

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ROBERTA MARTINS ROCHA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA DE PEÇAS EM CONCRETO COM
ADIÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO E DE POLIPROPILENO**

FORMIGA – MG
2018

ROBERTA MARTINS ROCHA

ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA DE PEÇAS EM CONCRETO COM
ADIÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO E DE POLIPROPILENO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR, como
requisito parcial para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria
Novais.

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

R672 Rocha, Roberta Martins.

Análise comparativa de resistência de peças em concreto com adição de fibras de vidro e de polipropileno / Roberta Martins Rocha.– 2018.
64 f.

Orientador: Tiago de Moraes Faria Novais.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)

–

Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

Catálogo elaborado na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

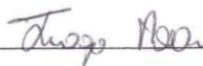
Roberta Martins Rocha

ANÁLISE COMPARATIVA DE RESISTÊNCIA DE PEÇAS EM CONCRETO COM
ADIÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO E DE POLIPROPILENO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR, como
requisito parcial para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

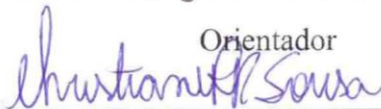
Orientador: Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria
Novais.

BANCA EXAMINADORA



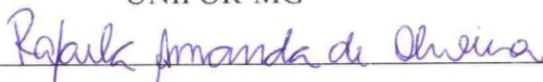
Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais

Orientador



Prof^ª M^ª. Christiane Pereira Rocha Sousa

UNIFOR-MG



Rafaela Amanda de Oliveira

Engenheira Civil

Formiga, 05 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que se fez presente na minha vida em todos os momentos, me abençoando com saúde e sabedoria ao longo destes cinco anos de curso.

Não apenas agradeço, mas dedico à realização desse sonho aqueles que sonharam junto comigo e estiveram ao meu lado tornando tudo possível: meus pais Wandeir e Aparecida. Vocês são meus alicerces, meus exemplos de força, sabedoria e honestidade. Além de me darem o amor mais puro, foi de vocês que adquiri todas as virtudes para ser um ser humano de caráter. Obrigada por me darem o melhor irmão que eu poderia ter, Robson, minha fonte inesgotável de apoio e amor eterno.

Agradeço ao meu amor, Vinícius, pela paciência e pelas palavras de incentivo e carinho que me deram força em todos os momentos.

A todos os meus amigos de sala de aula pelo companheirismo, fazendo com que essa caminhada se tornasse mais leve. Em especial ao Alisson Melo, a Bruna Araújo e ao Tiago Martins, obrigada pela amizade durante esses cinco anos e por sempre estarem comigo.

A toda minha família, pelas orações e torcida. E a todos os colegas de trabalho, por todos os momentos compartilhados.

A todos os professores que tive ao longo do curso, pelos ensinamentos eternizados e experiências compartilhadas, vocês foram fundamentais para a minha formação! Agradeço em especial ao meu orientador, Tiago, por todo empenho, dedicação, competência, por me acalmar em todos os momentos e pela disposição em me ajudar em tudo que precisei para que meu TCC fosse concluído com êxito.

A todos do UNIFOR – MG, pela atenção e trabalho árduo, em especial às bibliotecárias Cidinha e Regina, que me auxiliaram em tudo que precisei.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho, o meu muito obrigado!

RESUMO

O concreto reforçado com fibras é um compósito que vem sendo estudado já há algum tempo, a utilização das fibras objetivam trazer melhorias ao mesmo. Em virtude da vasta utilização do concreto no setor da construção civil, é notória a busca por materiais que tragam benefícios ao referido material. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho consiste na análise de resistência entre corpos de prova com adição de fibras de vidro e de polipropileno em diferentes proporções, comparados ao concreto sem nenhuma adição. As proporções das adições empregadas obedecem à analogia de 0,80%, 1,20% e 1,60%, sendo, a dosagem de 1,20% recomendada pelo fabricante e a escolha de outras duas porções, uma abaixo e outra acima da indicada, fixadas em 0,80% e 1,60%, respectivamente. Foi avaliada a consistência do concreto através do ensaio de abatimento de tronco de cone, devido à opção de padronização de um mesmo fator água/cimento para todos os corpos de prova executados, o resultado do ensaio foi reproduzido para todas as amostras. Avaliou-se a resistência à compressão axial simples e à tração por compressão diametral de todos os corpos de prova, tanto as fibras de vidro quanto as de polipropileno apresentaram resistência superior às amostras sem adições nos dois ensaios realizados, porém observou-se um melhor comportamento e maior ganho de resistência quando as mesmas foram submetidas à compressão. A fibra de vidro com teor de 0,80% de adição se destacou no ensaio de resistência à compressão apresentando o maior valor encontrado dentre as amostras, já no ensaio de resistência à tração a fibra de polipropileno, também na proporção de 0,80% de adição, obteve um resultado de maior relevância entre as demais. Dessa forma, mostrou-se viável a adição das fibras à matriz cimentícia, devido aos ganhos positivos obtidos nos valores de resistência e auxílio na capacidade de deformação das peças em concreto analisadas.

Palavras-chave: Concreto. Fibras artificiais. Resistência.

ABSTRACT

The reinforced concrete with fibers is a composite that has been studied for some time, the use of the fibers aim to bring improvements to it. The use of concrete in the civil construction sector is a search for materials that bring benefits to the material. Therefore, the present works is a mass analysis of compounds with different proportions, compared to concrete without any addition. How the proportions of the additions applied to the analogy of 0,80%, 1,20% and 1,60%, being a dosage of 1,20% for the manufacturer and the choice of the other two portions, one below and one above indicated , fixed at 0,80% and 1,60%, respectively. Evaluation of concrete consistency by conducting a cone trunk rebate survey, due to the option of standardizing a same water / conditioning test for all test specimens, the session result was reproduced for all samples. It was evaluated the resistance to the simple axial compression and the diametral compression traction of all the specimens, both the glass fibers and the polypropylene fibers presented superior resistance to the samples without additions in the two tests performed, but a better behavior was observed and greater resistance gain when they were submitted to compression. The glass fiber with a content of 0,80% of addition was highlighted in the test of compressive strength presenting the highest value found among the samples, already in the test of tensile strength polypropylene fiber, also in the proportion of 0,80% addition, obtained a result of greater relevance among the others. In this way, added of the fibers in the cementitious matrix showed up feasible, due to the positive gains obtained in the values of resistance and aid in the deformation capacity of the analyzed concrete pieces.

Keywords: Concrete. Artificial fiber. Resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ensaio de abatimento do tronco de cone (<i>slump test</i>).....	20
Figura 2 - Curva de Gauss para a resistência à compressão do concreto	24
Figura 3 - Ensaio de tração direta.....	25
Figura 4 - Ensaio de tração na flexão	25
Figura 5 - Ensaio de tração por compressão diametral.....	26
Figura 6 - Mecanismo de transferência de tensões entre a matriz e as fibras.....	29
Figura 7 - Representação das fibras aplicadas no reforço do concreto em função da sua matéria prima.....	31
Figura 8 - Túnel executado com TBM (a) e as aduelas pré-fabricadas utilizadas para sua construção (b) – Linha 9 do Metrô de Barcelona, Espanha.....	33
Figura 9 - Utilização do concreto reforçado com fibras em pavimentos (a) e tubos de concreto (b)	34
Figura 10 - Fluxograma	39
Figura 11 - Fibras de vidro (a) e fibras de polipropileno (b) utilizadas no trabalho	40
Figura 12 - Balanças utilizadas para pesar o cimento (a) e as fibras (b).....	42
Figura 13 - Mistura de forma manual dos materiais.....	42
Figura 14 - Molde metálico utilizado para a realização do <i>Slump Test</i>	43
Figura 15 - Adensamento manual do concreto	44
Figura 16 - Alguns corpos de prova que foram desmoldados pelo auxílio da lixadeira	45
Figura 17 - Cura úmida dos corpos de prova	46
Figura 18 - Corpos de prova 24 horas anteriores ao rompimento (a) e poucos minutos antes da ruptura (b).....	46
Figura 19 - Máquinas de ensaios	47
Figura 20 - Ensaio de resistência à compressão axial simples (a) e detalhe da sincronia dos eixos (b).....	48
Figura 21 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	49
Gráfico 1 - Comparativo de resistência à compressão para os corpos de prova com adição de fibras de polipropileno.....	53
Gráfico 2 - Comparativo de resistência à compressão para os corpos de prova com adição de fibras de vidro.....	54

Gráfico 3 - Comparativo de resistência à tração para os corpos de prova com adição de fibras de polipropileno.....	56
Gráfico 4 - Comparativo de resistência à tração para os corpos de prova com adição de fibras de vidro.....	57
Gráfico 5 - Comparativo da porcentagem do ganho de resistência do ensaio de compressão .	58
Gráfico 6 - Comparativo da porcentagem do ganho de resistência do ensaio de tração	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas da macrofibra Stronger Iron SF	36
Tabela 2 - Guia de referência para o uso da macrofibra Stronger Iron SF.....	36
Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência à compressão	52
Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência à tração	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	<i>Álcali resistent</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento <i>Portland</i>
E	Escória
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Número
PET	Tereftalato de Etileno
PVC	Policloreto de Polivinila
SAAE	Sistema de Abastecimento e Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SF	<i>Fiber Synthetic</i>
TBM	<i>Tunnel Boring Machine</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos.....	14
3	JUSTIFICATIVA	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	Concreto de cimento <i>Portland</i>	16
4.1.1	Aplicação na construção civil	18
4.2	Propriedades do concreto	19
4.2.1	Resistências mecânicas	21
4.2.1.1	Resistência à compressão	22
4.2.1.2	Resistência à tração	24
4.3	Deformações e durabilidade do concreto	26
4.4	Conceito de concreto reforçado com fibras.....	28
4.4.1	Evolução histórica da utilização das fibras	30
4.4.2	Conceito de fibra.....	30
4.4.3	Principais classes de fibras.....	30
4.4.4	Utilização do concreto reforçado com fibras	32
4.4.5	Dosagem do concreto reforçado com fibras	34
4.5	Fibras de polipropileno	35
4.6	Fibras de vidro	36
5	MATERIAIS E MÉTODO	38
5.1	Materiais utilizados	39
5.2	Dosagem do concreto.....	40
5.3	Ensaio de abatimento de tronco de cone ou <i>Slump Test</i>.....	43
5.4	Confecção e cura dos corpos de prova.....	44

5.5	Ensaio de resistência à compressão axial	47
5.6	Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	48
5.7	Análise de resultados	50
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
6.1	<i>Slump Test</i>	51
6.2	Resistência à compressão axial simples	51
6.3	Resistência à tração por compressão diametral.....	54
6.4	Comparações do ganho de resistência nos ensaios de compressão e tração	57
7	CONCLUSÕES	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material estrutural de maior emprego dentro do setor da construção civil, uma vez que, o mesmo possui diversas aplicabilidades; dentre elas a construção de edifícios, pontes, túneis, rodovias, barragens, entre vários outros exemplos. Apesar de existirem diversas técnicas estruturais novas que podem ser utilizadas e que possuem vários benefícios, tal material não deixou de se destacar e se mostrar presente na maioria das obras.

Além de ser um material com larga utilização e possuir elevada resistência à compressão, o mesmo está sujeito a inúmeras situações que podem vir a comprometê-lo, pois apresenta algumas limitações como a fragilidade ao sofrer esforços de tração. Devido a este fato, a evolução das tecnologias em concreto tem sido acelerada nas últimas décadas e em virtude da disposição dos materiais, vários estudos têm apontado que com a adição de determinados elementos ao concreto, tendo em vista a alteração e melhoria de suas propriedades, seria possível proporcionar um melhor comportamento ao material.

Muitos tipos de elementos já foram adicionados ao concreto, tendo como exemplo Leite (2001), França (2004) e Pelisser (2002) que testaram o acréscimo de diversos materiais à massa cimentícia, obtendo resultados satisfatórios em suas pesquisas. Carnio (2009) analisou o concreto reforçado com fibras de polipropileno com o intuito de melhorar seu desempenho, partindo deste princípio, decidiu-se efetuar testes com as fibras de vidro e de polipropileno adicionadas ao concreto.

Diante do exposto, este trabalho pretende verificar a melhoria que as fibras propiciam ao concreto, de modo que as mesmas visam atenuar as limitações do referido material, diminuindo seu comportamento frágil, influenciando no combate à fissuração e também aumentando sua capacidade de deformação no estágio pós-fissuração. A alternativa de realizar a junção das fibras dispersas na matriz cimentícia permite que, após seu processo de cura, o concreto se encontre ligado pelas fibras, constituindo assim pontes que o atravessam em todas as direções.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta pesquisa consiste em uma análise comparativa de resistência axial e diametral de peças de concreto convencional, com adição de fibras de vidro e de polipropileno em diferentes proporções.

2.2 Objetivos Específicos

Esta pesquisa também possui, como objetivos específicos, os seguintes itens:

- Caracterizar as fibras de vidro e de polipropileno quanto às suas principais propriedades;
- Analisar a influência da alteração da resistência à compressão e à tração do concreto com adição das fibras em diferentes teores;
- Avaliar a variabilidade do ganho de resistência à compressão axial e diametral entre os diferentes tipos de fibras utilizados neste estudo.

3 JUSTIFICATIVA

Na indústria da construção civil há uma busca constante por novas tecnologias e novos materiais que visam sempre melhorar as propriedades do concreto, delineando suas limitações e fragilidades, auxiliando em sua aplicação, tornando mais rápida a execução e reduzindo assim o tempo de construção.

O concreto reforçado com fibras é um compósito que vem sendo estudado para auxiliar o aço a suprir as limitações do concreto quando submetido a esforços de tração, permitindo assim, uma redução no uso das armaduras e telas metálicas para reforço, além de diminuir as atividades de montagem de armadura. Outra eficiência ao uso de fibras adicionadas na matriz cimentícia, parte do princípio de que elas trazem melhorias em relação ao fenômeno da fissuração e contribuem para o aumento da tenacidade do material.

Com base nessas asserções é conveniente verificar a eficiência alegada às fibras quanto ao seu ganho de propriedades mecânicas. Este trabalho visa comparar as fibras de vidro e de polipropileno em diferentes proporções, sendo uma dosagem idêntica à recomendada pelo fabricante e outras duas porções, uma acima e outra abaixo da indicada, para verificar qual confere melhorias às características do concreto.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico foram abordados os temas mais relevantes que auxiliaram na elaboração do presente trabalho, onde todo o embasamento teórico foi obtido por meio de consulta em literaturas existentes, dissertações de mestrado, teses de doutorado, trabalhos de conclusão de curso e artigos acadêmicos.

