

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**RITA DE CÁSSIA DA COSTA SILVA
SARA GRASIELE PEREIRA CARDOSO**

**ESTUDO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE
VIDRO**

ANÁPOLIS / GO

2018

**RITA DE CÁSSIA DA COSTA SILVA
SARA GRASIELE PEREIRA CARDOSO**

**ESTUDO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE
VIDRO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: ISA LORENA SILVA BARBOSA

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, RITA DE CÁSSIA DA COSTA/ CARDOSO, SARA GRASIELE PEREIRA

Estudo do Concreto Reforçado com Fibras de Vidro

59P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1. Concreto com Fibras | 2. Reforço Estrutural |
| 3. Recuperação de Estruturas | 4. Patologias |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Rita de Cássia da Costa; CARDOSO, Sara Grasielle Pereira. Estudo do concreto reforçado com fibras de vidro. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 59p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Rita de Cássia da Costa Silva

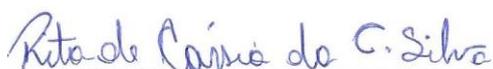
Sara Grasielle Pereira Cardoso

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do concreto reforçado com fibras de vidro

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

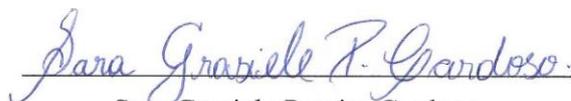
ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Rita de Cássia da Costa Silva

E-mail: ritadecassidacostasilva@hotmail.com



Sara Grasielle Pereira Cardoso

E-mail: sara_grasielle@hotmail.com

**RITA DE CÁSSIA DA COSTA SILVA
SARA GRASIELE PEREIRA CARDOSO**

**ESTUDO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE
VIDRO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

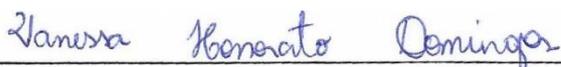
APROVADO POR:



**ISA LORENA SILVA BARBOSA, Mestra em Eng Civil (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**



**KÍRIA NERY ALVES DO ESPÍRITO SANTO GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**VANESSA HONORATO DOMINGOS, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 08 DE JUNHO DE 2018.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente toda honra e toda glória seja para Deus por me permitir concretizar esse sonho. Deus me sustentou ao longo desses 5 anos e continua sustentando. Agradeço também aos meus familiares por todo apoio, toda força diariamente depositada. Agradeço a minha orientadora Isa Lorena por toda paciência e dedicação e a todos os professores envolvidos. Chegar ao final de uma fase demanda tempo trabalho e dedicação se não fosse as pessoas que Deus colocou no meu caminho nada disso seria possível.

Sara Grasielle Pereira Cardoso

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a glória de chegar até aqui e sempre ter me abençoado durante as minhas conquistas. E a Nossa Senhora por ter intercedido e abençoado no decorrer dessa trajetória. Aos meus pais, por serem o meu alicerce, não me deixando nunca desistir dos meus objetivos.

Agradeço por terem me ensinado que a maior riqueza de uma pessoa são os estudos, e me ensinarem que o caráter é essencial em todos os ângulos da vida. Agradeço aos docentes da universidade por me darem o conhecimento necessário para a realização do estudo, em especial a minha orientadora Isa Lorena e a professora Wanessa Godoi que nos ajudou nos ensaios realizados.

Rita de Cássia da Costa Silva

RESUMO

Esse trabalho busca aprimorar os conhecimentos de uso de materiais na construção civil. Há infinitudes de materiais ainda não estudados e não utilizados que podem trazer inúmeros benefícios. A importância do estudo da fibra de vidro com experimentos em laboratório permite observar o comportamento do material dentro do concreto convencional. É feito um estudo da influência da fibra, apresentando a moldagem, confecção e verificação dos resultados, comparando o mesmo com um traço de referência sem adição de fibras. No total são 4 traços para o plano experimental. O concreto utilizado para fabricação dos corpos de prova tem uma resistência à compressão de 25MPa, totalizando 32 corpos de prova cilíndricos. Os resultados foram obtidos através da realização dos seguintes ensaios: compressão axial, slump test, compressão diametral e apresentados em forma de gráficos e planilha para uma melhor visualização. Com os quais observa-se que a fibra reduz a trabalhabilidade do concreto sendo necessário a adição de aditivos plastificantes e também a mesma não é recomendada para reforço de estruturas, porém pode-se aplicar com intuito de redução de patologias do concreto como fissurações.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras de vidro; Concreto; Compósitos; Trabalhabilidade; Dosagem.

