adensamento do concreto



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

Depois do adensamento é feito o capeamento, para que a superfície fique uniforme. Os corpos de prova moldados encontram-se ilustrados na Figura 8.

Figura 8 -Corpos de prova moldados



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

A Tabela 1 abaixo apresenta a quantidade de corpos de prova moldados com a respectiva porcentagem de fibra incorporada à mistura (em relação ao peso de agregado miúdo), resultando em um total de 56 corpos de prova confeccionados.

Tabela 1 - Porcentagem e quantidade de corpos de prova

% de fibra incorporada (relativo ao peso)	0	0,5	1,0	1,5
Compressão axial	7	7	7	7
Compressão diametral	7	7	7	7

FONTE: Elaborada pelo autor 2019

Espera-se 24 horas para a retirada dos corpos dos moldes e sua colocação para cura (Figura 9). A cura realizada é a cura por imersão, durante 28 dias, no tanque localizado no laboratório de materiais de construção. O processo de cura é muito importante para que ocorra a hidratação do cimento evitando a fissuração e a retração do concreto.

Figura 9 - Cura



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Após os 28 dias de cura os corpos de prova foram retirados do tanque e, após secos naturalmente, realizou-se os ensaios de compressão e tração por compressão diametral, para tais utilizou-se a prensa pneumática manual da marca Solotest, ilustrada na Figura 10.

Figura 10 - Prensa manual



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

O ensaio de compressão axial seguiu os padrões da norma NBR 5739/2018 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, ilustrado na Figura 11.

Figura 11 - Ensaio de compressão axial



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

Semelhantemente, o ensaio de tração por compressão diametral seguiu os padrões descritos na NBR 7222/2011-Concreto e argamassa – Determinação da

resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, conforme ilustra a Figura 12.

Figura 12 - Ensaio de tração por compressão diametral



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

Em relação aos corpos de prova com adição de fibra de vidro, primeiramente, é desfiada a manta de forma que as fibras fiquem separadas, conforme Figura 13. O comprimento dos fios desfiados permanece entre 5 e 7 cm.

Figura 13- Fibra desfiada



FONTE: Elaborada pelo autor 2019

Após desfiadas, as fibras são incorporadas na mistura do concreto em três proporções distintas (0,5%, 1,0% e 1,5% do peso do agregado miúdo), respectivamente, para cada jogo de corpos de prova.

Quanto aos corpos de prova com fibra adicionada, algumas considerações devem ser feitas. A primeira é relativa à incorporação das fibras ao concreto fresco que deverá ser feita de maneira cuidadosa, para que os fios da fibra não sejam danificados, prejudicando sua aderência à matriz cimentícia. Assim, a sua adição se dá na última etapa da mistura (Figura 14), de forma gradativa, com o tempo de rotação na betoneira mensurado de forma visual, de maneira que se observe uma boa incorporação das mesmas (Figura 15).

Figura 14 - Incorporação da fibra



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Figura 15 - Concreto com fibras incorporadas



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Após a mistura realiza-se o ensaio de abatimento seguindo os procedimentos já descritos de acordo com a NBR NM 67/98. Ressalta-se que para adensamento dos corpos de prova utiliza-se o vibrador elétrico, de forma que se evite uma grande agressividade para que não ocorra a ruptura dos fios da fibra, prejudicando a transmissão de esforços do concreto para a fibra.

Os demais procedimentos de cura por imersão, compressão axial e tração por compressão diametral, para os corpos de prova com adição de fibra, seguem os mesmos, segundo as normas já descritas anteriormente para os corpos de prova de concreto simples.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO

O concreto pode ser definido como um compósito feito com partículas grandes, cujos componentes são cimento Portland, um agregado fino (areia), um agregado grosseiro (brita) e água. A densificação do agregado e um bom contato interfacial são obtidos ao se empregar partículas com dois tamanhos diferentes; onde as partículas finas de areia devem preencher os espaços vazios deixados pelas partículas de brita. (CALLISTER, 2014)

2.1.1. Composição do concreto

2.1.1.1. Aglomerante

- Cimento

O cimento, no sentido mais amplo, pode ser definido como um material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de unir fragmentos minerais. Para a construção civil essa descrição se restringe ao aglomerante utilizado em conjunto com pedras, areias, tijolos etc. O qual possui o calcário como base, visto que endurece quando em contato com água, pois reage quimicamente, sendo denominado de cimento hidráulico. (NEVILLE, 2016)

Como mencionado, o calcário é uma das principais matérias primas para a fabricação do cimento, este, é misturado com a argila, formando uma “farinha”, a qual segue para a queima, resultando no clínquer que recebe (ou não) adições antes da moagem final. “As matérias primas para a produção do cimento Portland são encontradas em praticamente todos os países, e existem fábricas em todo o mundo.” (NEVILLE, 2016)

No processo de fabricação do cimento, podem ser adicionados outros elementos como sílica, escória de alto-forno, pozolana, etc, ou até mesmo podem ocorrer variações na quantidade do clínquer, formando assim os diversos tipos de cimento existentes no mercado (Tabela 2), onde cada um apresenta característica e utilização específica.

Tabela 2 - Tipos de Cimento Portland

	Tipo de Cimento	Adição	Resistência (MPa)
CP I	Cimento Portland Comum	-	25
CP I-S	Cimento Portland Comum com adição	Argila (1-5%)	25 ou 40
CP II-E	Cimento Portland Composto com Escória	Escória (6-34%)	25, 32 ou 40
CP II-Z	Cimento Portland Composto com Pozolana	Argila (6-14%)	25, 32 ou 40
CP II-F	Cimento Portland Composto com Filer	Calcário (6-10%)	25, 32 ou 40
CP III	Cimento Portland de Alto-Forno	Escória (35-70%)	25, 32 ou 40
CP IV	Cimento Portland Pozolânico	Argila (15-50%)	25 ou 32
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial	-	Variada
CPB	Cimento Portland Branco Estrutural	-	25, 32 ou 40

FONTE: Adaptado do site Portal do Concreto

2.1.1.2. Agregados

Bauer (2016) define agregado como “material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos”. Estes fazem parte dos elementos constituintes da fabricação do concreto, os quais apresentam a maior parcela de volume da mistura, podendo chegar a 80%. Os principais objetivos de sua utilização são o aumento de resistência mecânica e a diminuição dos custos.

Dessa forma, as influências do agregado nas propriedades do concreto estarão ligadas à densidade e a resistência do agregado, destacando que a resistência do concreto não depende diretamente da resistência do agregado, exceto se este for muito frágil e de baixa resistência ou poroso. De modo geral os agregados devem ser estáveis nas condições de exposição do concreto, resistentes à compressão e ao desgaste, apresentar granulometria distribuída e ser isentos de impurezas. (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2015).

Segundo Bauer (2016), existe três classificações principais para os agregados: segundo a origem (naturais, como a areia, ou industrializados); dimensões das partículas (miúdo, neste caso as areias, ou graúdo, os cascalhos e britas); e o peso específico aparente (leves, como a argila expandida, médios, como o calcário, arenito, ou pesados no caso da barita, magnetita etc.).

- Areia

A NBR 7211-Agregado para Concreto de 2005 define agregado miúdo como “Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm”.

Pela definição de agregado miúdo, percebe-se que o mais utilizado para a confecção de concretos é a areia. Esta pode ser dividida em três classificações usuais, segundo a Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensão dos agregados miúdos

Classificação	Dimensão (mm)
Areia Grossa	entre 2,4 - 4,8
Areia Média	entre 0,6 - 2,4
Areia Fina	entre 0,15 - 0,6

FONTE: Adaptado de Bauer, 2016

As areias podem ser obtidas, segundo Bauer (2016), de cinco maneiras principais: de rio, por depósitos que se formam nos leitos dos rios, retiradas por dragas de sucção; de cava, que são os depósitos aluvionares nos fundos de vales, extraídas por escavação; de britagem (areia de brita), que é obtida no processo de classificação a seco nas pedreiras; de escória, onde a escória de alto-forno quando resfriada bruscamente pela água, libera fragmentos inferiores a 12,5 mm; praias e dunas, estas não são utilizadas para o preparo do concreto devido ao alto teor de cloreto e sódio.