4.1 Concreto de cimento *Portland*

O concreto é um material essencial utilizado no universo da construção civil, sendo constituído por cimento, agregados e água. Além de outros materiais que também podem fazer parte da sua composição, como os aditivos e as adições, tais como agregados especiais, fibras e adições minerais, que são adicionados com a finalidade de aprimorar algumas de suas propriedades e também atuar no seu desempenho, tanto no estado fresco como no estado endurecido (HELENE; ANDRADE, 2007; RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Dentre os aglomerantes existentes, o cimento é o que possui maior aplicação no ramo de construções, em presença de água é capaz de se hidratar e se transformar em uma pasta resistente com eficiência em ligar agregados. O cimento *Portland* recebeu essa denominação devido à sua aparência ser semelhante à pedra de *Portland*, retirada em Dorset, na Inglaterra, nome este que se difundiu em todo o mundo e é empregado atualmente quando se deseja definir o cimento (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2011).

Segundo Neville (2016), o cimento é obtido através da matéria prima denominada clínquer, que passa por um processo de moagem, mistura e queima a elevadas temperaturas em enormes fornos rotativos. Após o resfriamento do clínquer é acrescentada certa proporção de sulfato de cálcio, e logo em seguida essa combinação é moída até se transformar em um pó extremamente fino, dando origem ao cimento.

Os agregados que são adicionados ao concreto podem ser de origem natural ou industrializados, sendo classificados conforme as dimensões das partículas por grãos ou miúdos, composto por brita e areia. São materiais que apresentam grande relevância, pois equivalem a 80% do peso do concreto e 20% de seu valor (BAUER, 2011). De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2016), o propósito em se empregar esses materiais é diminuir os custos, uma vez que o cimento é um material de preço elevado, transformando o concreto em um material mais econômico.

A água é a autora do processo de hidratação do cimento, possibilitando assim a junção entre os elementos do concreto (DURAN; FRACARO, 2011). Petrucci (1998) afirma que a água a ser utilizada no processo de mistura de materiais e posterior formação do concreto, não deverá conter impurezas que comprometeriam as reações entre a mesma e os constituintes do cimento. Só poderão ser admitidas baixas quantidades de impurezas, desde que não manifestem, ao menos aparentemente, ações prejudiciais.

Uma categoria de materiais que se encontram cada vez mais utilizados na mistura em concretos são os aditivos, que não representam um constituinte essencial na matriz cimentícia, porém, devido ao seu uso provocar inúmeros benefícios em vários aspectos, tem se tornado um elemento cada vez mais explorado, já que acarreta diversos ganhos ao concreto, sendo físicos e econômicos. Os aditivos são produtos químicos que surgiram para simplificar o uso do concreto, promovendo a melhoria em diversas propriedades. Eles também auxiliam o concreto no seu desempenho, reduzem a água, retardam ou aceleram o tempo de pega da pasta de cimento, incluindo outras propriedades (NEVILLE, 2016).

Para que o concreto seja produzido, é necessário realizar a dosagem dos materiais constituintes, para que esses componentes quando unidos formem um conjunto homogêneo que atenda alguns critérios como resistência, trabalhabilidade e nível de retração mínima. A mistura desses materiais poderá ser feita de forma manual ou mecânica e o transporte, sempre que possível, de forma rápida para impedir que o concreto perca sua trabalhabilidade (BAUER, 2011).

Ainda segundo Bauer (2011), deverá ser feito o lançamento do concreto produzido nas fôrmas, e para que ele tenha um menor número de vazios é necessário realizar seu adensamento, induzindo a saída do ar e permitindo o arranjo dos materiais constituintes. A última etapa, e não menos importante, é a cura do concreto, que representa uma série de ações que devem ser tomadas para impossibilitar que ocorra a evaporação da água disposta na mistura do concreto. Esse efeito, impede a hidratação do cimento e possibilita o fenômeno da retração, causador da manifestação de fissuras, o que provoca a menor resistência do concreto e o deixa mais vulnerável às agressões de agentes.

Finalizada a cura, o concreto se tornará um material com excelente resistência à compressão, porém, se limita e apresenta um comportamento frágil quando submetido à esforços de tração. Em consequência disso, para aplicação estrutural, o concreto isolado não é apropriado para ser considerado como componente resistente. A deficiência do concreto em relação a esse esforço pode ser suprida com o uso de um material que apresente boa

resistência à tração, e que suporte com mais facilidade esse esforço, o material mais comum utilizado é o aço (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

4.1.1 Aplicação na construção civil

O uso de materiais cimentícios aplicados à construção civil existe há vários anos. De acordo com Neville (2016), os egípcios manipulavam o gesso impuro, os romanos e gregos operavam com o calcário calcinado e posteriormente, descobriram a adição de novos materiais, como a areia e também fragmentos de pedras, tijolos ou telhas, assim formando o primeiro concreto conhecido da história. Os romanos, ao compreender que a argamassa de cal não endurecia perante o contato com a água, passaram a utilizar a cal moída juntamente com cinza vulcânica para que se conseguisse utilizar o concreto em construções submersas, surgindo assim o cimento pozolânico. Algumas construções que utilizaram a argamassa existem até nos dias atuais, tendo como exemplo o Coliseu, em Roma.

Apenas no século XVIII houveram avanços sobre o conhecimento do cimento, quando John Smeaton foi o primeiro a apontar as propriedades da cal hidráulica, que adquiria maior êxito quando se adicionava argila ao material. Em seguida, James Parker apresentou como “cimento Romano” outro método de calcinação entre o calcário e a argila, até atingir por Joseph Aspdin a patente de “cimento *Portland*”, conhecida na atualidade. Obtido através do aquecimento da mistura de calcário e argila em um forno até que ocorra a eliminação do gás carbônico, em temperaturas abaixo da precisa para a clinquerização. Mas apenas em 1845, foi produzido por Isaac Johnson um protótipo do cimento atual, fazendo o uso de uma mistura de giz e argila até a clinquerização (NEVILLE, 2016).

Helene e Andrade (2007) apresentam que a descoberta do concreto ocorreu por volta do fim do século XIX e seu uso intenso decorreu durante o século XX, tido como o descobrimento mais atrativo da história, que influenciou no avanço da humanidade. Permitindo uma qualidade de vida mais favorável, e um vasto progresso em questão da otimização e evolução das estruturas, revolucionando assim a arte de projetar.

A utilização do concreto na construção civil é extremamente vasta, esse material pode ser aplicado na estrutura de edifícios, tendo como elementos: lajes, vigas, pilares e fundações, galpões e pisos industriais, obras hidráulicas e de saneamento, como barragens e estações de tratamento, rodovias, citando pontes e túneis, e em estruturas diversas, como muros de arrimo, piscinas, postes, elementos de cobertura, entre outros. Dentre os diversos materiais existentes

e usados pelo homem, o concreto encontra-se após somente da água, considerada como principal elemento (PINHEIRO et al.,2010).

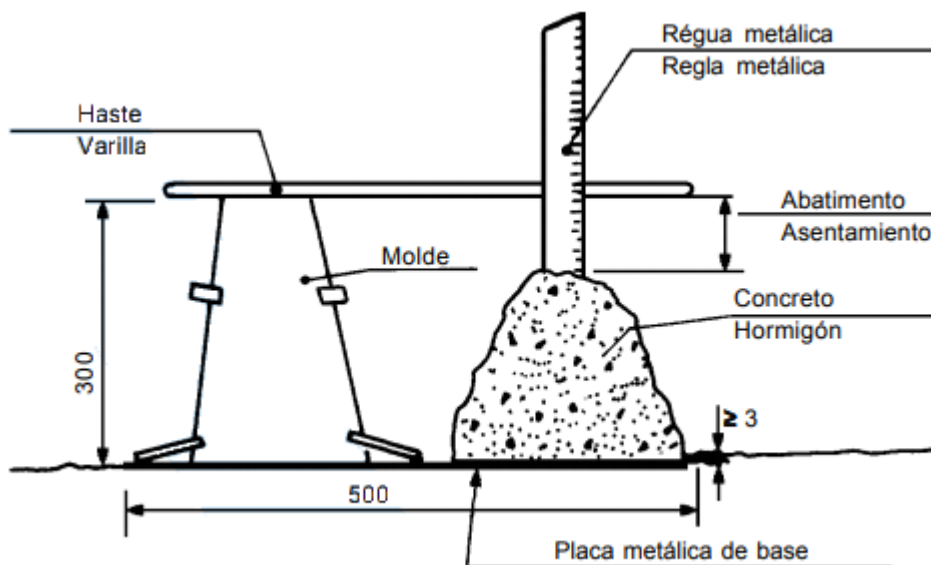
4.2 Propriedades do concreto

O concreto de cimento *Portland* se divide em duas principais fases distintas, a primeira consiste no estado fresco e a segunda no estado endurecido. Helene e Andrade (2007) esclarecem que, a primeira fase engloba um intervalo muito pequeno de tempo, que pode alternar entre 1h à 5h, que remete ao período de tempo previsto para que algumas atividades possam ser realizadas, como a mistura dos materiais, o transporte, o lançamento e o adensamento do material cimentício. Já a segunda fase, tem início com o processo de hidratação do cimento e decorrente endurecimento do mesmo, prolongando-se pela vida toda da estrutura.

Para se atingir um concreto no estado endurecido que possua eficiente qualidade, é de extrema importância compreender o seu desempenho no estado fresco, estado este que, deve ser analisado minuciosamente em razão das limitações concebidas nesta fase, que podem ocasionar danos pelo resto da vida do elemento produzido, afetando assim, a sua resistência e durabilidade. Desta maneira, é indispensável realizar o controle tecnológico do material, para que nenhuma de suas propriedades seja afetada ou prejudicada (ONUKEI; GASPARETTO, 2013).

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2016, p. 30), “as principais propriedades do concreto fresco são a consistência, a trabalhabilidade e a homogeneidade.” A consistência é o fator de maior relevância que influencia na trabalhabilidade, consiste na maior ou menor capacidade de deformação do concreto. Pode ser afetada pelo teor de água empregado, granulometria dos agregados e pela influência de produtos adicionados. Um dos métodos utilizados para se determinar a consistência é através do ensaio de abatimento ou *slump test*, onde é observado o quanto a massa de concreto se moveu verticalmente na fôrma metálica de modelo tronco cônica quando a mesma é retirada (FIG. 1) (BAUER, 2011).

Figura 1 - Ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*)



Fonte: Adaptado da NBR NM 67 (1998).

O ensaio é realizado conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998) e consiste no posicionamento do molde metálico com o diâmetro da base maior voltado para baixo sobre uma placa metálica, em seguida, é realizado seu preenchimento com o concreto produzido e posteriormente o molde é retirado e posicionado ao lado do concreto para medir seu *slump*. Para se obter tal medida é necessário utilizar uma haste sobre os centros do molde e do concreto, e por meio do auxílio de uma trena, verificar a medida da diferença entre a altura de ambos.

A definição de trabalhabilidade está relacionada principalmente ao modo de realizar seu adensamento, tendo como exemplo, um concreto que possui um *slump* elevado. Este geralmente, possui certa facilidade em ser lançado e adensado, apontado então, por possuir boa trabalhabilidade. Logo, pode-se afirmar como sendo uma propriedade do concreto que consiste em identificar a maior ou menor disposição que o mesmo tem em ser trabalhado, assegurando que não ocorra a perda de sua homogeneidade (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016; PETRUCCI, 1998).

Um fator significativo que interfere na qualidade do concreto é a forma com que os agregados graúdos são dispostos no interior da massa, quão mais regulares ou uniformes se demonstrar, estando completamente envolto pela pasta, consistirá na melhor qualidade do concreto, além de apresentar melhorias no acabamento, evitando assim reparos seguintes. Esse arranjo dos agregados é denominado pela homogeneidade, que pode ser obtida através da adequada mistura do concreto, um cauteloso transporte, como também o cuidado

apropriado no momento de realizar o lançamento do mesmo nas fôrmas e no seu adensamento. Sendo assim, para se obter uma estrutura de excelente qualidade, mais homogêneo deverá ser o concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

De acordo com Bauer (2011), a fase do concreto endurecido é compreendida desde a pega, quando já é avaliado como sendo um material sólido, que permanece em constante desenvolvimento até que ocorra seu endurecimento. Conforme Ribeiro, Pinto e Starling (2011), o concreto na sua etapa endurecida dispõe de particularidades, como a resistência às solicitações mecânicas a qual será subordinado e em relação à durabilidade prevista.

4.2.1 Resistências mecânicas

Carvalho e Figueiredo Filho (2016, p. 33) apontam que “no concreto endurecido, as principais características de interesse são as mecânicas, destacando-se as resistências à compressão e à tração.” Silva (2005) diz que, dentre os mais importantes parâmetros de projeto pode-se citar a resistência mecânica, que pode ser definida como a capacidade que um material possui em suportar esforços sem que haja rupturas ou excessivas deformações. Relacionando-se assim, o concreto como o material mais apropriado em resistir a solicitações de compressão. A resistência do concreto pode ser vinculada com o método que o cimento possui em se hidratar, que pode ser fundamentado através de ensaios em corpos de prova, depois de ocorrido o processo da cura.

Existe uma correspondência entre os materiais sólidos, onde a porosidade e a resistência possuem uma relação inversa, a resistência de um material localiza-se diretamente no segmento sólido do mesmo. Desse modo, os espaços vazios prejudicam sua resistência, a porção de vazios existentes na massa de cimento hidratada vincula-se à quantia de água que foi adicionada na mistura de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Mehta e Monteiro (2008) e Neville (2016), apresentam que o concreto responde as forças a ele aplicadas devido ao tipo de tensão efetuada. Porém, esse não é o único fator que afeta sua resistência, existem outras condições que influenciam na resistência mecânica do mesmo, mencionadas abaixo:

- **Relação água/cimento:** possui uma razão inversamente proporcional no que se refere à resistência mecânica, ou seja, quanto maior a quantidade de água inserida no concreto menor sua resistência. Porém, é preciso que se tenha presente um mínimo de água presente na mistura para dar trabalhabilidade ao concreto;

- **Forma e dimensão dos agregados:** dosagens de concreto incluindo agregados maiores, exigem uma menor quantidade de água na mistura quando comparado às porções que contém agregados menores, em consequência apresentam maior resistência. Agregados graúdos lisos acarretam em uma menor resistência quando comparados a rochas angulares e ásperas. A possível razão desse fenômeno, se deve ao fato de que a resistência mecânica pode ser influenciada pela superfície do material, ou ainda, pela forma que esse material possui. A composição mineralógica também afeta na resistência mecânica do concreto;
- **Idade:** a resistência é usualmente apontada como sendo aos 28 dias de idade, devido ao fato de que os cimentos mais antigos reproduziam resistência vagarosamente, e era preciso que ocorresse uma hidratação considerável; e
- **Tipo de cimento:** existem diversos tipos de cimentos, cada um possui propriedades e características distintas que influenciam no progresso da resistência do concreto através do tempo.