A norma ressalta ainda a importância da utilização de areias bem graduadas, adequadas para cada especificação, com isenção de substâncias nocivas e de impurezas orgânicas.

- Brita

A NBR 7211/05, define agregado graúdo como “Pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm”.

Dessa forma, o agregado graúdo para a utilização em concreto é a brita em forma de pedra britada, que é a brita em graduações de acordo com o diâmetro médio, onde cada uma é destinada a um emprego específico. Comercialmente, a pedra britada é também produzida em cinco categorias, variando de pedrisco até pedras de 1 a 4, conforme a Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Diâmetro comercial dos agregados graúdos

Classificação	Dimensão (mm)
Brita 0	entre 4,8 - 9,5
Brita 1	entre 9,5 - 19,0
Brita 2	entre 19,0 - 38,0
Brita 3	entre 38,0 - 50,0
Brita 4	entre 50,0 - 76,0

FONTE: Adaptado de Bauer, 2016

Existem ainda materiais rochosos de natureza semelhante a estes que apresentam dimensões menores, como o pó de brita e a areia britada, e materiais com dimensões maiores, como o rachão (definido pela NBR 9935- Agregados - Terminologia, como pedra de mão) e os blocos.

A NBR 7211/05 destaca ainda que a granulometria deve ser adequada à utilização especificada, o material deve estar isento de substâncias nocivas, o índice de forma dos grãos não pode ser superior a 3, e a abrasão Los Angeles deve ser inferior a 50% em peso do material.

- Água

Segundo Garcia, Spim e Santos (2015), a água utilizada na mistura do concreto possui duas funções principais. A primeira é reagir quimicamente com os álcalis do cimento, dando origem às propriedades desejadas ao concreto, e a segunda é fornecer a trabalhabilidade à mistura.

A NBR 15900-1 – Água para amassamento de concreto. Parte 1: Requisito classifica os tipos de água e lista os requisitos exigíveis para que esta seja adequada para o uso. Resumidamente, a água de abastecimento público é aprovada para uso, porém águas provenientes de outras fontes devem ser ensaiadas e devidamente avaliadas. Em suma, devem-se evitar águas com impurezas, materiais sólidos ou finos em suspensão, materiais orgânicos e óleos, sendo necessário, também, o controle de sulfatos (íons SO_4^{2-}) e cloretos (íons Cl^-).

Garcia, Spim e Santos (2015), ressaltam ainda a escolha da água utilizada para a cura, pois após a evaporação dos sais, todos os materiais em suspensão ficarão depositados na superfície do concreto, que em longo prazo pode prejudicar as condições mecânicas. Quanto à água do mar, seu uso é estritamente proibido devido à possibilidade de corrosão em concreto armado, já em concreto comum, pode ser utilizada, no entanto apresenta-se uma pequena diferença na resistência final.

- Adições

Além dos materiais base utilizados para o concreto (cimento, brita e areia) podem ser acrescentados outros elementos com a finalidade de aprimorar algumas características do concreto. Como pigmentos para o concreto colorido, utilização de sílica ativa para reduzir a permeabilidade, dentre outros. Podem ser também, acrescentados diversos tipos de fibras, como as fibras de aço, nylon, polipropileno e vidro, que auxiliam na ductilidade e na redução da propagação de fissuras.

2.1.2. Fatores que influenciam na resistência do concreto

No que se refere às propriedades do concreto, tanto as do concreto fresco quanto as do concreto endurecido, alguns fatores principais, relacionados ao processo de mistura dos materiais, e confecção do produto final, apresentam influência direta sobre os resultados obtidos.

O Quadro 1 a seguir apresenta as principais características, relacionadas com a parte física, química e mecânica do concreto e da sua mistura, correspondendo à propriedade que diretamente influi sobre esta.

Quadro 1- Influência das características do concreto

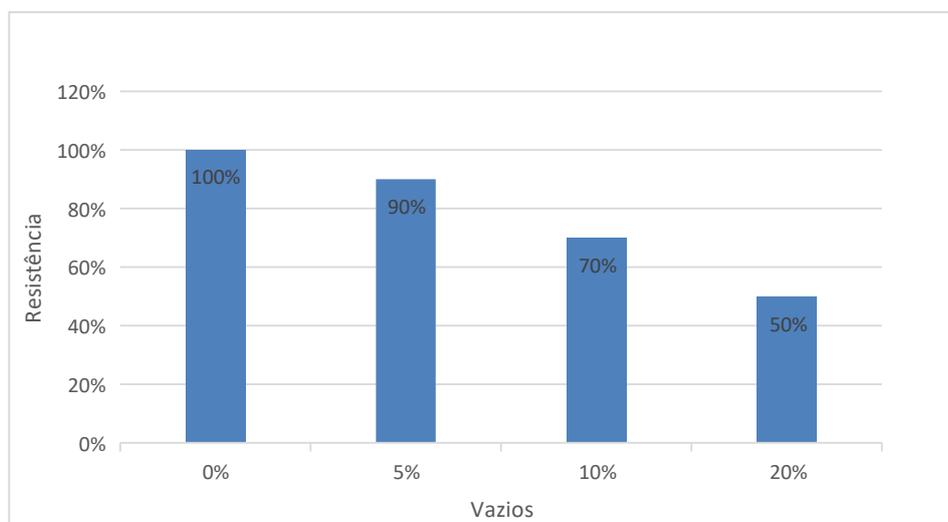
Tipo de característica	Característica	Propriedades nas quais influi
Física	Condutibilidade térmica	Resistência mecânica
	Dilatação térmica	Resistência mecânica
	Compacidade	Resistência mecânica
	Porosidade	Resistência mecânica
	Permeabilidade	Durabilidade
	Capilaridade	Durabilidade e exsudação
	Aderência dos grãos	Resistência mecânica e durabilidade
	Consistência	Trabalhabilidade
	Densidade	Resistência mecânica
	Granulometria	Resistência mecânica e trabalhabilidade
	Homogeneidade	Resistência mecânica, durabilidade e trabalhabilidade
	Exsudação	Resistência mecânica, trabalhabilidade e durabilidade
	Segregação	Resistência mecânica, homogeneidade e durabilidade
Químicas	Expansibilidade	Resistência mecânica
	Pega	Resistência mecânica e aplicabilidade
	Resistência Química	Aplicabilidade
	Reação álcali-agregado	Resistência e durabilidade
Mecânicas	Resistência à compressão	Aplicabilidade
	Resistência à tração	Aplicabilidade
	Elasticidade	Deformação
	Fluência	Deformação
	Deformação lenta	Deformação
	Durabilidade	Aplicabilidade
	Resistência ao desgaste	Aplicabilidade
	Retração	Resistência mecânica
	Refratariedade	Resistência ao fogo
	Trabalhabilidade	Aplicabilidade
	Dureza	Resistência mecânica
Resistência ao fogo	Aplicabilidade	

FONTE: Ambrozewicz, 2012

- Adensamento

O adensamento é realizado logo após o lançamento do concreto fresco, tendo como objetivo principal a eliminação do ar e espaços vazios deixados, proporcionando um concreto compacto com melhor acomodação das partículas e contato entre si. O Gráfico 1 abaixo mostra a influência da porcentagem de vazios em relação ao valor teórico de resistência supostamente obtido.

Gráfico 1 - Resistência x Vazios



FONTE: Adaptado de Bauer, 2016

Conforme observado no gráfico, quanto menos vazios o concreto apresentar, melhor sua resistência mecânica e conseqüentemente, menor a porosidade, melhor a impermeabilidade e durabilidade.

O adensamento pode ser realizado por processos manuais ou mecânicos. Para o adensamento manual utilizam-se soquetes, onde a camada de concreto (geralmente de 15 a 20 cm) é submetida a um número de golpes, sendo cessado ao aparecer na superfície de concreto uma camada lisa de cimento e finos. (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

O processo mecânico é o mais utilizado para obras de médio e grande porte. Existem diversos métodos para este tipo de adensamento, vibrador de imersão, vibrador externo ou de forma, mesa vibratória, centrifugação, sendo o primeiro o mais comumente utilizado. O tipo de vibrador de imersão mais utilizado é o denominado vibrador de agulha, consistindo na imersão de um mangote (com a agulha vibratória na ponta) na massa, com tempo de vibração aproximado de 5 a 30 segundos em pontos espaçados a 40 cm, e com espessura máxima de 50 cm. (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

- Cura

A cura do concreto pode ser entendida como as medidas tomadas que possuem o objetivo de evitar a evaporação prematura da água de mistura do concreto, a qual reage com o cimento, hidratando-o.