A resistência mecânica do concreto também recebe interferência devido ao tempo que a solicitação de um esforço pode durar, a título de exemplo os ensaios realizados em corpos de prova são efetuados de maneira rápida, à medida que, em construções, o concreto é sujeito a atuações que agem de modo definitivo (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

4.2.1.1 Resistência à compressão

A característica que possui maior relevância em um concreto é sua resistência à compressão, que pode ser estabelecida através de testes em corpos de prova, todos padronizados com a finalidade de proporcionar que resultados em concretos distintos sejam capazes de ser comparados (ONUJI; GASPARETTO, 2013).

Os ensaios são realizados em moldes de corpos de prova cilíndricos padronizados conforme a ABNT NBR 5738 (ABNT, 2015), que aponta que os modelos a serem seguidos devem apresentar a altura correspondente ao dobro do diâmetro. Sabendo que, após a moldagem e passadas as primeiras 24 horas, os corpos de prova poderão ser tirados dos moldes para iniciar o processo de cura, que pode ser em câmara úmida ou imersos em água. Decorridos os 28 dias de cura, são ensaiados para realizar o rompimento conforme determina a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2007), que estabelece que os corpos de prova devam estar

posicionados na máquina de ensaio, de maneira que seu centro corresponda ao da máquina, ocasionando assim a passagem da resultante das tensões ao ponto central (ABNT, 2014).

Carvalho e Figueiredo Filho (2016), declaram que, para se obter o valor da resistência à compressão, atingida por meio de ensaio de breve duração, deve-se considerar a Equação 1 disposta abaixo:

$$f_{cj} = \frac{N_{rup}}{A} \quad (1)$$

Em que:

f_{cj} = resistência à compressão do corpo de prova de concreto na idade de (j) dias (Mpa);

N_{rup} = carga de ruptura do corpo de prova (N); e

A = área da seção transversal do corpo de prova (m²).

É preciso efetuar um determinado número de ensaios para analisar a resistência à compressão de um concreto. Porém, os resultados encontrados dos diferentes corpos de prova constituídos de um mesmo concreto, acabam sofrendo variações devido a diversas razões. Como a ausência de homogeneidade do composto, corpos de prova distintos submetidos a diferentes graus de compactação, entre outros fatores que influem na variação de resultados de resistência obtidos. Inicialmente a concepção para que se solucione essa adversidade seria realizar uma média aritmética dos resultados atingidos, no entanto, essa grandeza não representa a fiel qualidade do concreto. Devido a este fato, é empregada a conceituação de resistência característica (f_{ck}), que considera o valor obtido da média aritmética f_{cm} e também seu desvio, dado pelo coeficiente de variação δ (ARAÚJO, 2010; CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2016).

Segundo Rocha (1975), a resistência característica do concreto à compressão pode ser obtida através da Equação 2 (adaptada) indicada a seguir:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s \quad (2)$$

Onde:

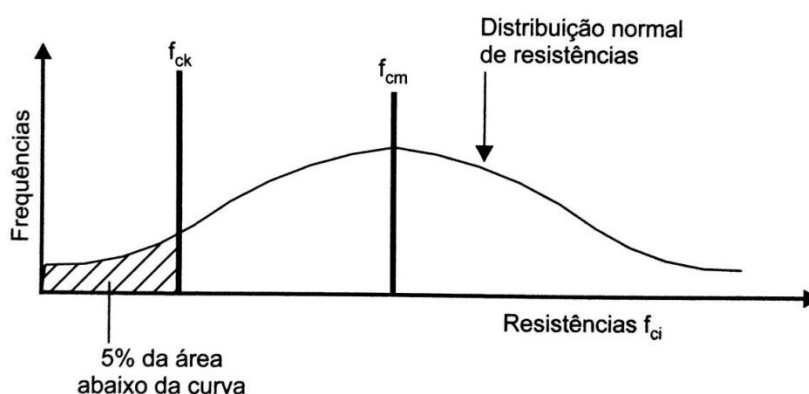
f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão (Mpa);

f_{cm} = resistência média do concreto (Mpa); e

S = desvio padrão da dosagem.

Ainda conforme o autor mencionado anteriormente, o valor de 1,65 representa 5% dos concretos que não resistem e se rompem antes de atingir a resistência à compressão característica do concreto, ou ainda, 95% dos corpos de prova ensaiados atingem resultados acima do valor encontrado para a resistência característica. Normalmente, caracteriza-se a frequência das resistências através da curva de Gauss, que representa os valores de resistência alcançados (f_c) em comparação com o número de corpos de prova executados (FIG. 2) (ARAÚJO, 2010).

Figura 2 - Curva de Gauss para a resistência à compressão do concreto



Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2016).

Conforme Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), o desvio padrão “s” representa o intervalo entre a abscissa de f_{cm} e a região de inflexão da curva, ou seja, local em que se altera a concavidade da mesma. Esse desvio está diretamente vinculado ao controle de qualidade empregado na formação do concreto, no momento em que o mesmo não é conhecido, é permitido utilizar valores próprios, definidos de acordo com o controle de qualidade (ARAÚJO, 2010).

Pode-se então, determinar a resistência característica do concreto como sendo um valor que na maior parte dos casos vincula-se à segurança das estruturas, visto que, a probabilidade de falhas estruturais está em tese associada à redução da resistência dos materiais (FUSCO, 2008).

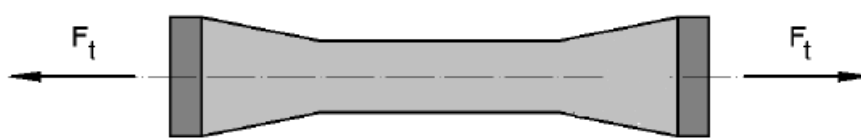
4.2.1.2 Resistência à tração

Apesar de o concreto ser um material que reaja mal à tração, é importante ter conhecimento sobre essa resistência, pois, é através dela que é determinada a carga do

momento em que o fenômeno da fissuração se inicia. É de grande relevância assegurar a estabilidade de uma estrutura para que não ocorra o surgimento dessas falhas. Como a resistência à tração está relacionada diretamente com esse fenômeno, deve-se atribuir uma importância considerável a mesma, pois, essa complicação manifesta-se quando a estrutura gera tração diagonal devido ao esforço cortante, ou ainda conseqüente da retração e devido à temperatura (NEVILLE, 2016). Para se determinar a resistência à tração podem ser feitos três tipos de ensaios, que são apresentados abaixo:

- **Resistência à tração direta:** equivale a um dispositivo que indica a resistência através da tração axial, ou seja, consiste em uma força que age longitudinalmente à peça a ser ensaiada, porém não é um mecanismo considerado prático devido à complexidade do ensaio (FIG. 3) (BASTOS, 2006).

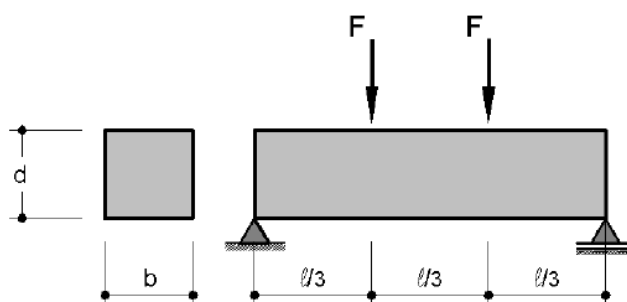
Figura 3 - Ensaio de tração direta



Fonte: Adaptado de Pinheiro; Muzardo; Santos (2004).

- **Resistência à tração na flexão:** consiste na concentração de duas cargas idênticas e simetricamente estabelecidas em referência ao centro do vão do corpo de prova de concreto simples, sendo prismático e apresentando seção quadrada, sustentado em dois pontos para que o prisma esteja sujeito à flexão. Pelo motivo de que os pontos de aplicação da carga são dispostos a $1/3$ do vão, esse ensaio recebe a denominação de “carregamento nos terços” (FIG. 4) (ALMEIDA, 2002; NEVILLE, 2016).

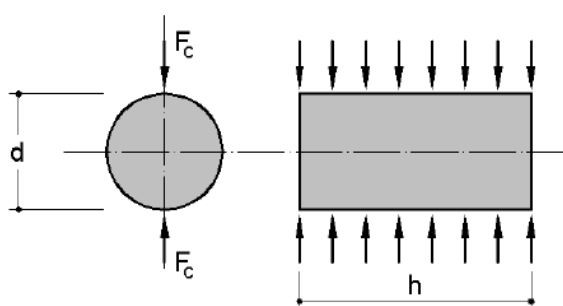
Figura 4 - Ensaio de tração na flexão



Fonte: Pinheiro; Muzardo; Santos (2004).

- **Resistência à tração por compressão diametral:** foi elaborado por Lobo Carneiro, por volta da década de 50, intitulado por “*Brazilian test*” ou “*Splitting test*”, constitui-se de compressão longitudinal de um corpo de prova cilíndrico, esforços linearmente distribuídos e diametralmente opostos. Dessa forma, ao se efetuar o esforço de compressão, ocorrem tensões de tração perpendiculares no sentido diametral, que acarretam a ruptura do corpo de prova. A disposição das tensões é de fato uniforme no centro do cilindro, e esse é considerado o ensaio mais usual (FIG. 5) (ALMEIDA, 2002; BASTOS, 2006).

Figura 5 - Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: Pinheiro; Muzardo; Santos (2004).

4.3 Deformações e durabilidade do concreto

Outro conceito essencial em relação às estruturas de concreto compreende-se ao vínculo existente entre as tensões e as deformações. Tais que, a razão entre esses dois componentes é conhecido como sendo o módulo de elasticidade, ou módulo de deformação longitudinal do material, que é estabelecido pela Lei de Hooke (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

O módulo de elasticidade consiste em uma medida de rigidez, conseqüentemente almeja-se que o material em questão disponha de um valor elevado, pois os materiais que exibem alto módulo de elasticidade possuem maior resistência às deformações (ONOUYE; KANE, 2018).

Realizando um ensaio de compressão simples, pode-se estabelecer o diagrama de tensão-deformação do concreto. Onde o mesmo apresenta até determinado ponto, um comportamento elástico, este pode ser exemplificado no momento em que, ao se aplicar uma tensão sobre o elemento manifesta-se uma deformação e imediatamente após sua retirada, essa determinada deformação desaparece (ARAÚJO, 2010; NEVILLE, 2016).

Ainda conforme os mesmos autores, ao dar continuidade com a tensão aplicada por um período de longa duração, ocorrerão o aumento da deformação do material que em determinado momento, sofrendo uma tensão de tamanha intensidade, passa a exibir um comportamento não linear no diagrama de tensão deformação. Tal comportamento é consequente da microfissuração contínua que acontece na área de interação entre a pasta de cimento e o agregado. Onouye e Kane (2018) afirmam que esse comportamento denomina-se como estado plástico, estado este em que o material sofre uma deformação permanente.

O concreto, ao sofrer influência de cargas externas e de efeitos da natureza, manifesta deformações capazes de aumentar ou diminuir o seu volume, sendo capaz de originar fissuras, que, dependendo da sua dimensão e do meio em que o elemento é exposto, acarretam em prejuízos não apenas na questão estética do mesmo, mas afetando também a sua durabilidade (BASTOS, 2006).

Em sequência, um dos conceitos que possui maior relevância em relação aos elementos de concreto é a questão da durabilidade das estruturas, visto que, é fundamental que eles suportem as situações as quais foram projetados no decorrer de toda sua vida útil. A inexistência da durabilidade pode ser causada devido a agentes externos ou por meio de agentes internos provenientes do concreto, e o motivo da falta desse elemento nas estruturas pode ser classificado devido a fenômenos físicos, químicos ou mecânicos (ARAÚJO, 2010; NEVILLE, 2013).

Tais agentes agressivos atacam o concreto através da invasão em sua estrutura por meio dos poros, precisando assim, do material ser permeável para permitir que os mesmos consigam ingressar em seu meio. Portanto, para que o concreto apresente alta durabilidade, é necessário que o mesmo se demonstre impermeável. Esses vazios existentes podem ser de diversas origens, como excedente presença de água na mistura devido ao alcance da trabalhabilidade apropriada, diminuição do volume total, ar presente devido o processo de mistura dos componentes, e fissuras de diferentes causas, térmicas, mecânicas, de retração, entre outras (BAUER, 2011; NEVILLE, 2013).

Bauer (2011), ainda aponta que a essas causas próprias expostas anteriormente, podem somar as consequências devido à má preparação e má dosagem dos materiais, causadores do surgimento de vazios de uma maior dimensão. Assim sendo, vale lembrar que é de extrema importância ter conhecimento da relação água/cimento, da correlação entre os finos existentes na mistura, até mesmo o cimento, às precauções necessárias no processo de cura e a utilização de determinados aditivos e adições, pois todos esses fatores influenciam na impermeabilidade de um concreto, tornando-o mais durável.

4.4 Conceito de concreto reforçado com fibras

O concreto dispõe de diversas propriedades que lhe asseguram o lugar de um dos materiais mais empregados no mundo. No entanto, o mesmo apresenta algumas limitações, tais como a fragilidade no seu comportamento e a pequena eficiência em se deformar previamente à sua ruptura ao sofrer o esforço de tração. Além de que, este material resiste muito pouco à tração se assemelhado à sua propriedade de resistir à compressão em função da sua susceptibilidade ao fenômeno da fissuração. Essa ocorrência pode ser impulsionada por diversos motivos, uma possibilidade técnica com o propósito de minimizar essa fragilidade é adicionando as fibras ao concreto com o objetivo de auxiliá-lo (FIGUEIREDO, 2011).

O autor supracitado ainda menciona que, os concretos com adição de fibras também são identificados como compósitos, que são materiais formados basicamente por, no mínimo, duas fases diferentes principais. O concreto mesmo sem conter as fibras já é classificado como um compósito composto pela pasta, os agregados e os poros. Entretanto, no concreto reforçado com fibras as fases consideradas são: a matriz e as fibras. Sendo que estas podem ser desenvolvidas com base em diversos materiais, como náilon, vidro, carbono, polipropileno, aço, entre outros.