As várias qualidades desejáveis ao concreto, como resistência mecânica, impermeabilidade e resistência ao ataque de agentes agressivos, são extremamente favorecidas e até mesmo somente conseguidas através de uma cura bem feita. (ARAÚJO; RODRIGUES; FREITAS, 2000).

Araújo, Rodrigues, Freitas (2000), citam os principais métodos de cura mais utilizados em obra como a irrigação periódica da superfície, recobrimento simples da superfície, imersão (é o método ideal de cura, muito utilizado em laboratórios e na indústria de pré-moldagem), envolvimento ou recobrimento total da superfície, manutenção da umidade da forma e aplicação de cloreto de cálcio.

2.1.3. Propriedades do concreto fresco

- **Trabalhabilidade**

O concreto é considerado fresco até o momento em que se inicia a pega do cimento, intervalo de tempo onde este é misturado, transportado e lançado. Uma das propriedades que está diretamente relacionado a este estado é a trabalhabilidade.

Araújo, Rodrigues e Freitas (2000), definem a trabalhabilidade como “a propriedade do concreto fresco identificada pela maior ou menor facilidade de seu emprego para atender a determinado fim.” O concreto torna-se trabalhável quando apresenta, antes do início da pega, consistência e dimensões de agregados capazes de satisfazer o transporte, lançamento e adensamento da peça a qual está destinado. Dessa forma, a trabalhabilidade dependerá da finalidade a qual se deseja aplicar o material, onde, o utilizado para peças de grandes dimensões pode não ser o adequado para peças mais esbeltas.

A consistência do concreto afeta diretamente a trabalhabilidade, não podendo assim, analisar as propriedades separadamente, pois uma está relacionada à outra, da mesma forma que o teor de argamassa, dimensões e forma dos agregados, relação água/cimento, traço, etc. influenciam no resultado final.

A NBR NM 67/98 normatiza o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, o qual é possível constatar se o concreto se encontra suficientemente manuseável para atender as necessidades exigidas. A Tabela 5 ilustra a classificação da consistência da massa de concreto.

Tabela 5 - Consistência do concreto

Consistência	Abatimento (cm)
Seca	0 a 2
Firme	2 a 5
Média	5 a 12
Mole	12 a 18
Fluida	18 a 25

FONTE: Ambrozewicz, 2012

2.1.4. Propriedades do concreto endurecido

O concreto denominado endurecido é a segunda fase, após o final da pega, onde se inicia a hidratação do cimento e endurecimento do concreto no decorrer da vida útil da peça. Neste estado o concreto apresenta diversos parâmetros que devem ser obedecidos de forma a atingir a qualidade deste, como módulo de elasticidade, resistência à compressão, tração, fluência, abrasão, dentre outros.

2.1.4.1. Resistência à compressão

A resistência à compressão é calculada pelo projetista para cada estrutura, é a base de cálculo usada como referência para cada projeto. Esta resistência deve ser atingida de modo que a estrutura atenda as solicitações e requisitos de segurança desejados.

Pelo fato de o concreto ser uma rocha artificial pode-se reproduzir as propriedades das rochas de origem dos agregados. Para que se consiga alcançar estes objetivos, a normalização brasileira secciona as etapas a serem seguidas para a determinação correta. A NBR 5738 orienta a moldagem e cura dos corpos de prova, a NBR 5739 padroniza o ensaio de compressão, o tratamento dado ao material, velocidade de carregamento, etc. (HELENE; ANDRADE, 2017).

Como já mencionado, a qualidade do concreto depende de diversos fatores como a relação água/cimento e o grau de hidratação que são parâmetros diretamente ligados à absorção capilar da água e a permeabilidade além das propriedades mecânicas. De forma efetiva, a qualidade do produto final depende ainda de condições de transporte, lançamento, adensamento e cura, pois estas acarretam no efeito das propriedades de difusidade, permeabilidade e absorção

capilar de águas e gases, de forma que o material consiga apresentar grande durabilidade. (HELENE; ANDRADE, 2017)

A NBR 6118 de 2014 refere-se à resistência à compressão como sendo a resistência obtida em ensaios de corpos de prova cilíndricos, moldados e rompidos segundo as NBR'S 5738 e 5739, respectivamente. Define ainda os valores utilizados para cálculo: f_{ck} - resistência característica à compressão do concreto; f_{cmj} - resistência média à compressão do concreto (onde j refere-se à idade em dias); f_{cd} - resistência de projeto. Ressalva ainda que, quando não indicada a idade, a resistência j refere-se aos 28 dias, e que a resistência f_{ckj} é feita conforme a NBR 12655 de 2015.

Por fim, Ambrozewicz (2012) ainda conceitua a resistência à compressão da seguinte maneira:

A resistência à compressão simples é a propriedade mecânica mais importante do concreto, não só porque o concreto trabalha predominantemente a compressão, como também, porque fornecem outros parâmetros físicos que podem ser relacionados empiricamente a resistência à compressão.

Dentre estes parâmetros, pode-se relacionar com a resistência a tração, a qual, segundo a NBR 6118, determina-se pelas equações:

-Para concretos de classe até C50:

$$F_{ct,m}=0,3f_{ck}^{2/3} \quad (1)$$

-Para concreto de classes C55 até C90

$$F_{ct,m}=2,12 \ln(1+0,11f_{ck}) \quad (2)$$

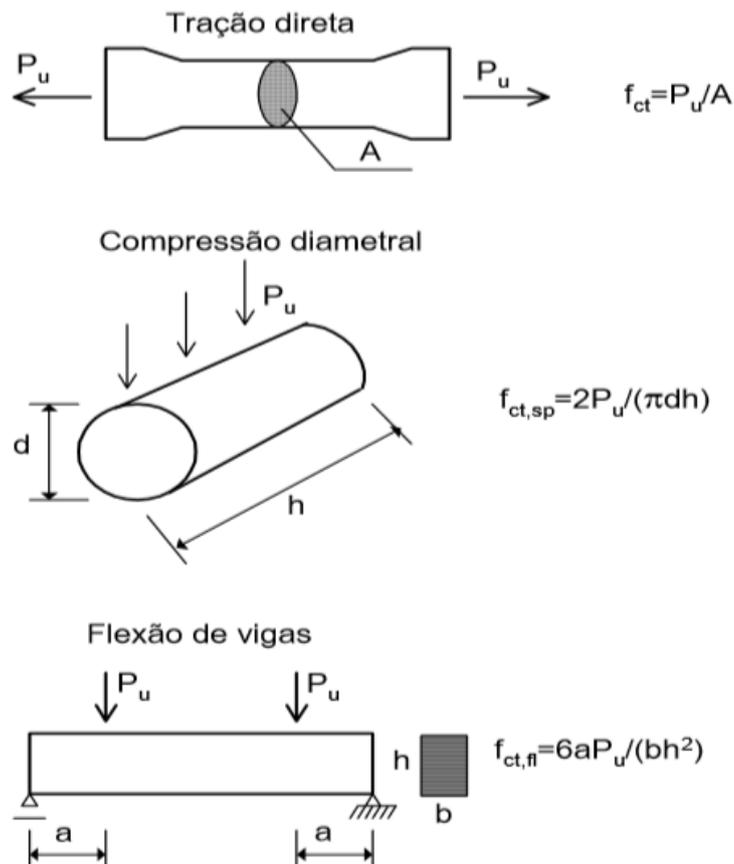
Onde $F_{ct,m}$ é a resistência média do concreto a tração, e F_{ck} é a resistência característica do concreto.