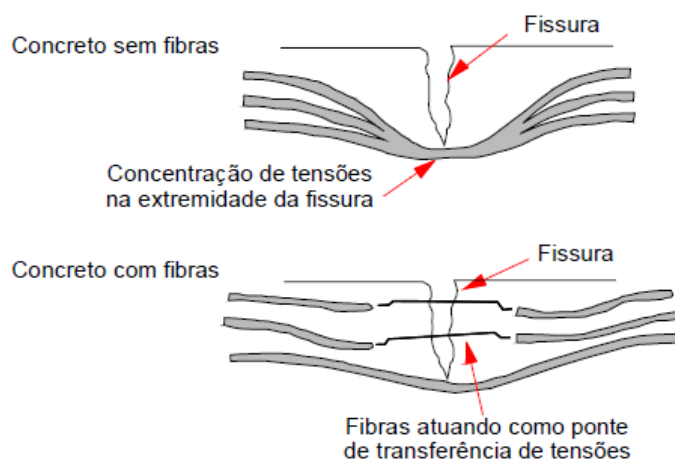
Para suprir o comportamento frágil do concreto, é necessário combiná-lo a um material que possua adequada resistência à tração e também tenha uma capacidade de deformação maior, um dos materiais mais utilizados é o aço, que ao ser combinado com o concreto compensa sua fragilidade gerando assim resistência à tração e ductilidade (MEDEIROS, 2012). Bastos (1999) aponta que, o aço presente nas armaduras comuns não será substituído totalmente pelas fibras, os dois materiais têm por finalidade trabalharem juntos, gerando melhorias ao concreto. As fibras procuram impedir e “costurar” as fissuras, beneficiando a ligação da matriz cimentícia com a armadura e diminuindo o fenômeno da fissuração na área de transição de tensões.

Conforme Medeiros (2012), no concreto que não possui a adição de materiais fibrosos, uma fissura simboliza um impedimento para as tensões, fazendo com que as mesmas não se propaguem. Devido a este fato, as tensões sofrerão uma falha no seu caminho e com isso, essas forças se concentram nas extremidades da fissura, no caso dessa tensão exceder a resistência da matriz, acarretará no rompimento frágil do elemento.

Ainda segundo o mesmo autor, ao se inserir as fibras na matriz com a dosagem correta, é eliminada a fragilidade do elemento. Isso acontece devido às fibras trabalharem como uma ponte de transferência de tensões através das fissuras, minimizando o agrupamento

das mesmas nas bordas da fissura. Dessa forma, acarreta uma ampla redução da agilidade de propagação das fissuras no elemento, que passa a apresentar um desempenho pseudo-dúctil, assim será certificada uma diminuição do fenômeno do aparecimento de fissuras ao concreto (FIG. 6).

Figura 6 - Mecanismo de transferência de tensões entre a matriz e as fibras



Fonte: Medeiros (2012).

Carnio (2009) aponta que o método de reforçar estruturas de concreto por meio do acréscimo de fibras, intensifica imensamente a ductilidade e capacidade de absorver energia do concreto. Esse fato possibilita efetuar estruturas com maior esbeltez e com um custo menor de material e mão de obra, além do fato da diminuição das decorrências à massa das estruturas, como exemplo, seu peso próprio e ação sísmica.

O concreto reforçado com fibras e o concreto armado possuem o mesmo princípio estrutural, proporcionar ao compósito sofrer esforços de tração, mas com uma maior proteção aos usuários. As fibras agem com maior êxito em estruturas onde os esforços de tração não são corretamente estabelecidos e permanentes. A exemplo, um pavimento feito de concreto, o mesmo é susceptível a esforços no decorrer do seu uso, em conformidade com o posicionamento da carga e da alternância da temperatura do meio em que se encontra. Também pode-se citar, um tubo de concreto, formado com a destinação de sustentar cargas em qualquer direção, sendo capaz de existir uma carga concentrada em um determinado ponto ou outro do tubo. Para tais aplicabilidades, é de grande vantagem adicionar um reforço distribuído, dessa maneira, é conveniente o uso das fibras na matriz cimentícia (FIGUEIREDO, 2017).

4.4.1 Evolução histórica da utilização das fibras

Segundo Figueiredo (2017), o conceito de fortalecer componentes com o auxílio de fibras é milenar. Desde os primórdios as sociedades usavam palhas, crinas de cavalo, dentre outros elementos fibrosos vegetais com a finalidade de fortificar os tijolos de adobe, e de vários outros componentes construtivos. Já que as fibras acrescentavam várias melhorias a esses materiais, como a ampliação da vida útil e a eficácia de trabalho dos mesmos.

Do conceito industrial, o primeiro emprego das fibras foi na produção do cimento amianto, que obteve um enorme arranque no início do século XX, devido à fibra de amianto ser um produto barato e que proporcionava um gigantesco aumento a eficácia de trabalho dos insumos cimentícios, principalmente na sua resistência aos esforços de tração. Porém, ao descobrir de que o amianto era um produto que causava danos à saúde, despertou-se a procura por novas soluções ao uso de materiais fibrosos com a finalidade de aumentar a capacidade mecânica, isto é, a resistência dos elementos. Já no ano de 1960, surgiram as fibras de vidro e de aço, e outras fibras feitas através de materiais poliméricos. De início, a utilização das fibras objetivava o aumento da resistência mecânica do elemento, no entanto, em breve compreenderam que seu maior benefício era transformar o concreto em um material menos frágil (FIGUEIREDO, 2017).

4.4.2 Conceito de fibra

As fibras podem ser consideradas como parcelas descontínuas indicadas para reforçar o concreto, possuem o seu comprimento devidamente maior quando comparado à sua seção transversal. O comprimento é um fator significativo a ser analisado, pode ser definido pela distância entre os limites da fibra, e a sua seção transversal pode manifestar formato circular, retangular ou variado. As fibras podem ser definidas através do material utilizado, que podem ser: vidro, aço, polipropileno, carbono, entre vários outros elementos (FIGUEIREDO, 2011; VASCONCELOS, 2012).

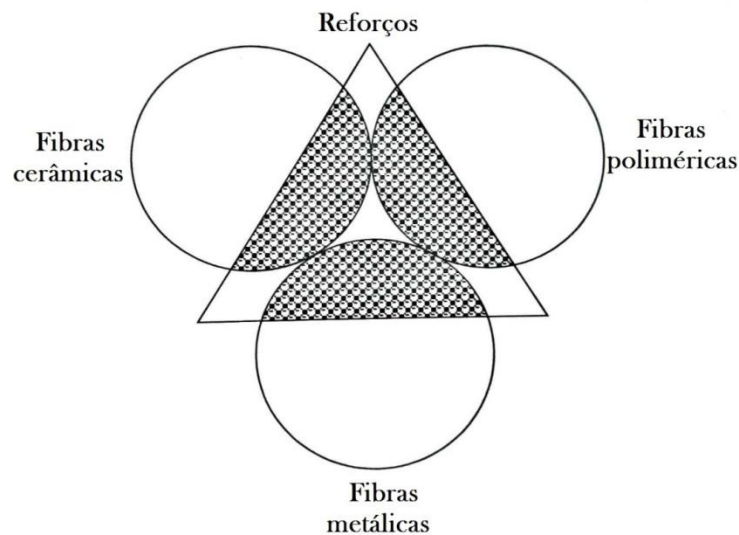
4.4.3 Principais classes de fibras

O efeito de se associar diferentes materiais a uma matriz, com o princípio de formar compósitos, é capaz de alcançar seguimentos com um alto propósito sinérgico, uma vez que, os compósitos exibem propriedades e características singulares que nenhum de seus

elementos apresenta separadamente. Se esses materiais particulares de reforço, compostos por fibras imensamente resistentes, firmes e leves, fossem empregados sem dispor de uma matriz que os unisse e protegesse, só seriam capazes de ser aplicados em elementos sujeitos exclusivamente a forças de tração (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Conforme Carnio (2017), inúmeras variedades de fibras são aplicadas ao reforço do concreto, cada uma possui propriedades e atributos únicos, diferenciando-se devido a alguns aspectos, como o material com o qual é produzida, sua geometria, o método de fabricação, a composição, propriedades mecânicas, entre outros. Podem ser classificadas em função da sua matéria prima de origem, como: metálicas, cerâmicas e poliméricas, essas são subdivididas em sintéticas ou naturais, conforme a representação mostrada a seguir (FIG. 7).

Figura 7 - Representação das fibras aplicadas no reforço do concreto em função da sua matéria prima



Fonte: Adaptado de Levy Neto e Pardini (2006).

Alguns exemplos de fibras metálicas são as de aço carbono e suas ligas e as de alumínio. As fibras de materiais metálicos revelam um alto padrão quando aplicadas em componentes da construção, exibem características devidamente estabelecidas, constantes e previsíveis de acordo com seu processo de fabricação já estabelecido no decorrer de várias décadas (LEVY NETO; PARDINI, 2006; SARZALEJO et al., 2009).

As fibras constituídas de materiais cerâmicos também podem ser designadas como fibras minerais, alguns exemplos das mesmas são: o amianto ou asbesto, o carbono, o vidro, que confirmam alta solidez e resistência aos elementos utilizados, dentre várias outras. Em sequência, as fibras poliméricas podem ser apresentadas como sintéticas ou naturais, as ditas

como sintéticas têm como exemplo o polipropileno, polietileno, náilon, e diversos outros exemplos que podem ser utilizados em conjunto com a matriz principal (CARNIO, 2017; SARZALEJO et al., 2009).

Carnio (2009) apresenta que as fibras poliméricas naturais, também destacadas como vegetais vêm sendo utilizadas há milênios. São aplicadas na constituição de diferentes compostos, porém, as mesmas podem sofrer degradação devido à ação de microorganismos. Seu uso em conjunto com o cimento comum não obteve tanto êxito em razão à degradação imediata dos constituintes, acarretada pela alta alcalinidade da água existente na matriz cimentícia. As fibras naturais que podem ser aplicadas ao concreto podem ser de coco, cana de açúcar, bambu, sisal, entre outras.

4.4.4 Utilização do concreto reforçado com fibras

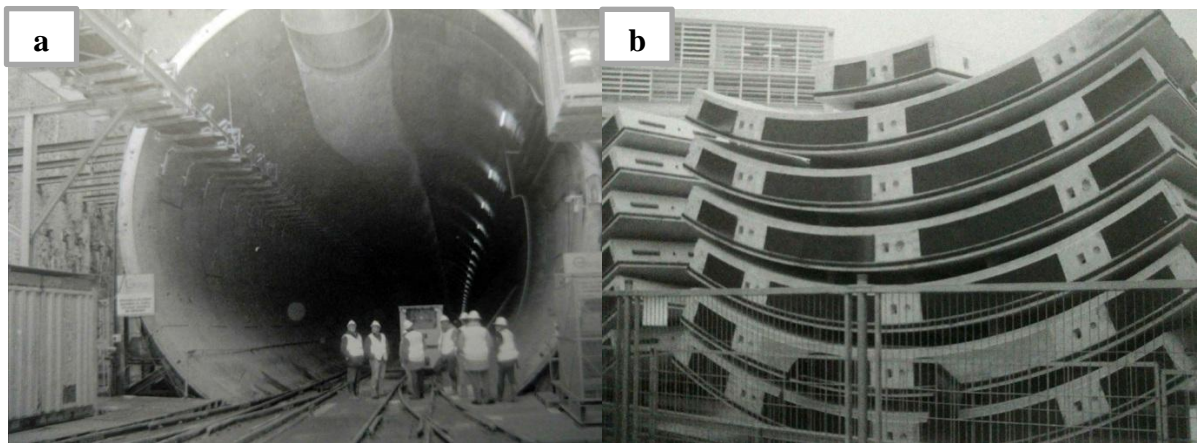
Não só apenas no Brasil, mas em âmbito mundial, ocorreram diversas evoluções nos estudos direcionados à utilização de fibras incorporadas à matriz de concreto. Desse modo, esse elemento vem se destacando cada vez mais nas inúmeras aplicabilidades no setor da construção civil. Seja como material aplicado à decoração ou como reforço para as estruturas, estimulando assim o mercado devido às diversas variedades de materiais fibrosos existentes (VASCONCELOS, 2012).

Um dos benefícios possibilitados pelo uso das fibras no concreto é devido ao fato das mesmas serem lançadas de maneira aleatória na matriz cimentícia, ocasionando o reforço em toda a extensão do elemento, constituindo assim uma micro armadura, e não se apresentando apenas em um determinado posicionamento, como acontece nas armaduras convencionais. No entanto, se o componente em questão sofre tensões devidamente localizadas, o uso das fibras torna-se pouco favorável, agindo com maior destaque quando aplicadas em estruturas contínuas, tais como pavimentos e revestimento de túneis, em que os esforços não estão situados em uma determinada região particular da estrutura (FIGUEIREDO, 2011; SARZALEJO et al., 2009).

Essa tecnologia de concreto com inserção de fibras aplicada com função estrutural, em substituição a parte da amadura comum, têm se intensificado tanto por motivos econômicos quanto técnicos. Neste seguimento, os revestimentos de concreto para túneis, que podem ser de dois tipos: lançados “in loco” ou pré-fabricados, são componentes que eventualmente tiveram um grande beneficiamento. Os itens pré-fabricados de concreto devem ter alta velocidade de produção para seu uso em anéis de revestimentos, a fim de acompanharem o

desenvolvimento da escavação executada através de tuneladoras TBM (*Tunnel Boring Machine*). Ao se utilizar os materiais fibrosos o ganho com a velocidade de produção é enorme, devido à redução da montagem de armadura convencional (FIG. 8) (LA FUENTE et al., 2017; SARZALEJO et al., 2009).

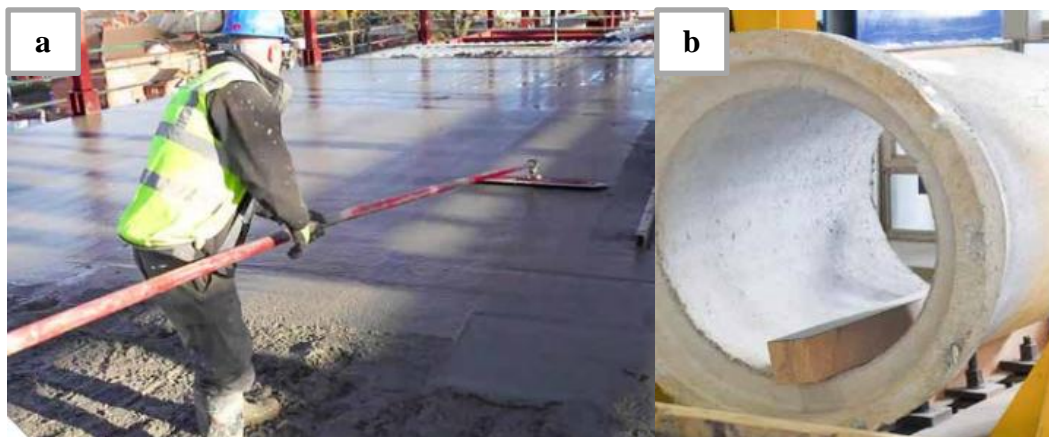
Figura 8 - Túnel executado com TBM (a) e as aduelas pré-fabricadas utilizadas para sua construção (b) – Linha 9 do Metrô de Barcelona, Espanha



Fonte: Sarzalejo et al. (2009).

Em sequência, conforme mencionado acima, além do uso das fibras em estruturas para revestimentos de túneis, as mesmas também podem ser aplicadas em pavimentos. Segundo Figueiredo (2011), seu uso em pavimentos implica em numerosos benefícios, dentre eles a diminuição do tempo utilizado para que se execute a obra, atenuando também na quantidade de trabalhadores necessários para operar a mesma. Outra utilização do concreto reforçado com fibras consiste no uso em tubos de concreto para serem empregados em obras de saneamento, suas vantagens consistem em tese nas mesmas indicadas na fabricação dos anéis de revestimentos de túneis (FIG. 9).

Figura 9 - Utilização do concreto reforçado com fibras em pavimentos (a) e tubos de concreto (b)



Fonte: (a) Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON, 2017), (b) Figueiredo (2017).

Medeiros (2012) ainda aponta que, o concreto reforçado com fibras também pode ser aplicado em componentes de contenção, telhas, estacas-prancha, dormentes, partes de estruturas que estão subordinadas a sismos, elementos que por ventura estejam sujeitos a impactos, itens com aplicações estruturais pré-fabricados, reforço de componentes estruturais, entre outras utilizações.

4.4.5 Dosagem do concreto reforçado com fibras

Carnio (2017) apresenta que, no momento em que deram início as pesquisas objetivando o desenvolvimento da utilização do concreto reforçado com fibras, havia a expectativa de que esses elementos aumentassem consideravelmente a resistência mecânica do material. Entretanto, para promover um acréscimo na resistência de modo significativo, verificou-se que, seria preciso adicionar um alto teor de fibras ao concreto, resultando na perda da fluidez, propriedade essa bastante considerável para que se consiga moldar as peças desejadas.

Em seguida, percebeu-se que seria capaz, com menor teor de fibras, aprimorar outras propriedades, que seria útil em seu emprego como elemento de construção, independente de não promover um aumento considerável na resistência mecânica. Notou-se que, embora ao aplicar teores menores, existe um acréscimo relevante na tenacidade do material, que é uma característica extremamente notável (CARNIO, 2017).

4.5 Fibras de polipropileno

O avanço do uso de polímeros no último século foi incentivado pela expansão da indústria petrolífera. Em relação às fibras de polipropileno, podem-se mencionar diversas obras onde se utilizaram as fibras agregadas ao concreto, diversas são as razões que explicam este fato. Do conceito técnico, podem-se apresentar a compatibilidade química, física e mecânica que existe entre a matriz cimentícia e as fibras de polipropileno, devido ao fato do polipropileno se apresentar quimicamente inerte, não absorvendo água, não enferrujando e sendo imputrescível. Logo, do conceito econômico a expansão do uso da fibra é explicada em virtude da mesma apresentar baixo custo e ser considerada altamente disponível. A resina produzida pelo polipropileno é considerada mais barata quando comparada aos outros polímeros, além do que, a técnica de confecção das fibras de polipropileno também é mais barata. Pode-se ser somada a este fato, a circunstância de que a sua manipulação, tanto na indústria como na obra, não causa nenhum risco à saúde dos trabalhadores (MEDEIROS, 2012).

As fibras poliméricas podem ser classificadas de acordo com a sua geometria em duas classes básicas: as microfibras e as macrofibras. A utilização das microfibras de polipropileno já é abundante no Brasil com a finalidade de auxiliar na redução de fissuras, contudo, as mesmas não possuem atribuição estrutural. À medida que as macrofibras de polipropileno são determinadas como fibras de função estrutural e disputam com as fibras de aço. O emprego das fibras de polipropileno como aplicação estrutural no Brasil ainda está em um estágio inicial, e seu comércio ainda se encontra reduzido, no entanto, na Europa e Estados Unidos a utilização desse material é amplamente disseminada (FIGUEIREDO, 2011; MEDEIROS, 2012).

Comercialmente, tais fibras podem se apresentar de duas maneiras: monofilamento e fibriladas. As fibriladas mostram-se formando uma malha de finos filamentos de segmento retangular, já as que possuem forma de monofilamento equivalem a fios divididos em comprimentos padronizados (CORÓ, 2002; FIGUEIREDO, 2011).

A macrofibra de polipropileno Stronger Iron SF (*Fiber Synthetic*) fabricada pela empresa Concrefiber Brasil Ltda apresenta forma composta por monofilamento com múltiplos filamentos, e compreende uma extensa variedade de aplicações e também diversas vantagens, dentre elas: maior durabilidade, mais resistência, fácil utilização, manuseio, e estocagem, redução de fissuras, praticidade e economia na mão de obra, redução de custos operacionais,

redução de custo quando comparado com as fibras de aço, entre outras. A seguir, na TAB. 1 são expostas algumas especificações técnicas da mesma (CONCREFIBER, 2018b).

Tabela 1 - Especificações técnicas da macrofibra Stronger Iron SF

Propriedades físicas	
Comprimento da fibra	48 e/ou 54 mm
Densidade	0,91
Propriedades mecânicas	
Resistência à tração	475 Mpa
Módulo de elasticidade	> 7,6 GPa

Fonte: CONCREFIBER (2018b).

Tais fibras também apresentam boa maleabilidade e resistência à alcalinidade, são de fácil dispersão com o concreto de cimento *Portland* e não danificam os equipamentos de mistura. Demonstram uma economia de até 50% em relação às telas metálicas e fibras de aço, melhorando também no quesito de ductilidade, resistência ao impacto e tenacidade do concreto. Logo, na TAB. 2 é apresentada uma referência para realizar o uso da Macrofibra Stronger Iron SF (CONCREFIBER, 2018b).

Tabela 2 - Guia de referência para o uso da macrofibra Stronger Iron SF

Espessura	Solução equivalente em tela de aço	Dosagem macrofibra
5cm	Tela Soldada Nervurada QG1 (15x15cm-03,4mm)	600g para cada 50kg de cimento
6cm	Tela Soldada Nervurada QG1 (15x15cm-03,4mm)	600g para cada 50kg de cimento
8cm	Tela Soldada Nervurada Q92 (15x15cm-04,2mm)	300g para cada 50kg de cimento
10cm	Tela Soldada Nervurada Q138 (10x10cm-04,2mm)	300g para cada 50kg de cimento
12cm	Tela Soldada Nervurada Q159 (10x10cm-04,5mm)	300g para cada 50kg de cimento

Fonte: Embalagem da macrofibra Stronger Iron SF.¹

4.6 Fibras de vidro

De todas as fibras que existem, as fibras de vidro são constantemente inseridas ao concreto com o intuito de auxiliá-lo, visto que, as mesmas exibem eficientes propriedades mecânicas (ONGHERO, 2017). Possui o custo relativamente baixo, elevada resistência aos esforços de tração, e ampla inércia química. No entanto, as mesmas também possuem

¹ Dados retirados da embalagem da macrofibra Stronger Iron SF.

algumas desvantagens, tais como ao inferior módulo de elasticidade e a baixa resistência à fadiga na ocasião em que é adicionada a matriz cimentícia. Também podem ser confeccionadas no estado de filamentos contínuos ou como na configuração de fibras picadas, ou seja, descontínuas (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Vaz (2015) aponta que devido aos álcalis existentes nos materiais de cimento atacar outros tipos de fibras de vidro, têm sido empregadas com êxito nas matrizes cimentícias as fibras de vidro AR (*álcali resistant*), pois estas são as que demonstram resistência em meios alcalinos.

A microfibras de vidro W170 fabricada pela empresa Concrefiber Brasil Ltda exibe configuração de monofilamento, é resistente à alcalinidade, apresenta alta dispersão em aplicações molhadas, longa vida e alto desempenho. Dentre os benefícios que a microfibras possui, podemos citar alguns: excelente ligação mecânica com o concreto, redução da retração plástica, oferta de reforço multi-dimensional e aumento da resistência ao impacto do concreto (CONCREFIBER, 2018a).

5 MATERIAIS E MÉTODO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o laboratório de Ciências da Terra, do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG, onde foram feitas diversas análises experimentais e ensaios técnicos a fim de avaliar os resultados obtidos. O presente trabalho trata-se da análise comparativa de resistência de peças em concreto com adição de fibras de vidro e de polipropileno em diferentes proporções.

Visando atingir os objetivos propostos, neste tópico encontram-se apresentados os materiais utilizados e os procedimentos metodológicos empregados, sendo os mesmos aplicados para determinar a consistência do concreto, através do ensaio de abatimento de tronco de cone ou *Slump Test*, de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998). E a resistência do mesmo, que ocorreu por meio do ensaio de resistência à compressão axial, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007) e do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011).

Foram confeccionados vinte e oito corpos de prova, sendo quatorze unidades destinadas para a realização do teste de resistência à compressão e as outras quatorze unidades remetidas ao teste de resistência à tração.

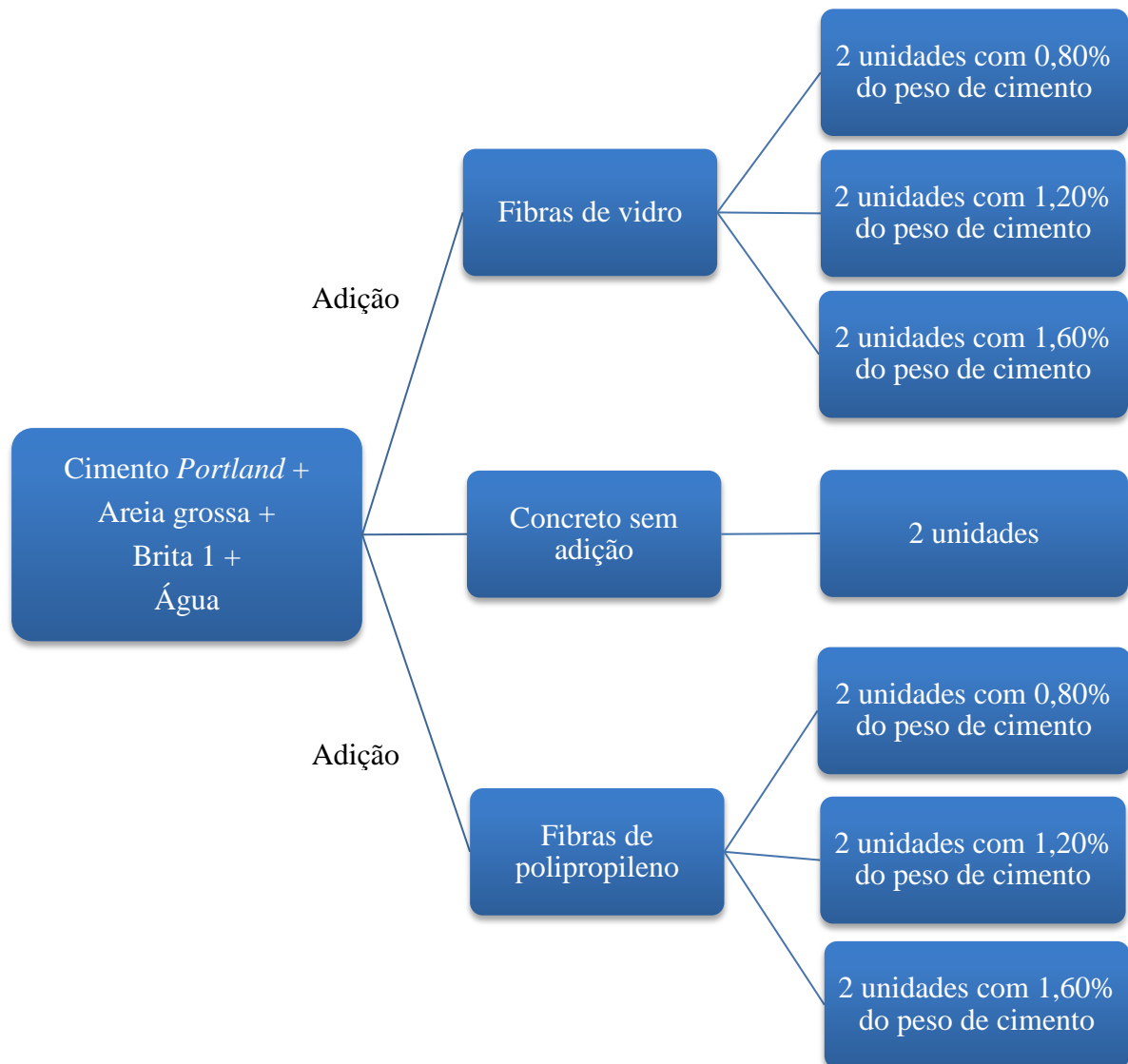
As adições feitas em cada grupo de quatorze corpos de prova foram distribuídas da seguinte maneira: dois corpos de prova sem nenhuma adição, seis corpos de prova com adições de fibras de vidro em três diferentes proporções e seis corpos de prova com adições de fibras de polipropileno também em três proporções distintas. Tais adições, empregadas em diferentes quantidades com o propósito de analisar a eventualidade de melhorias conferidas ao concreto.

Conforme princípio supracitado, a adoção das adições foi subdividida de três maneiras, sendo: uma dosagem recomendada pelo fabricante das fibras, uma dosagem superior e uma dosagem inferior à recomendada.

Constatando que foram moldados dois corpos de prova para cada adição com a intenção de realizar a média entre os dois, minimizando os erros obtidos por eventuais análises laboratoriais.

Para melhor entendimento e compreensão foi desenvolvido um fluxograma (FIG. 10), onde são apresentadas as subdivisões citadas anteriormente para cada grupo de quatorze corpos de prova executados.

Figura 10 - Fluxograma



Fonte: A autora (2018).

5.1 Materiais utilizados

Para a confecção dos corpos de prova foram empregados os seguintes materiais: cimento *Portland*, agregados miúdos e graúdos, água para amassamento, fibras de vidro e fibras de polipropileno, materiais os quais são expostos particularmente a seguir.

O concreto confeccionado fez o uso do cimento CP II E – 32, pois o mesmo é comumente utilizado na construção civil, em virtude da sua versatilidade e aplicação em todas as fases das obras. Essa categoria de cimento pode alcançar aos 28 dias de cura, uma classe de resistência de até 32 Mpa.

Os agregados miúdos e graúdos utilizados foram respectivamente, a areia grossa e a brita 1 de calcário. A água para amassamento foi obtida por meio do fornecimento pelo Sistema de Abastecimento e Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), do município de Formiga-MG. Sendo que tal insumo não apresentava nenhum tipo de contaminação que por ventura afetasse as reações químicas do concreto.

As adições empregadas no presente trabalho consistiram nas fibras de vidro e de polipropileno (FIG. 11), obtidas através da compra pela empresa Concrefiber Brasil Ltda, da cidade de Sorocaba-SP. As fibras citadas anteriormente foram obtidas pelo fabricante em quantidade suficientes para que os corpos de prova supracitados fossem executados.