2.1.4.2. Resistência à tração

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2016) o concreto é um material que não apresenta boa resposta a tração, por isso, geralmente não se conta com a ajuda dessa resistência. Apesar disso a resistência à tração pode ser relacionada com a capacidade resistente da peça, como as sujeitas a esforço cortante, e diretamente, com a fissuração, sendo necessário assim, conhece-la.

Existem três ensaios para a determinação desta resistência: o ensaio de tração axial (tração direta), ensaio o de compressão diametral¹ (tração indireta) e o ensaio de flexão em vigas (flexotração), a Figura 16 exemplifica os três ensaios com as respectivas fórmulas de determinação.

Figura 16- Ensaios de tração



FONTE: Araújo, 2001

Devido à dificuldade de realização do ensaio de tração axial (f_{ctm}), realiza-se o ensaio de tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$) o qual é padronizado pela NBR 7222, a NBR 6118 permite a relação destas resistências pela equação:

$$F_{ctm} = 0,9 f_{ct,sp} \quad (3)$$

¹ “O ensaio de compressão diametral é conhecido como ensaio brasileiro de resistência a tração, por ter sido sistematizado pelo engenheiro e professor L.F Lobo Carneiro.” (Carvalho; Filho, 2016)

Pode-se relacionar ainda a tração axial com a tração na flexão, padronizada pela NBR 12142, através da equação:

$$F_{ctm}=0,7 f_{ct,f} \quad (4)$$

Podem ser feitas ainda relações com os valores de resistência à compressão, como mencionado no Item 2.1.4.1 do presente trabalho.

2.2. FIBRA

Quando se pensa em reforço para concreto, o aço é tradicionalmente o mais aplicado, no entanto, o elevado peso específico limita o tamanho e a forma das peças de concreto. A partir disso, a utilização de fibras se torna uma boa alternativa em substituição ao reforço convencional de aço. (TRIANAFILLOU, 2016)

Uma fibra é uma unidade de matéria caracterizada por flexibilidade, finura e uma alta proporção entre comprimento e espessura, devido a esta alta relação superfície/volume, são materiais extremamente fortes. As fibras são normalmente constituídas por moléculas longas semelhantes a cadeias (macromoléculas ou polímeros) podendo ser de natureza orgânica ou inorgânica. As fibras têxteis podem ser classificadas ainda de acordo com sua origem como: naturais, quando ocorrem na natureza dessa forma, e artificiais, quando não ocorrem na natureza na forma de fibras. (FANGUEIRO, 2011)

A Figura 17 abaixo ilustra alguns tipos de fibra sintética que vem sendo mais utilizadas.

Figura 17- Tipos de fibra



FONTE: Aoki, 2010

2.2.1. Utilização de fibras na construção civil

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, no entanto apresenta algumas deficiências, como baixa ductilidade, e o fato de não acomodar grandes deformações. O concreto é caracterizado também pela sua ruptura frágil, perdendo sua capacidade de suporte assim que a fratura se inicia, limitando dessa forma sua utilização. A partir disso, a resistência e durabilidade do concreto podem ser melhoradas com a mudança ou adição de outros elementos. (KENE; VAIRAGADE; SATHAWANE, 2012).

Na construção civil, a maior utilização de fibras são as sintéticas, que apresentam alta relação comprimento/espessura e pequena seção transversal. Para a utilização em concreto, a adição das fibras deve ser feita em fios de comprimentos curtos, bem dispersos, onde atuarão como mono-filamentos individuais na matriz de cimento, essa alta relação superfície-volume promove uma ligação interfacial eficaz. Durante a mistura, ao entrar em contato com os agregados, os “pacotes” de fibra são abertos separando-se, agindo então como fibras individuais contribuindo para a ação de reforço. (FANGUEIRO, 2011)

Os materiais naturalmente apresentam microfissuras internas, que são responsáveis pela baixa resposta do concreto a tração e ductilidade. Estas deficiências podem ser diminuídas a partir da inclusão de fibras na mistura, aumentando a habilidade de resistir à propagação de microfissuras. As fibras ajudam a transferir a cargas, melhorando a resistência à fadiga, impacto, ductilidade e as fissuras por retração, agindo assim como um “prendedor” impedindo o desenvolvimento das fissuras. Este tipo de concreto denomina-se FRC – *fiber-reinforced concrete*. (KENE; VAIRAGADE; SATHAWANE, 2012).

O concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, para utilização estrutural, devido à baixa resistência à tração, solicitação sempre presente nas estruturas usuais, por isso a necessidade da utilização de armadura. Sendo assim “as fibras servem também para reforçar o combate à fissuração, substituindo ou diminuindo a quantidade de armadura superficial ou estribos necessários nos elementos de concreto armado.” (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

O concreto com adição de fibras é normalmente utilizado com aço, polipropileno, vidro, etc. Estes possuem a função de inibir os efeitos da fissuração por retração, são amplamente utilizados em obras civis especiais e piso industrial,

além de pistas de aeroportos. Pois aumentam, também, a durabilidade das obras quanto à abrasão e ao desgaste superficial. (AMBROZEWICZ, 2012)

Segundo Fangueiro (2011), vem ganhando popularidade a utilização de fibras de carbono, aramida e vidro, na aplicação de concreto reforçado com fibras, revestimento de concreto e reforço de estruturas, pois as fibras apresentam alta resistência e módulo, competindo com as estruturas convencionais. Em aplicações das áreas geotécnicas e geoambientais, por exemplo, as fibras se tornaram comumente utilizadas, como aterros, contenções, controle de erosão em encostas, entre outros.

2.2.2. Fibra de Vidro

Segundo Azevedo (2017), “o material mais utilizado como reforço nos compósitos são as fibras de vidro, devido principalmente ao seu baixo custo, alta resistência à tração e grande inércia química”. Apresenta diversos campos de aplicação, indústria civil, elétrica, aeronáutica, dentre outras. No entanto, apresentam desvantagens relativas à baixa resistência a fadiga e módulo de elasticidade.

Positivamente, a aderência fibra/matriz é boa, devido ao tratamento de encimagem que as mesmas recebem para serem utilizadas junto às matrizes orgânicas, além das boas propriedades elétricas e grandes vantagens relativas à aplicação e custo. (AQUINO; CARVALHO, 1992, *apud* VASCONCELOS, 2018).

Estas fibras são obtidas através do processo de fusão e fiberização de óxidos metálicos, a proporção destes define o tipo de vidro fabricado. Existem diversos tipos, fibra de vidro-E, vidro-S, vidro-A, vidro-C, dentre outros. Os mais utilizados são os dois primeiros, onde primeiro é composto a partir de magnésio, alumínio, cálcio, silício, boro e sódio, enquanto o segundo apresenta apenas magnésio, silício, alumínio e sódio. (AZEVEDO, 2017).

Herakovich (1997) citado por Vasconcelos (2018) exemplifica ainda a melhor utilização dos tipos de vidros mais utilizados. O Vidro-E representa mais de 90% dos reforços em compósitos da indústria, apresentando alta resistência mecânica e resistividade elétrica (de onde se deriva o “E”). O Vidro-S apresenta alta resistência à tração e módulo de elasticidade, sendo utilizado em condições especiais de alta temperatura e alto desempenho (onde o “S” relaciona-se com sua característica *structural*), possuindo um custo mais elevado.

A fibra de vidro apresenta diversas características que proporcionam vantagens relativas à sua utilização. A primeira é relacionada à boa aderência com a matriz à qual está inserido, o baixo custo já citado, resistência à tração e ao calor de fogo, resistência química, resistência à umidade (não absorve umidade, não se dilatando ou desintegrando), resistência térmica (baixo coeficiente de dilatação linear) e elétrica (isolante elétrico). (AQUINO; CARVALHO, 1992, *apud* VASCONCELOS, 2018).

Além de diferentes tipos de vidro, as fibras apresentam diversas formas de comercialização, em roving, tecidos, mantas ou picados, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18- Fibras de vidro comerciais



FONTE: Azevedo, 2017

2.3. CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO

Ao se pensar em adicionar um novo ingrediente àqueles que são padrão do concreto, é necessário ter o conhecimento acerca da interação entre eles, a curto e longo prazo, quais os efeitos esperados, relativo às resistências e propriedades, durabilidade, etc. Estes requisitos de desempenho também dependem de fatores, como, tempo de mistura, métodos, fatores climáticos, dentre outros. (MURTHY; SHARDA; JAIN, 2012).