Figura 11 - Fibras de vidro (a) e fibras de polipropileno (b) utilizadas no trabalho



Fonte: A autora (2018).

5.2 Dosagem do concreto

Para a produção do concreto o traço consistiu em uma proporção de 1:2:1:0,55 em volume, sendo os insumos respectivamente, cimento, areia, brita e relação água/cimento. Do traço mencionado para a elaboração do concreto, foram adicionadas ainda, as fibras de vidro e fibras de polipropileno em diferentes proporções, conforme exposto anteriormente.

Após a decisão da dosagem do concreto, foi calculada a quantidade de materiais gastos para a confecção dos vinte e oito corpos de prova. Inicialmente, foi preciso obter o volume de concreto necessário para preencher um corpo de prova, aplicando-se a Equação 3, fixada abaixo:

$$V = h \times \pi \times r^2 \quad (3)$$

Na qual:

V = volume do corpo de prova (dm^3);

h = altura do corpo de prova (dm); e

r = raio do corpo de prova (dm).

Dispondo do volume de concreto de um corpo de prova, tornou-se necessário utilizar a Equação 4, disposta abaixo, para determinar a quantidade gasta de todos os materiais, necessários para preparar o concreto que foi utilizado para preencher os corpos de prova executados. Reforçando que o valor de 0,55 refere-se ao fator água/cimento adotado.

$$C = \frac{V}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{2}{\rho_a} + \frac{1}{\rho_b} + 0,55} \quad (4)$$

Em que:

C = consumo de cimento (Kg);

V = volume de concreto (dm^3); e

ρ_c, ρ_a e ρ_b = massas específicas reais de cimento, areia e brita respectivamente (Kg/dm^3).

Logo depois, o valor encontrado foi multiplicado pelos valores determinados do traço, obtendo-se assim, a quantidade necessária de cada material.

Para se iniciar a produção do concreto, colocou-se o cimento em um recipiente com a finalidade de pesá-lo (FIG. 12a). A necessidade de se dispor desse valor exato de cimento empregado se deu pelo fato de que as fibras utilizadas foram adicionadas em função do peso de cimento, assinalando que as mesmas foram pesadas por meio de uma balança de precisão (FIG. 12b).

Figura 12 - Balanças utilizadas para pesar o cimento (a) e as fibras (b)



Fonte: A autora (2018).

Posteriormente, foi utilizado um recipiente limpo e impermeável para se realizar a mistura manual dos materiais, com o auxílio de uma espátula de aço (FIG. 13), onde inicialmente foram adicionados os agregados miúdos, o cimento e os agregados graúdos, e após homogeneização, foi inserida a água.

Figura 13 - Mistura de forma manual dos materiais



Fonte: A autora (2018).

O mesmo processo ocorreu na execução do concreto que recebeu a adição das fibras de vidro e de polipropileno. Conforme descrito acima, foram confeccionados vinte e oito corpos de prova em sua totalidade.

As fibras foram apenas adicionadas à massa cimentícia, não havendo nenhum tipo de substituição. Os insumos necessários para a composição do concreto, sendo o cimento *Portland*, agregados miúdos, agregados graúdos e água para amassamento, se mantiveram constantes. Apenas a porcentagem das adições das fibras que eram distintas, sendo: uma dosagem recomendada pelo fabricante, que equivale a 1,20% do peso do cimento utilizado, uma dosagem abaixo da indicada, definida como 0,80% do peso do cimento e por fim, uma dosagem acima da sugerida, apontada por 1,60% do peso do cimento.

5.3 Ensaio de abatimento de tronco de cone ou *Slump Test*

Com o intuito de analisar a consistência do concreto foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone ou *Slump Test*, executado conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), o mesmo consiste em um ensaio que faz o uso de um molde metálico possuindo formato de tronco de cone oco, apresentando diâmetro da base superior de 10 cm, diâmetro da base inferior de 20 cm e dispendo de uma altura de 30 cm (FIG. 14).

Figura 14 - Molde metálico utilizado para a realização do *Slump Test*



Fonte: A autora (2018).

O ensaio se iniciou posicionando o molde metálico com o diâmetro da base maior voltado para baixo sobre uma placa metálica. Em seguida, para manter o molde estável foi

preciso colocar os pés sobre as aletas do mesmo e logo após feito o preenchimento com 3 camadas de concreto, cada camada acompanhada por 25 golpes da haste de socamento distribuídos uniformemente.

Depois de concluída a operação, a placa metálica da base foi limpa e então retirada cautelosamente o molde, em seguida ocorreu o posicionamento ao lado do concreto para medir seu *slump*. Para determinar tal medida, foi colocada a haste sobre os centros do molde e do concreto, e com o auxílio de uma trena houve a verificação da medida da diferença entre a altura de ambos, obtendo-se assim, em mm, o abatimento do referido concreto.

5.4 Confeção e cura dos corpos de prova

Conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), para a confecção dos corpos de prova foram utilizados moldes de canos de PVC dispendo das seguintes dimensões: diâmetro da base de 10 cm e altura de 20 cm. Os moldes foram revestidos por uma fina camada de óleo mineral e posteriormente moldados com 2 camadas de concreto seguidas por 12 golpes manuais em cada uma das camadas pela haste de adensamento (FIG. 15).

Figura 15 - Adensamento manual do concreto



Fonte: A autora (2018).

Os moldes dos corpos de prova foram apoiados em uma superfície de madeira revestida por uma lona comum, para evitar que a madeira absorva a água do concreto. A placa de madeira possuía rigidez, era horizontal e inclusive livre de quaisquer outras perturbações

que pudessem alterar a forma e as propriedades do concreto em cada um dos corpos de prova ao longo de sua moldagem.

Finalizado o processo de moldagem, foram produzidos vinte e oito corpos de prova no total, onde os mesmos precisaram ser identificados através de etiquetas para que não fossem equivocados.

No decorrer das primeiras 24 horas os corpos de prova passaram por um período de cura inicial e permaneceram em temperatura ambiente em um local protegido de intempéries, após esse período foram desmoldados (FIG. 16) por meio do auxílio de uma lixadeira e submetidos à cura úmida em um tanque composto por água a uma temperatura de 23° C (FIG. 17), seguindo as indicações da NBR 9479 (ABNT, 2006). Os corpos de prova prosseguiram com a cura úmida até as 24 horas que antecederam ao dia do rompimento, o procedimento de cura totalizou uma quantia de 28 dias.

Figura 16 - Alguns corpos de prova que foram desmoldados pelo auxílio da lixadeira



Fonte: A autora (2018).

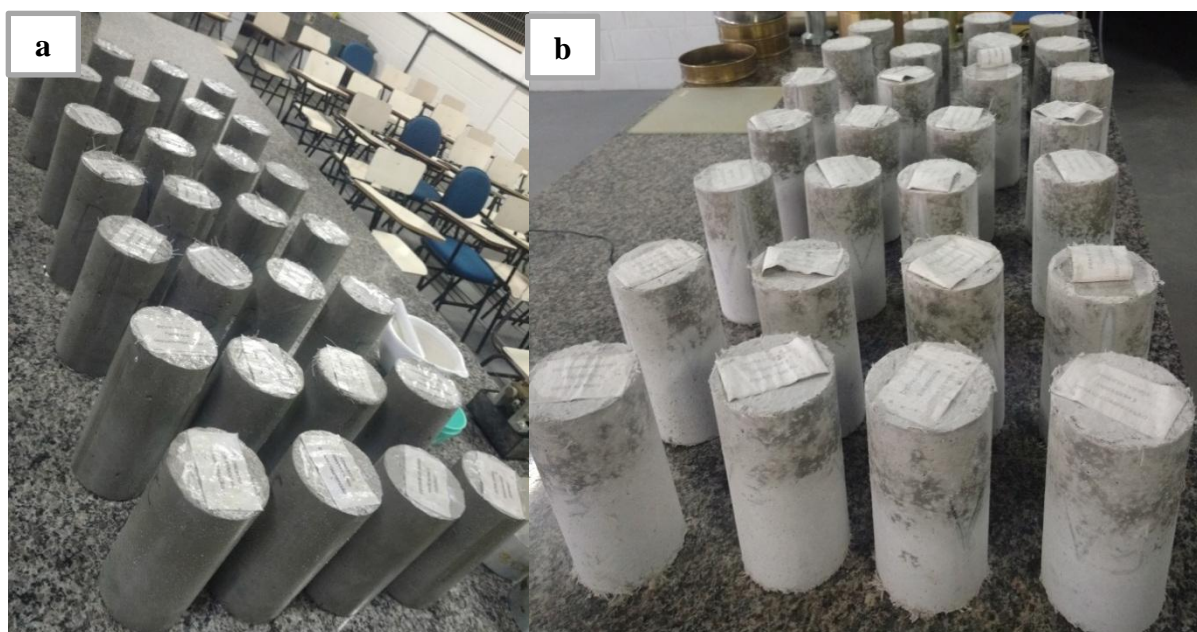
Figura 17 - Cura úmida dos corpos de prova



Fonte: A autora (2018).

Todos os corpos de prova foram retirados do tanque às 24 horas que precediam o dia da ruptura, conforme mencionado previamente, os mesmos ficaram reservados em temperatura ambiente para que pudessem ser ensaiados (FIG. 18).

Figura 18 - Corpos de prova 24 horas anteriores ao rompimento (a) e poucos minutos antes da ruptura (b)



Fonte: A autora (2018).

5.5 Ensaio de resistência à compressão axial

Para realizar o ensaio de resistência do concreto à compressão simples foi utilizada a máquina de ensaios WAW-1000 de sistema eletro-hidráulico (FIG. 19), fixada no laboratório de Ciências da Terra, do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG. Os corpos de prova foram rompidos na idade de 28 dias conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007), com a finalidade de encontrar a resistência absoluta de cada corpo de prova.

Antes de se realizar os ensaios, a prensa foi limpa com a finalidade de evitar quaisquer adulterações prejudiciais nos resultados dos testes de rompimento.

Figura 19 - Máquinas de ensaios

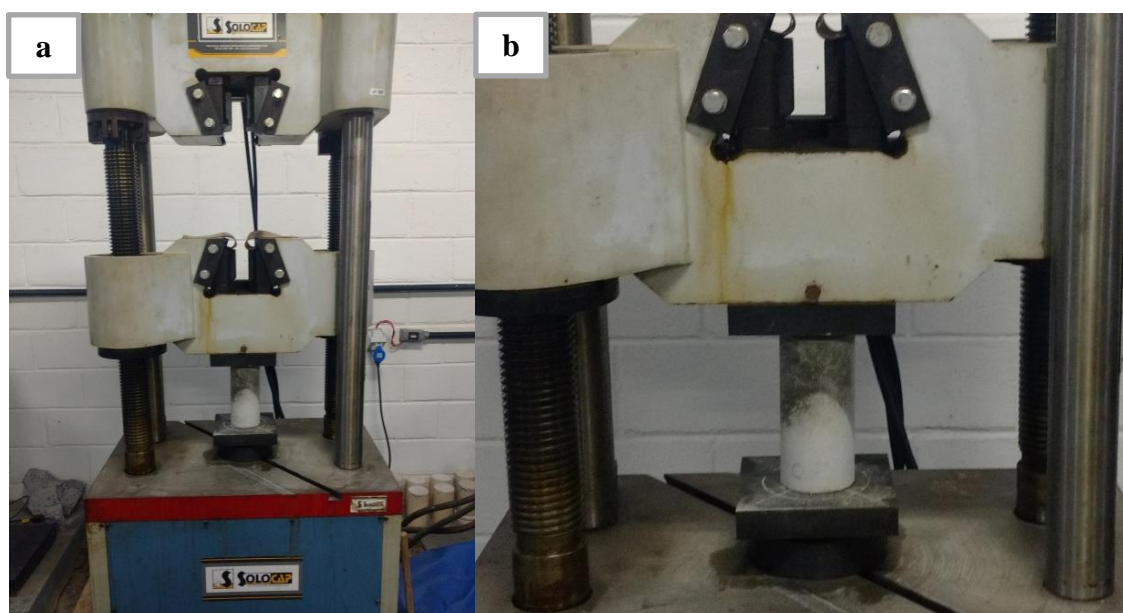


Fonte: A autora (2018).

Para se atingir um maior êxito no resultados dos ensaios de compressão, os corpos de prova foram individualmente dispostos ao centro da máquina de ensaios, tendo como auxílio o círculo com eixo central presente na base da máquina utilizada, facilitando assim a sincronia do eixo do corpo de prova com o eixo da máquina.

Ao se iniciar o procedimento de ruptura, o carregamento foi aplicado de maneira contínua e sem a existência de choques, que pudessem vir a alterar os resultados (FIG. 20).

Figura 20 - Ensaio de resistência à compressão axial simples (a) e detalhe da sincronia dos eixos (b)



Fonte: A autora (2018).

No final do procedimento, por meio de todos os resultados obtidos foi possível realizar o cálculo da resistência à compressão de todos os corpos de prova ensaiados, através da Equação 5:

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

Onde:

f_c = resistência à compressão (Mpa);

F = força máxima alcançada (N); e

D = diâmetro do corpo de prova (mm).

5.6 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Partindo dos mesmos princípios, o ensaio de resistência do concreto à tração por compressão diametral também foi efetuado no laboratório mencionado anteriormente, fazendo o uso da mesma prensa disposta no ensaio de resistência à compressão axial simples. O rompimento, do mesmo modo, ocorreu com os corpos de prova na idade de 28 dias.

De maneira particular, os corpos de prova foram postos na máquina de ensaios para se iniciar os testes de rompimento, em conformidade com a NBR 7222 (ABNT, 2011). Os

mesmos foram posicionados no sentido longitudinal de maneira com que os planos diametralmente opostos, que receberam o carregamento, coincidissem constantemente com o eixo de aplicação da carga (FIG. 21).

Figura 21 - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: A autora (2018).

Finalizado o ensaio de resistência e de posse dos resultados atingidos, utilizou-se a Equação 6 para calcular a resistência à tração por compressão diametral:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \times F}{\pi \times D \times l} \quad (6)$$

Em que:

$f_{ct,sp}$ = resistência à tração por compressão diametral (Mpa);

F = força máxima alcançada (N);

D = diâmetro do corpo de prova (mm);

l = comprimento do corpo de prova (mm).

5.7 Análise de resultados

Os resultados obtidos foram analisados por meio de gráficos e tabelas, alcançados através do *software Microsoft Excel*, os mesmos auxiliaram na interpretação dos valores atingidos para cada um dos corpos de prova ensaiados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos ensaios, foram exibidos e discutidos os resultados obtidos no estudo experimental. Os quais serão mostrados em sequência, sendo inicialmente o resultado do ensaio de abatimento de tronco de cone, os resultados do ensaio de resistência à compressão axial simples, e os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

6.1 *Slump Test*

Optou-se, neste trabalho, pela padronização do teor água/cimento nos corpos de prova analisados. Desta forma, o ensaio de abatimento de tronco de cone foi realizado e obtido o valor de 170 mm, valor este que se replicou em todas as dosagens e ensaios posteriores.

6.2 Resistência à compressão axial simples

A finalidade do ensaio consiste em encontrar a carga máxima de ruptura resistida por cada corpo de prova. Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial simples, executado nos quatorze corpos de prova, são exibidos na TAB. 3:

Tabela 3 - Resultados do ensaio de resistência à compressão

Adição	Nº de corpos de prova	Força máxima alcançada (N)	Porcentagem da adição	Resistência à compressão (Mpa)
Sem adição	1	128.012,84	0%	16,17
	2	125.989,69		
Fibras de polipropileno	3	106.964,31	0,80%	16,22
	4	147.777,45		
	5	133.401,42	1,20%	18,07
	6	150.403,66		
	7	150.384,20	1,60%	18,91
	8	146.649,16		
Fibras de vidro	9	146.493,53	0,80%	20,29
	10	172.171,97		
	11	155.288,39	1,20%	19,06
	12	144.083,26		
	13	165.694,00	1,60%	18,53
	14	125.367,18		

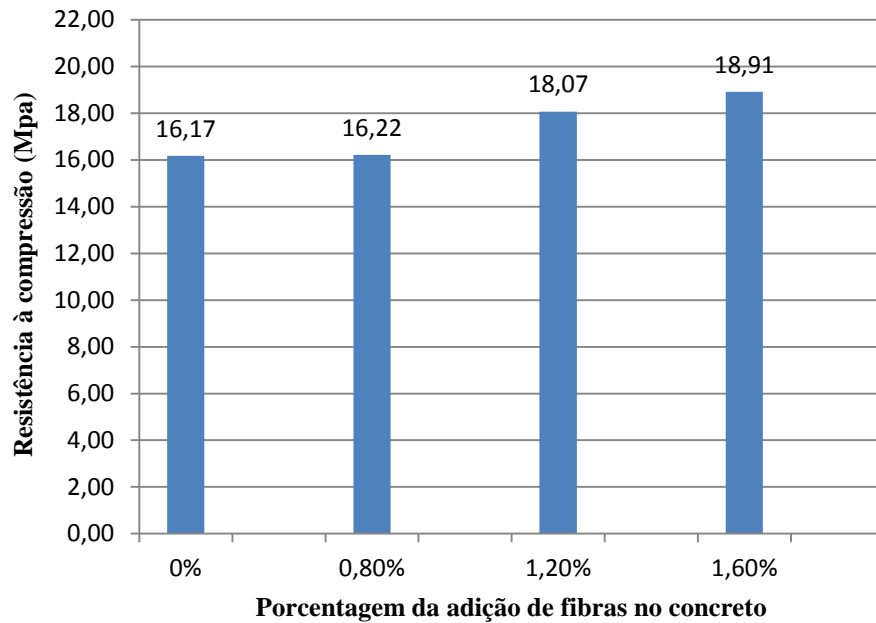
Fonte: A autora (2018).

Diante dos resultados apresentados, observa-se que todos os corpos de prova que dispunham da adição de fibras, tanto de polipropileno quanto de vidro, apresentaram resistência superior quando comparado à amostra de concreto sem nenhuma adição.

Devido às fibras trabalharem sempre na tração e apesar desses elementos em si não resistirem à compressão, foi possível verificar a influência no ganho de resistência em razão de às mesmas limitarem a deformação do concreto. Verifica-se que, à medida que o concreto tende a se expandir lateralmente, as fibras agem controlando tal deformação, e em virtude de atravessá-lo em todas as direções, passam a estabelecer pontes de ligação entre as partículas de concreto, explicando assim a ocorrência do aumento de resistência.

Em sequência, no GRAF. 1 é apresentado um comparativo dos valores de resistência obtidos para as amostras que continham adição de fibras de polipropileno.

Gráfico 1 - Comparativo de resistência à compressão para os corpos de prova com adição de fibras de polipropileno



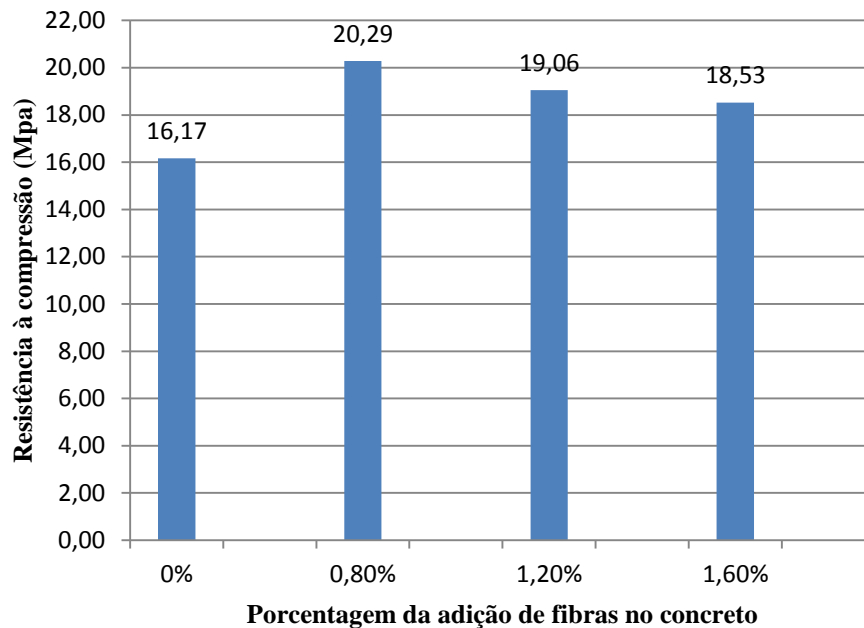
Fonte: A autora (2018).

Nas amostras de concreto com adição de fibras de polipropileno, percebe-se um aumento nos valores de resistência. Esse crescimento pode nos apontar que o teor de aditivo utilizado ainda não encontrou seu ponto de saturação, tal fato indica que as dosagens adotadas se encontram em uma fase crescente. É possível que, dosagens maiores resultem em valores superiores de resistência, porém tais valores irão aumentar até atingir determinado ponto, onde o valor resistido começará a diminuir gradativamente.

Onuki e Gasparetto (2013) também realizaram ensaios laboratoriais com as fibras de polipropileno e obtiveram resultados positivos em suas pesquisas. A adição das fibras proporcionou um concreto com maior desempenho e maior resistência quando comparado ao concreto convencional.

Logo, é possível observar a analogia feita através dos valores resistidos pelos corpos de prova com adição de fibras de vidro (GRAF. 2).

Gráfico 2 - Comparativo de resistência à compressão para os corpos de prova com adição de fibras de vidro



Fonte: A autora (2018).

Já nos corpos de prova com adição de fibras de vidro, foi possível notar uma queda nos valores de resistência entre as dosagens utilizadas, apontando que as mesmas se encontram em um estágio decrescente. Um fator que pode ter influenciado nos resultados é o inferior adensamento dos concretos com maiores porcentagens de fibras, que pode ter feito com que as fibras viessem a se condensar e aglomerar em alguns determinados pontos da massa cimentícia, ocasionando o decréscimo da resistência.

Porém, ao se comparar os resultados das amostras com adição entre o concreto convencional, pode-se apontar que, a incorporação das fibras veio a agregar nos resultados obtidos.

Vale apontar também que, durante a realização dos ensaios, percebeu-se que o concreto sem adição apresentou ruptura frágil, e com a inserção das fibras foi possível observar um comportamento aproximadamente dúctil, fato este que se explica devido às fibras exercerem tal interação com o concreto capaz de reduzir seu desempenho frágil.

6.3 Resistência à tração por compressão diametral

Pela razão de as fibras trabalharem na tração, almeja-se que o concreto que recebe seu reforço, incorpore tal característica influenciando nos valores de resistência. Na TAB. 4,

encontram-se os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova ensaiados.

Tabela 4 - Resultados do ensaio de resistência à tração

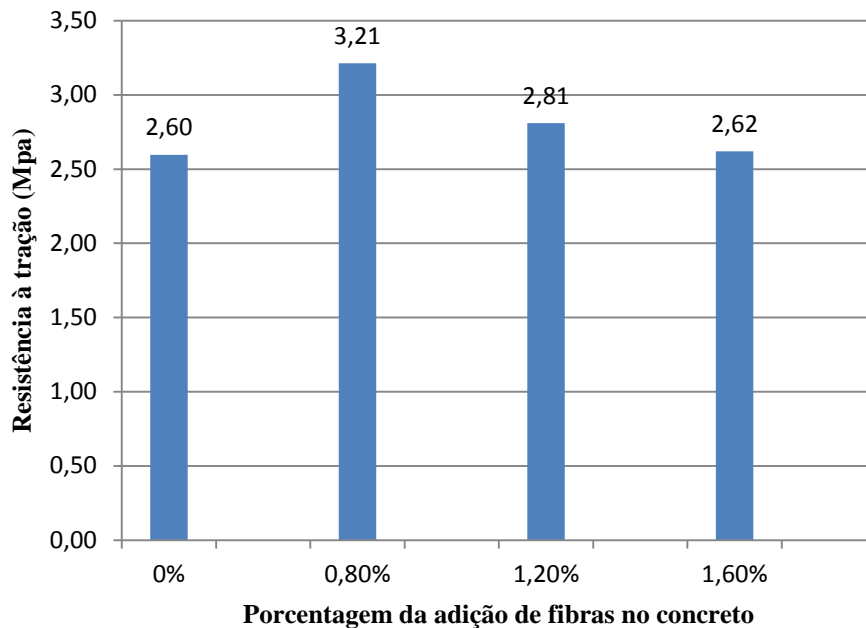
Adição	Nº de corpos de prova	Força máxima alcançada (N)	Porcentagem da adição	Resistência à tração (Mpa)
Sem adição	1	71.109,01	0%	2,60
	2	92.000,00		
	3	98.236,97		
	4	103.540,51		
Fibras de polipropileno	5	81.706,16	1,20%	2,81
	6	94.748,81		
	7	82.597,16		
	8	81.914,70		
Fibras de vidro	9	82.691,95	0,80%	2,88
	10	98.142,18		
	11	91.393,40	1,20%	2,86
	12	88.000,00		
	13	93.364,93	1,60%	2,88
	14	87.601,90		

Fonte: A autora (2018).

Comparando os resultados obtidos, verifica-se que houve um reduzido aumento na resistência à tração dos corpos de prova com adição de fibras se comparado à amostra sem adição, porém tal acréscimo não foi tão significativo conforme esperado.

No GRAF. 3, é exibida a relação da resistência à tração para as amostras que possuem a incorporação de fibras de polipropileno.

Gráfico 3 - Comparativo de resistência à tração para os corpos de prova com adição de fibras de polipropileno

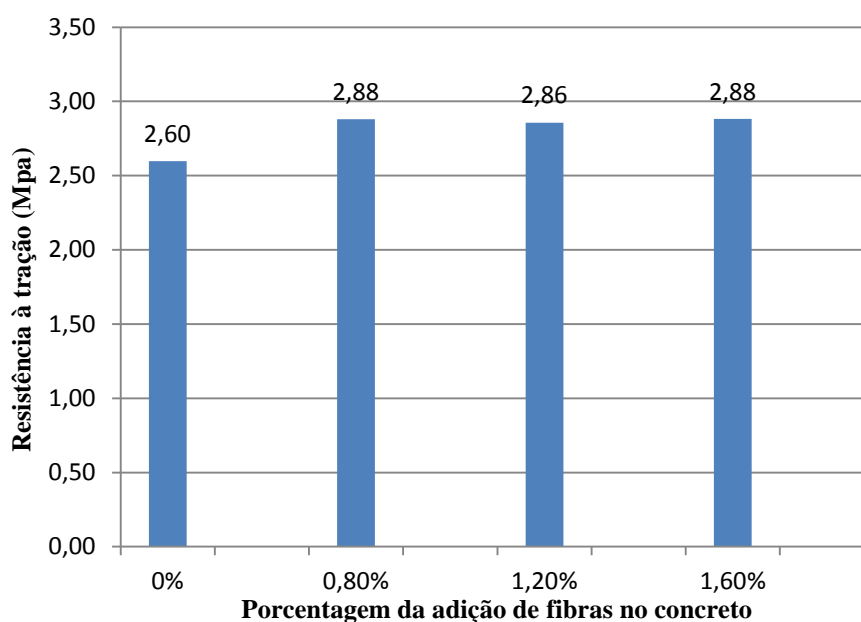


Fonte: A autora (2018).

Os resultados obtidos das amostras que continham a adição de fibras de polipropileno nos mostrou um decréscimo nos valores de resistência à tração. Essa ação pode ser explicada devido às dosagens adotadas, à medida que se aumentava a quantidade de fibras ocorria a queda da resistência. Tal efeito nos indica que é necessário adicionar até determinada quantidade de fibras, à medida que esse valor é superado não é possível gerar pontes entre as partículas de concreto, devido ao excesso de materiais fibrosos, que sozinhos não trazem tal benefício, os mesmos precisam estar ancorados nas partes de concreto.

Dessa forma, o gráfico seguinte traz o comparativo de resistência para os corpos de prova com acréscimo de fibras de vidro (GRAF. 4).

Gráfico 4 - Comparativo de resistência à tração para os corpos de prova com adição de fibras de vidro



Fonte: A autora (2018).

A resistência à tração para os corpos de prova com adição de fibras de vidro muito se assemelhou com a resistência obtida pelo corpo de prova convencional. Notou-se que, houve uma estabilidade entre as amostras que continham adição de fibras, ou seja, não ocorreu nenhum acréscimo ou decréscimo devido ao intervalo de porcentagem analisado não ter sido suficiente para gerar alguma alteração significativa.

Onghero (2017) realizou ensaios de resistência à tração no concreto reforçado com fibras de vidro, e o mesmo em sua pesquisa mencionou que, a incorporação das fibras influencia nas propriedades mecânicas, porém é preciso estudar melhor a quantidade de fibras a ser incorporada, uma vez que altos teores do material fibroso pode causar uma perda na eficiência mecânica.