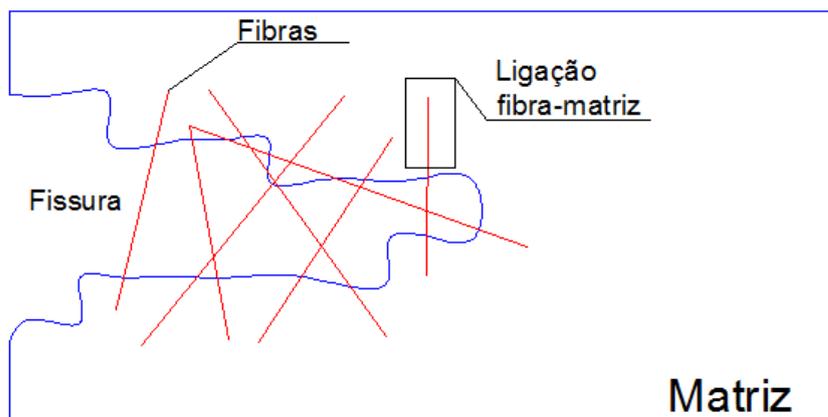
A utilização da fibra de vidro em concreto é encontrada nas últimas duas décadas na indústria, com a finalidade de fortalecer a mistura do concreto, pelo fato de várias propriedades poderem ser melhoradas, por isso, na última década foi aumentado o seu uso, muitos estudos passaram a ser feitos, também, objetivando a análise desse material em vários aspectos. (S. SHANMUGAPRIYA; M. MOHANARAM, 2018).

No concreto, a utilização das fibras se dá na forma dispersa, onde são distribuídas aleatoriamente na mistura, por este fato é possível melhorar as propriedades, que apresentam deficiência, em todas as direções. (KENE; VAIRAGADE; SATHAWANE, 2002)

Segundo Guimarães (1999) citado por Peruzzi (2002), à medida que se deseja valores de resistência à compressão maiores, resulta-se na característica de rupturas mais frágeis, para que esta seja melhorada, de forma que se apresente de uma maneira mais dúctil, maior deve ser a quantidade e fibra a ser adicionada.

Já o aumento da resistência a tração e flexão (devido a transferência destas tensões da matriz para a fibra), pode ser melhor compreendido pelo fenômeno de “grampeamento” das fissuras gerado pelas fibras. As microfissuras existentes no concreto devido aos defeitos inerentes ao material quando submetidos ao carregamento externo se coalescem formando fissuras maiores, aumentando ainda mais caso não seja encontrada nenhuma barreira, pois estas se propagam procurando o caminho de menor resistência. Dessa forma, as fibras dispersas no concreto atuam como obstáculos para o caminhamento das microfissuras, a Figura 19 representa de forma ilustrada esse “grampeamento”. Assim sendo, a fibra de vidro atua efetivamente no travamento das fissuras gerando maior resistência a tração, flexão, bem como tenacidade e impacto. (EKANE, 2000 *apud*, PERUZZI, 2002)

Figura 19 - Ilustração de grampeamento



FONTE: Adaptado de Peruzzi, 2002

Tendo em vista esse travamento das fissuras e o efetivo aumento das resistências, de acordo com Murthy, Sharda e Jain (2012) o aumento da resistência à flexão é significativo conforme se aumenta a porcentagem de fibra de vidro incorporada. Em seu trabalho, como resultado, obtêm um aumento de cerca de 30% com a incorporação de 1,5% de fibra. Além disso, é possível observar a redução no valor do *slump* do concreto proporcionalmente ao acréscimo de fibras.

Essa redução da trabalhabilidade diz respeito ao fato de que as fibras dispersas se entrelaçam entre si e emaranham-se em torno de partículas agregadas, o que proporciona uma dificuldade de manuseio da massa, a mistura se torna dessa forma mais coesa e menos propensa a segregação. (KENE; VAIRAGADE; SATHAWANE, 2002).

Nos trabalhos analisados por S.ShanmugaPriya e M.MohanaRam (2018), percebe-se a constatação de que a adição de fibra de vidro no concreto pode alcançar o mesmo valor de resistência ou aumentá-la, relativo a alguns aspectos como compressão, flexão e tensão. O valor médio de porcentagem de fibra incorporada para que seja otimizado o aumento de resistência observado por volta de 1% em peso do cimento ao concreto.

Nos estudos realizados Chawla e Tekwani (2013), explicita-se o cuidado ao misturar as fibras em velocidade lenta e aos poucos, de forma que se consiga uma boa homogeneização. Quanto aos resultados obtidos para 0,33% de fibra adicionada observa-se aumento de resistência à flexão foi superior a 100%, módulo de elasticidade com ganho de mais de 4% quando comparado com concreto

convencional. Se utilizada em conjunto ao concreto armado, a adição de 0,67% de fibra de vidro, com 1,25% da área de aço (usando barras de 12 mm), resulta em um aumento significativo da tenacidade.

2.4. ENSAIOS

2.4.1. Moldagem dos corpos de prova

A Norma Brasileira 5738 é a responsável por detalhar os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova de concreto.

Em primeiro lugar os moldes cilíndricos devem possuir altura igual ao dobro do diâmetro, sendo utilizadas diâmetros de 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm e 45 cm. O seu material deve ser de modo que não reaja com o cimento e que permita a fácil desmoldagem, além de ser estanque.

Relativo aos materiais utilizados no adensamento, se for usado haste, esta deve ser de aço, cilíndrica, lisa de $16 \pm 0,2$ mm de diâmetro e de 600 a 800mm de comprimento. Para vibradores de imersão a frequência não pode ser inferior a 100Hz o diâmetro não pode ser inferior a 19mm nem superior a 1/4 do diâmetro do corpo de prova.

A primeira coisa a ser feita antes da moldagem deve ser o ensaio de abatimento segundo a NBR NM 67. Os moldes devem ser revestidos por um óleo vegetal ou outro tipo de lubrificante que não reaja com o cimento de modo a facilitar a retirada dos corpos de prova. Após a colocação do concreto é realizado o adensamento, a norma em questão apresenta um quadro de recomendação acerca do tipo de adensamento a ser efetuado de acordo com a consistência obtida no ensaio anterior.

Quadro 2 - Abatimento x método de adensamento

Classe	Abatimento mm	Método de adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50	$50 \leq A < 100$	Mecânico ou manual
S100	$100 \leq A < 160$	
S160	$160 \leq A < 220$	Manual
S220	$A \geq 220$	

FONTE: ABNT, 2015

Em seguida a norma apresenta ainda um quadro para a determinação do número de camadas e número de golpes a ser efetuado de acordo com cada método de adensamento.

Quadro 3 - Número de golpes e quantidade de camadas

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–

FONTE: ABNT, 2015

Se for utilizada a compactação manual das camadas, esta deve ser feita de modo que a haste consiga penetrar até a camada anterior a que está sendo compactada, em espaços distribuídos uniformemente. Se o mecânico estiver sendo utilizado, a vibração deve ser finalizada quando a superfície do concreto apresentar aspecto liso e não houver o aparecimento de bolhas de ar (deve-se ter cuidado, pois o adensamento em excesso pode promover a segregação do concreto), ao vibrar cada camada, o vibrador deve ser inserido apenas uma vez no eixo vertical e no centro do corpo de prova, devendo ser retirado ainda em funcionamento.

Finalizado o adensamento faz-se o rasamento de forma que a superfície do corpo de prova fique lisa. Deve ser evitado o transporte e manuseio dos corpos de prova recém moldados, espera-se 24h para a desforma e realização da cura.

2.4.2. Compressão axial

A Norma Brasileira 5739 de 2018, regulamenta todos os procedimentos necessários ao ensaio de compressão axial, desde aparelhagem, preparo dos corpos de prova e realização do ensaio propriamente dito. Esta norma pode ser aplicada tanto em corpos de prova moldados segundo a NBR 5738, quanto em testemunhos extraídos segundo a NBR 7680-1.

Quanto a máquina de ensaios, deve atender a NBR ISO 7500-1 (Materiais metálicos - Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial - Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão - Calibração do sistema de medição da força). Para ensaios de laboratório a máquina deve possuir classe 1, o acionamento feito por uma fonte estável de energia proporcionando uma força contínua e sem choques.

Quanto ao preparo dos corpos de prova, devem ser mantidos em cura úmida ou saturada até a data do ensaio, atendendo todos os padrões da NBR 5738, obedecendo também a relação h/d nunca maior do que 2,06, (caso esta seja inferior à 1,94, multiplica-se a força de resistência por um fator de correção).

Os corpos de prova a serem rompidos à compressão apresentam tolerância de acordo com a idade de ensaio (um ensaio de 28 dias relaciona-se com uma tolerância de 24h). Para a realização do ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova devem estar secos e limpos, sendo colocado no maquinário centralizadamente e de forma a obedecer a orientação de moldagem. O carregamento deve ser de forma constante com velocidade aproximada de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s, cessando apenas quando houver a ruptura.

A resistência a compressão é calculada então pela fórmula:

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (5)$$

Onde f_c resulta em megapascals (MPa), F é a força máxima alcançada em newtons (N), D é diâmetro do corpo de prova em milímetros (mm). É possível ainda, de acordo com o Anexo A apresentado na norma, analisar o tipo de ruptura obtida nos corpos de prova.

2.4.3. Compressão diametral

A Norma Brasileira 7222 de 2011 regulamenta todos os procedimentos a serem realizados, aparelhagem, realização do ensaio e cálculos, para a resistência à tração por compressão diametral em corpos de prova cilíndricos de argamassa e concreto.

A confecção dos corpos de prova deve seguir os procedimentos descritos na NBR 5738. A aparelhagem segue as características descritas pela NBR 5739, citada no item 2.4.1.

De acordo com a norma referida o procedimento de ensaio deve ser realizado da seguinte forma: o corpo de prova deve ficar em repouso ao longo de uma geratriz sobre o prato do maquinário, entre os pratos e o corpo de prova, coloca-se duas tiras de chapa dura de comprimento igual ao da geratriz e seção transversal de aproximadamente $b = (0,15 \pm 0,01)d$, e $h = (3,5 \pm 0,5)$ em milímetros, sendo b a base, d o diâmetro e h a altura. A carga aplicada deve ser de forma contínua com velocidade de $0,05 \pm 0,02$ Mpa/s até a ruptura.

A resistência a tração por compressão diametral, é dada então pela expressão:

$$f_{t,d} = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times L} \quad (6)$$

Onde, F é a carga máxima obtida no ensaio (KN), D é o diâmetro do corpo de prova (mm), e L é a altura do corpo de prova (mm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

3.1.1. Trabalhabilidade

O ensaio de trabalhabilidade -*slump test* foi feito para cada concreto. A Figura 20, apresenta um comparativo visual da consistência obtida em cada traço realizado, sendo a imagem 1 o slump do concreto sem fibra, a imagem 2 do concreto com 0,5% de fibra, a imagem 3 com 1% de fibra, e imagem 4 com 1,5% de fibra de vidro incorporada.

Figura 20 - Slump para cada traço



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Quanto aos resultados obtidos, podem ser analisados de acordo com o Gráfico 2 a seguir. De acordo com a tabela de Ambrozewicz (2012) citado no item 2.1.3 do presente trabalho, observa-se que a consistência para ambos os concretos confeccionados permaneceu na faixa de 0 a 2 cm, sendo assim uma consistência seca.

Gráfico 2 - Trabalhabilidade



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

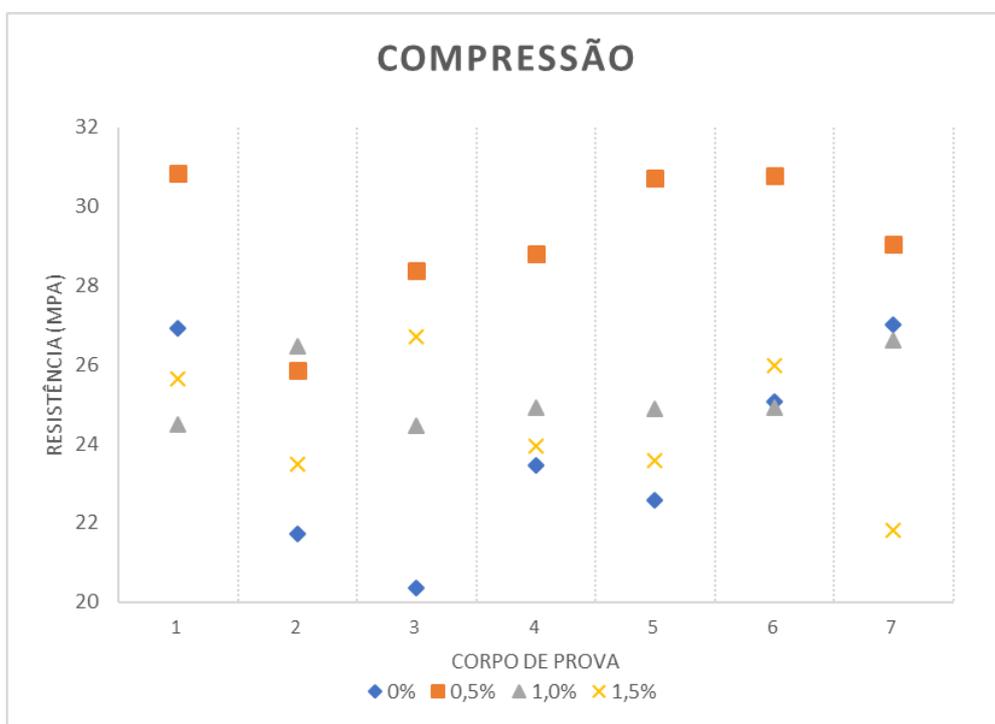
Comparando os resultados dos 4 traços efetuados, nota-se a diminuição da trabalhabilidade conforme se acrescenta e aumenta a quantidade de fibras incorporadas, tal diminuição já era esperado, conforme citado no item 2.3 por Kene, Vairagade; Sathawane (2002).

Assim, observa-se uma redução de trabalhabilidade comparado com o concreto sem fibras de aproximadamente 66% para o concreto com 0,5% de fibras, de 86% para o concreto com 1% de fibras e de 100% para o concreto com 1,5% de fibras.

3.1.2. Compressão

Os ensaios de compressão axial foram realizados conforme mencionado no item 1.4.2 do presente trabalho, como também os cálculos realizados seguiram o item 2.4.2. Os resultados obtidos estão sintetizados no Gráfico 3 a seguir.

Gráfico 3 - Compressão

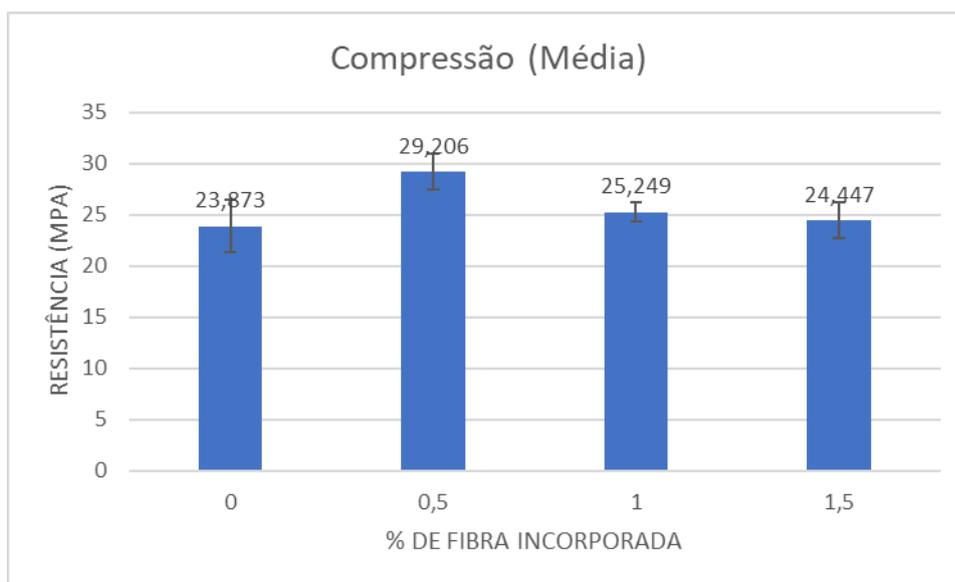


FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Observa-se a o significativo aumento da resistência à compressão nos corpos de prova com 0,5% de acréscimo de fibra de vidro, as demais porcentagens,

apresentam comportamento semelhante ao concreto base sem adição de fibra. No Gráfico 4 abaixo pode-se observar os valores médios obtidos no ensaio, com o desvio padrão.