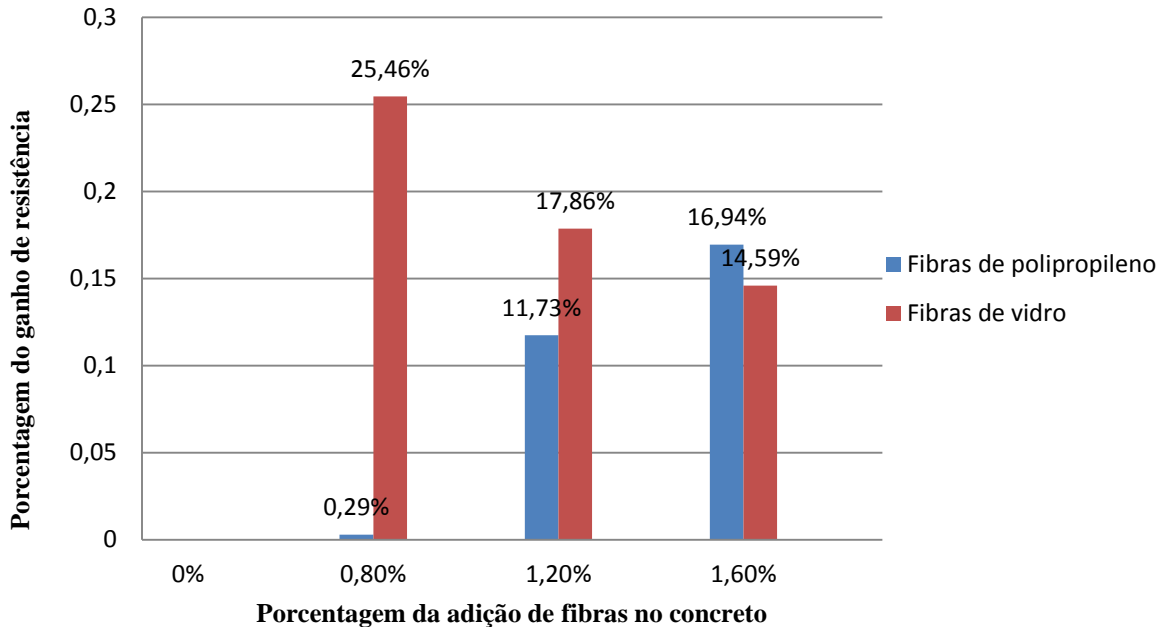
Nos ensaios de tração também foi possível perceber a ruptura relativamente dúctil nos corpos de prova com adição de fibras, principalmente nas amostras que continham fibras de polipropileno. Conseqüentemente pela razão das mesmas se demonstrarem mais extensas e amplas quando comparadas às fibras de vidro.

6.4 Comparações do ganho de resistência nos ensaios de compressão e tração

Por meio dos resultados obtidos, foi possível gerar dois gráficos comparativos, onde se observou a porcentagem do ganho de resistência em cada teor de adição de fibra, comparada à

amostra de concreto sem adição. Inicialmente, é apresentada a analogia feita pelo ensaio de resistência à compressão axial simples (GRAF. 5).

Gráfico 5 - Comparativo da porcentagem do ganho de resistência do ensaio de compressão



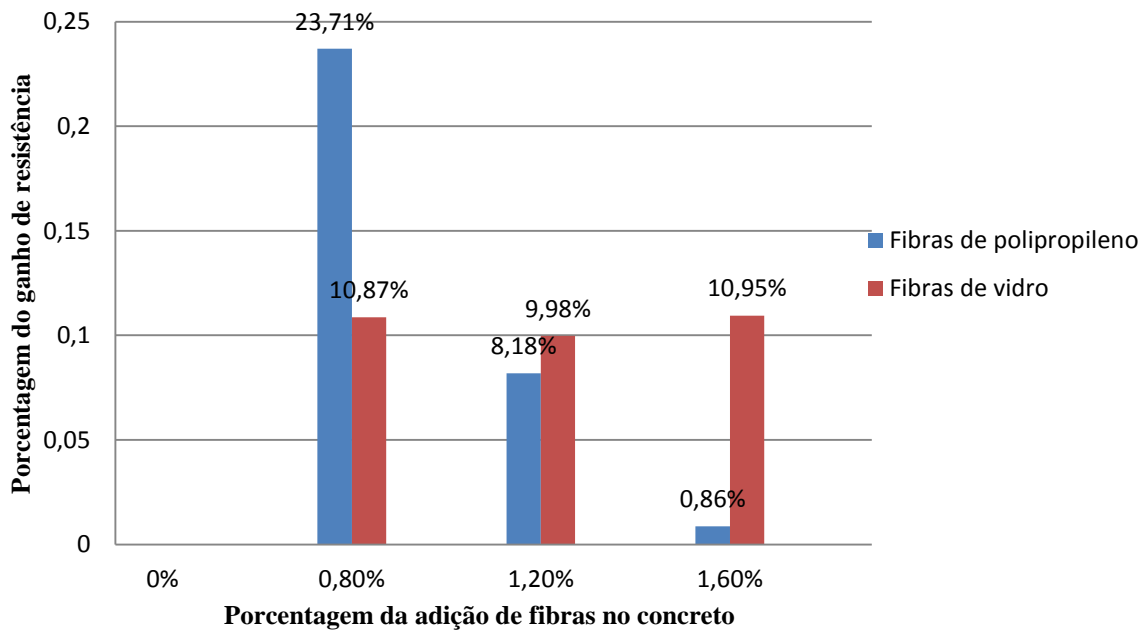
Fonte: A autora (2018).

Observando o gráfico acima, nota-se que, as fibras de vidro tiveram uma maior porcentagem de ganho de resistência quando comparadas às fibras de polipropileno. Evidenciando a dosagem que continha 0,80% de adição de fibra de vidro, que apresentou maior porcentagem de ganho.

Diante desta comparação, pode-se notar que apesar deste não ser o objetivo principal das fibras, as mesmas aumentaram a resistência à compressão do concreto em uma porcentagem máxima de 25,46% neste estudo. Ocorrência esta que, se relaciona ao fato das fibras trabalharem como pontes de transferência de tensões através das fissuras, estas concebidas por ações de tração ou de cisalhamento, como acontece no ensaio de compressão axial.

A adição das fibras ocasionou o aumento da ductilidade do concreto, propriedade esta que veio a explicar e promover o aumento da resistência. Já no GRAF. 6, é apresentada a confrontação do ensaio de resistência à tração por compressão diametral:

Gráfico 6 - Comparativo da porcentagem do ganho de resistência do ensaio de tração



Fonte: A autora (2018).

Logo, verificando o GRAF. 6 do ensaio de tração, pode-se observar que, ao realizar a média aritmética simples dos valores obtidos, a porcentagem que obteve maior ganho de resistência foi a que continha adição de fibras de polipropileno. E neste ensaio também, a dosagem que continha 0,80% de adição se destacou, porém ao contrário do ensaio de compressão, evidenciou-se a fibra de polipropileno, com porcentagem máxima de ganho de resistência no valor de 23,71%, alcançando maior ganho dentre as demais.

As amostras que dispunham da fibra de vidro se mantiveram numa classe um tanto quanto constante de variação.

No ensaio diametral, os ganhos de resistência foram inferiores quando comparados ao ensaio axial. No entanto, ocorreu o ganho de resistência devido às fibras auxiliarem no fenômeno da fissuração e na tenacidade do material. Visto que, o concreto convencional vem a se romper de maneira imediata após a ocorrência da primeira fissura, já o concreto que possui a adição das fibras após alcançar a tensão máxima suportada, ainda resiste a tensões e deformações produzidas posteriormente.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos constatou-se que as fibras, tanto as de vidro quanto as de polipropileno, demonstraram melhor desempenho nos ensaios de compressão axial simples, apresentando um aumento de maior relevância nos valores de resistência. Observa-se que, no momento em que o corpo de prova recebe o carregamento, o mesmo tende a se deformar no sentido de maior comprimento. E devido às fibras se mostrarem relativamente extensas, certamente na compressão alcançaram um espaço preferível para serem efetivamente tracionadas. Enquanto que, no ensaio de tração, por ser um ensaio muito curto, observa-se que não houve a possibilidade para as fibras serem integralmente ativadas.

O acréscimo de resistência nos ensaios de tração por compressão diametral não foram tão significativos conforme previsto, fato este que, pode ter ocorrido devido ao exposto supracitado. Porém, pode-se destacar como ponto positivo a circunstância de que, nenhum dos corpos de provas que continham adição de fibras apresentou resistência inferior à amostra de concreto sem nenhuma adição.

A dosagem que se destacou no ensaio de resistência à compressão foi a que fez o uso da fibra de vidro com teor de 0,80% de adição, pois se pode perceber que, a dosagem abaixo da recomendada pelo fabricante foi a que teve maior resistência, sobressaindo inclusive, o valor resistido pelas fibras de polipropileno. No ensaio de compressão, pode-se observar que, com esse percentual de adição houve um ganho de resistência de 25,46%. Logo, no ensaio de resistência à tração a fibra de maior relevância foi a de polipropileno, também com a taxa de 0,80% de adição, a mesma apresentou maior resistência dentre as demais amostras, devido a este fato verifica-se um ganho de 23,71% de resistência. Observa-se também que, nem sempre a dosagem sugerida pelo fabricante do material é que possui melhor desempenho.

Outro fato capaz de ser verificado foi que o concreto que continha adição de fibras apresentou ruptura moderadamente dúctil, assim as fibras agiram no concreto diminuindo seu comportamento frágil. Episódio este que, demonstra extraordinária relevância em uma obra, pois uma peça de concreto com adição desse material, se por ventura entrando em ruptura, provavelmente informaria antecipadamente ao usuário. Oferecendo um maior tempo para o deslocamento de indivíduos e de qual comportamento tomar para resolver a adversidade.

Assim, o emprego desse material como adição ao concreto convencional mostrou-se com resultados suficientemente positivos, pois proporciona um melhor comportamento para as peças em concreto, atua na tenacidade do material, possibilita o aumento da resistência e age influenciando também na sua capacidade de deformação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. C. **Concreto**: Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV– Concreto armado. 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 3 ed. v. 1. Rio Grande: Dunas, 2010, 257 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
- _____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
- _____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.
- _____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.
- _____. **NBR 9479**: Argamassa e concreto – Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2006. 2 p.
- _____. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.
- BASTOS, P. S. S. **Análise experimental de dormentes de concreto protendido reforçados com fibras de aço**. 1999. 270 p. Tese (Doutorado) – Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- _____. **Fundamentos do concreto armado**. 2006. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43189267/FUNDAMENTOS_Concreto.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1522459499&Signature=ROOuWDTwjTg0XNKrsJaRvQ5KvEw%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DUNIVERSIDADE_ESTADUAL_PAULISTA_UNE_SP_-Ca.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2018.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Revisada Rio de Janeiro: LTC, 2011. 488 p.
- CARNIO, M. A. Aspectos gerais sobre o uso do concreto reforçado com fibras no Brasil: produção, projeto, tecnologia, normalização. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo-SP, v. 87, jul/set., 2017. Trimestral. Disponível em: <http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista87.pdf>. Acesso em: 08 abril 2018.
- _____. **Propagação de trinca por fadiga do concreto reforçado com baixos teores de fibras**. 2009. 217 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.

CONCREFIBER Fibras estruturais e reforços para concreto. **Fibra de vidro W170**. Disponível em: <http://www.concrefiber.com.br/produtos/20/fibra_de_vidro_w170>. Acesso em: 20 abril 2018a.

CONCREFIBER Fibras estruturais e reforços para concreto. **Macrofibra Stronger Iron**. Disponível em: <http://www.concrefiber.com.br/produtos/5/macrofibra_stronger_iron>. Acesso em: 20 abril 2018b.

CORÓ, A. G. **Investigação das propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibras pet**. 2002. 43 p. Monografia - Curso de Engenharia Civil do Departamento de Tecnologia da UNIJUI - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2002.

DURAN, A. P.; FRACARO, D. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagens de 30kg**. 2011. 64 p. Monografia - Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UFTPR, Campus Curitiba, Curitiba, 2011.

FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras. In: ISAIA, G.C. (Coord.). **Concreto: Ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011. 2v. Seção VII. cap. 37, p. 1-36.

_____. Personalidade entrevistada: Antônio Domingues de Figueiredo. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo-SP, v. 87, jul/set., 2017. Trimestral. Disponível em: <http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista87.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2018.

FRANÇA, V. H. **Aderência aço-concreto – uma análise o comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha**. 2004. 128 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1. ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 2008. 179 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo-SP, v. 87, jul/set., 2017. Trimestral. Disponível em: <http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista87.pdf>. Acesso em: 20 abril 2018.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Coord.) **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v. cap. 27, p. 905-944.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.** 1. ed. São Paulo: Edgard Bluncher, 2006. 313 p.

LA FUENTE, A. et al. Projeto de segmentos para obras de túneis com tuneladora utilizando concreto com fibras. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo-SP, v. 88, out/dez., 2017. Trimestral. Disponível em: <http://ibracon.org.br/site_revista/concreto_construcoes/pdfs/revista88.pdf>. Acesso em: 08 abril 2018.

MEDEIROS, A. **Estudo do comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras.** 2012. 201 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Técnico Científico da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Microestrutura do concreto. In: _____. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008. 3 ed. cap. 2, p. 21-48.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 912 p.

_____. **Tecnologia do Concreto.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 441 p.

ONGHERO, L. **Combate à retração e fissuração em concretos de alto desempenho reforçados com microfibras de vidro.** 2017. 143 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

ONOUYE, B.; KANE, K. **Estática e resistência dos materiais para arquitetura e construção de edificações.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

ONUKE, M. A. F.; GASPARETTO, P. A. **Comparativo das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de polipropileno.** 2013. 87 p. Monografia - Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UFTPR, Campus Curitiba-Paraná, Curitiba, 2013.

PELISSER, F. **Avaliação do desempenho de concreto reforçado com fibras de polietileno tereftalato (PET).** 2002. 112 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13. ed. São Paulo: Globo, 1998. 307 p.

PINHEIRO, L. M. et al. **Estruturas de concreto.** 2010. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/01%20Introducao.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto**. 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em: 12 abril 2018.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG; Escola de Engenharia da UFMG, 2011. 112 p.

ROCHA, A. M. **Novo curso prático de concreto armado**: Prática de dimensionamento do concreto armado de acordo com o CEB e a norma NB-1 de 1975. Volume extra. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1975. 270 p.

SARZALEJO, A. G. et al. **Fibras como elemento estrutural para reforço de concreto**: manual técnico. Jundiaí: Maccaferri, 2009.

SILVA, G. J. B. **Estudo do comportamento do concreto de cimento *Portland* produzido com a adição do resíduo de polimento do porcelanato**. 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2005.

VASCONCELOS, R. E. **Fratura do concreto reforçado com fibras de aço e de polipropileno em meios normal e agressivo**. 2012. 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, Campinas, 2012.

VAZ, V. V. **Pavimento intertravado de concreto reforçado com fibras de vidro**. 2015. 105 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2015.