Gráfico 4 - Compressão (média)



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

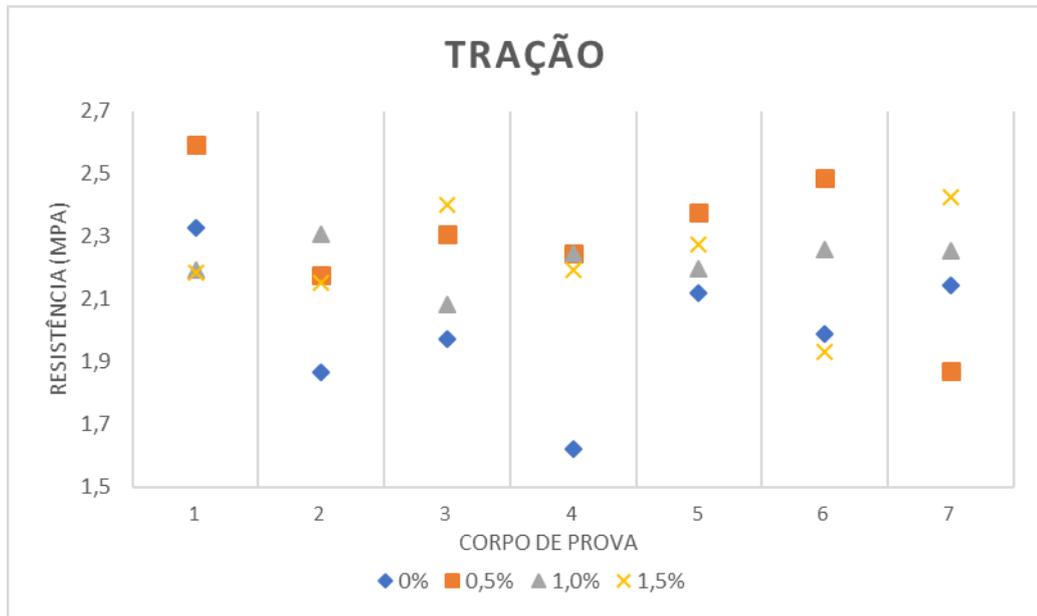
Dessa forma, percebe-se um aumento de resistência de 22,33% nos corpos de prova com 0,5% de fibra de vidro; 5,76% de aumento nos corpos de prova com 1,0%; e 2,4% nos corpos de prova com 1,5% de fibra de vidro incorporada.

3.1.3. Tração por compressão diametral

Os ensaios de tração por compressão diametral foram realizados conforme mencionado no item 1.4.2 do presente trabalho, como também os cálculos realizados seguiram o item 2.4.3. Os resultados obtidos encontram-se sintetizados no Gráfico 5 a seguir.

De forma visual é possível constatar que os corpos de prova com acréscimo da fibra de vidro apresentam maiores valores de resistência.

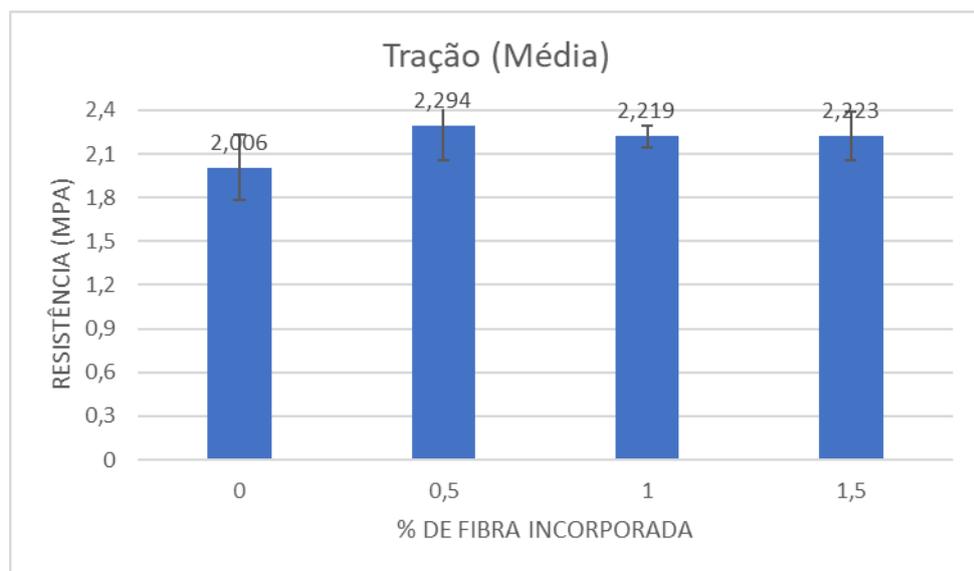
Gráfico 5- Tração



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

No Gráfico 6 a seguir, encontram-se os valores médios de resistência obtidos neste ensaio com o desvio padrão.

Gráfico 6 - Tração (média)



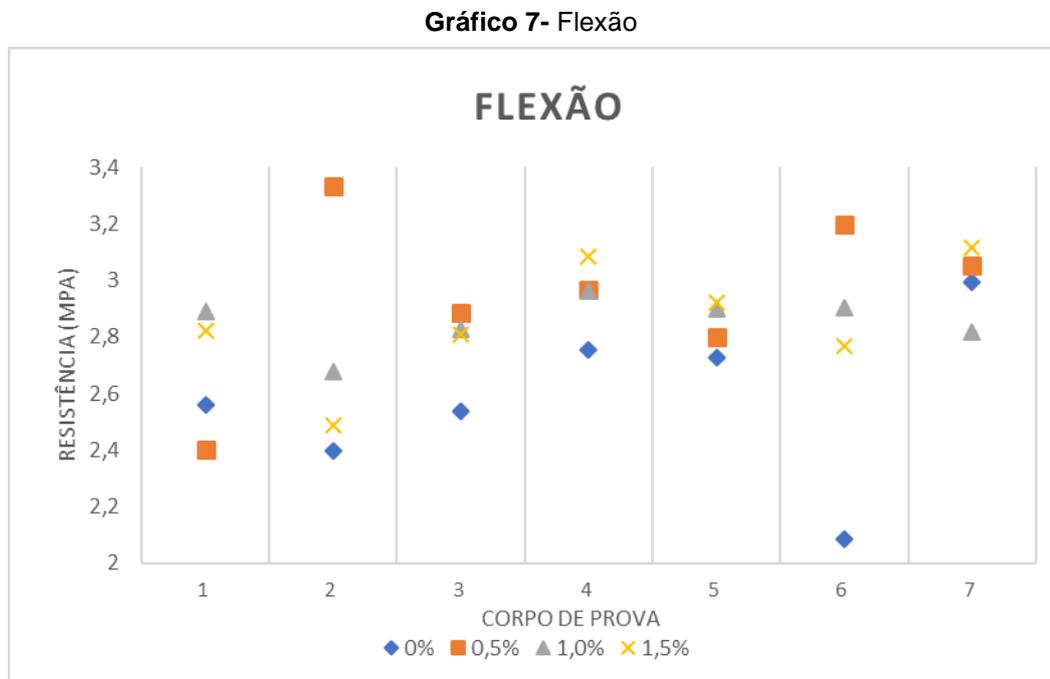
FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Conforme o gráfico anterior, verifica-se um aumento na resistência de 14,35% para 0,5% de fibra incorporada; 10,62% para 1,0%; e 10,82% para 1,5% de fibra de vidro.

3.2. ANÁLISE NORMATIVA

3.2.1. Flexão

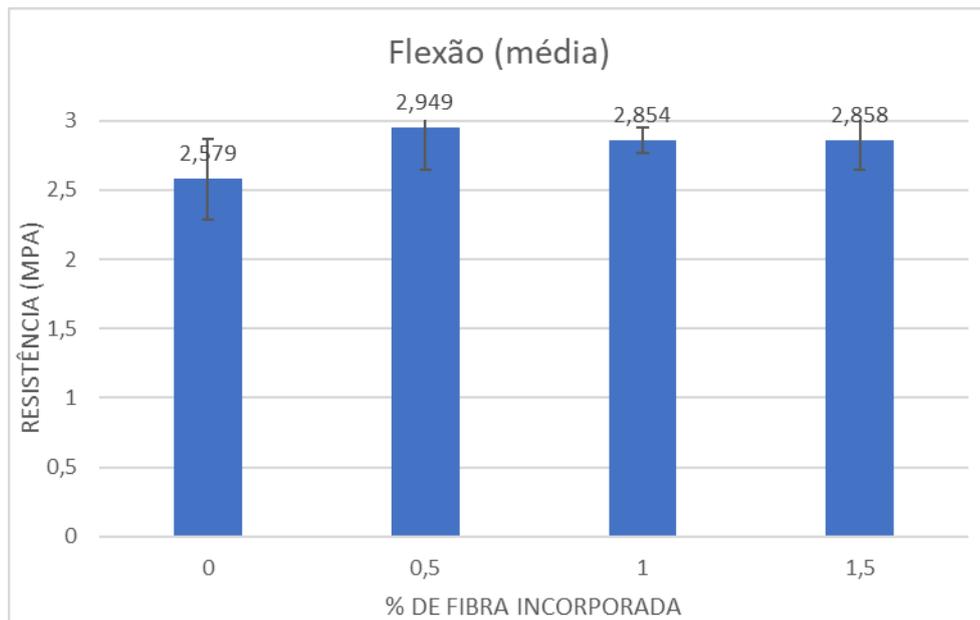
Os resultados obtidos para a flexão foram calculados de acordo uma análise normativa, segundo o item 2.1.4.2 do presente trabalho. O Gráfico 7 a seguir ilustra os estes resultados.



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Visualmente é possível perceber que, para todas as porcentagens, os corpos de prova com fibra de vidro incorporada, apresentam resultados de resistência a flexão mais elevados do que os sem fibra. O Gráfico 8, ilustra os valores médios obtidos para esta análise, juntamente com o desvio padrão.

Gráfico 8 - Flexão (média)



FONTE: Elaborada pelo autor 2020

Para a flexão, os corpos de prova com 0,5% de fibra apresentaram um acréscimo de 14,35%; para a porcentagem de 1,0% o aumento foi de 10,66%; e 10,81% para 1,5% de fibra de vidro incorporada.

Por fim, a Tabela 6 apresenta os valores dos desvios padrão encontrados em cada ensaio realizado.

Tabela 6 - Desvios

Ensaio	Desvio padrão (sd)			
	0%	0,5%	1%	1,5%
Compressão	2,5665	1,8024	0,9063	1,7227
Compressão Diametral	0,2252	0,2347	0,0719	0,1659
Flexão	0,2895	0,3018	0,0925	0,2133

FONTE: Elaborada pelo autor 2020

4. CONCLUSÃO

A partir dos dados apresentados anteriormente, é possível observar que o acréscimo da fibra de vidro à mistura de concreto, proporcionou um aumento de significativo para todas as 3 porcentagens (0,5%, 1,0% e 1,5%) analisadas no presente trabalho.

Observou-se também uma redução muito elevada na trabalhabilidade deste material, fator que contribui diretamente na resistência, pois dificulta o adensamento da massa, deixando o concreto com muitos espaços vazios. Dessa forma, não se atingiu o aumento de resistência esperado para os corpos de prova com 1,0% e 1,5%, que deveria ser bem superiores aos de 0,5%, conforme as pesquisas citadas no item 2.3.

O processo de confecção do concreto, bem como a mistura adequada dos materiais, é outro processo muito importante, como já citado no presente trabalho. Por isso, outro fator que pode ter impossibilitado uma maior resistência foi a condição dos materiais, principalmente da betoneira utilizada, que não permitiu uma interação eficaz entre os agregados, de forma que a mistura ficasse bem homogeneizada.

Nestas condições, a porcentagem de acréscimo de fibra de vidro que se mostrou com melhores resultados em todos os ensaios foi de 0,5%, a qual obteve uma trabalhabilidade superior às demais, um aumento de 22,33% na resistência à compressão e 14,35% nos ensaios de tração por compressão diametral e análise normativa de flexão.

Como formas de adequação dessa pesquisa, primeiramente pode-se citar a utilização de materiais bem conservados, que permitam uma boa mistura dos materiais. A introdução de aditivos plastificantes, que proporcionem uma melhor trabalhabilidade, e conseqüentemente, facilidade de adensamento dos corpos de prova, também pode ser sugerido. Com essas medidas adicionais espera-se atingir resistências superiores às encontradas no presente trabalho.

REFERENCIAS

ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, E.H.V.; FREITAS, E.G.A.; **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, Editora Universidade Rural, 2000. 203p.

AOKI, Jorge. **Fibras para Concreto**. 2010. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/fibras-para-concreto/>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

ARAÚJO, José Milton de. **Estruturas de Concreto: A resistência à tração e energia de fratura do concreto**. Rio Grande: Dunas, 2001. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/dunas/Numero_02.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2019.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 2012.

AZEVEDO, Camilla de Medeiros Dantas. **Estudo da resistência residual de compósitos poliméricos de fibra de vidro-E e Kevlar 49 após sofrerem impacto de baixa velocidade**. 2017. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

____. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

____. **NBR12142: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010

____. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

____. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

____ **NBR 7222: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

____. **NBR 7211: Agregado para concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

____. **Água para amassamento do concreto- Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro: Abnt, 2009.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 1 v.

CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais: Uma abordagem integrada**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 832 p.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Concreto armado: Segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlo: Edufscar, 2016. 415 p.

CHAWLA, Komal; TEKWANI, Bharti. **Studies of glass fiber reinforced concrete composites**. Ijscer. India, p. 176-182. set. 2013.

FANGUEIRO, R. **Fibrous and composite materials for civil engineering applications**. Usa: Woodhead Publishing, 2011.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaio dos materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2017. Cap. 29. p. 905-944. Disponível em:
<https://br.librosintinta.in/biblioteca/pdf/BcHRDYAgDAXAiehDQ6JxG6UgH6Q0UtP1uWtmOi_A3UkbU5GXng-ulQ-xloZf-7h5Yo9bQjzQczpJuS4,.htx>. Acesso em: 15 out. 2019.

KENE, Kavita S; VAIRAGADE, Vikrant S; SATHAWANE, Satish. **Experimental Study on Behavior of Steel and Glass Fiber Reinforced Concrete Composites**. Bonfring International Journal Of Industrial Engineering And Management Science. India, p. 125-130. dez. 2012.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MURTHY, Yogesh Iyer; SHARDA, Apoorv; JAIN, Gourav. **Performance of Glass Fiber Reinforced Concrete**. Ijeit, India, v. 1, n. 6, p.246-248, jun. 2012. Mensal.

NEVILLE, A M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2016. Disponível em:<<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=dYOPCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=concreto+propriedades&ots=lakE-sNsSF&sig=fxOGWd8HQMIZtOKPzZZVC5ZX4Qs#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 05 out.2019.

PERUZZI, Antônio de Paulo. **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

S.SHANMUGAPRIYA; M.MOHANARAM. **An Overview of Glass Fibre Reinforced Concrete**. Irjet, India, v. 5, n. 7, p.824-825, jul. 2018.

TRIANAFILLOU, Thanasis. **Textile Fibre Composites in Civil Engineering**. Usa: Woodhead Publishing, 2016.

VASCONCELOS, Tomás Barros. **Efeitos da anisotropia e descontinuidades deométricas em PRFV**. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.