ABSTRACT

This work seeks to improve the knowledge of the use of materials in civil construction. There are infinities of materials not yet studied and not used, that can bring countless benefits. The importance of the study of glass fiber with labor-intensive scales allows us to observe the behavior of the material inside conventional concrete. A study of the influence of the fiber is done, presenting the molding, confection and verification of the results, comparing the same with a reference trait without addition of fibers. In total there are 4 traces to the experimental plane. The concrete used to manufacture the specimens has a compressive strength of 25MPa, totaling 32 cylindrical specimens. The results were obtained by performing the following tests: axial compression, slump test, diametrical compression, and presented in the form of graphs and spreadsheet for a better visualization, with which we observe that the fiber significantly reduces the workability of the concrete, being necessary addition of plasticiser additives, and it was also concluded that it is not recommended for reinforcement of structures, but can be applied in order to reduce concrete pathologies as fissures.

KEYWORDS: Glass Fibers; Concrete; Composites; Workability; Dosage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interação Fibra x Matriz.....	24
Figura 2– Laboratório Centro Tecnológico	28
Figura 3 - Fluxograma do programa experimental.....	29
Figura 4: Confecção dos corpos de prova com fibras de vidro	30
Figura 5: Confecção dos corpos de prova sem fibras.....	30
Figura 6- Separação dos materiais.....	34
Figura 7- Fibras de vidro	35
Figura 8- Pesagem aditivo plastificante	35
Figura 9- Confecção do traço base	36
Figura 10 – Adição do cimento Portland.....	36
Figura 11 – Adição do agregado miúdo	37
Figura 12 – Acréscimo da água	37
Figura 13 - Betoneira utilizada	38
Figura 14 – Adicionando os materiais constituintes.....	38
Figura 15 – Colocação das fibras de vidro	39
Figura 16- Câmara úmida.....	39
Figura 17 - Dimensões tronco de cone e haste	40
Figura 18– Preenchimento do molde e compactação com a haste metálica.....	41
Figura 19– Desmolde do corpo de concreto.....	41
Figura 20 - Ensaio de compressão axial	42
Figura 21– Ensaio de ruptura a tração por compressão diametral.....	43
Figura 22- Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado.....	44

LISTA DE QUADROS

Gráfico 1– Gráfico de comparação para ensaio de compressão axial	46
Gráfico 2– Gráfico de comparação para ensaio de compressão diametral.....	48

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Composição química básica da fibra de vidro tipo E:.....	23
Tabela 2 – Propriedades das Fibras e da Matriz.....	25
Tabela 3– Especificações da fibra utilizada	33
Tabela 4 – Resultados do ensaio de compressão axial	45
Tabela 5 – Resultados do ensaio de tração por compressão diametral.....	47

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland,
ABESC	Associação Brasileira de Serviços de Concretagem,
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas,
CCV	Concreto convencional,
CP	Corpo-de-prova,
NBR	Norma Brasileira,
SCC	Self Compacting Concrete,
A/C	Relação água - cimento,
CRF	Concreto Reforçado com Fibra,
FCK	Resistência Característica do Concreto aos 28 dias,
γ_a	Massa Específica Aparente,
γ_r	Massa Específica Real,
N/m ²	Unidade de Medida Newton por metro quadrado,
Pa	Unidade de Medida Pascal,
MPa	Unidade de medida Mega Pascal,
FCJ	Resistência de dosagem aos 28 dias,
Sd	Desvio Padrão do Concreto,
Ab	Abatimento,
H ₂ O	Água,
CH ₂ O	Consumo de Água,
Cc	Consumo de Cimento,
Cb	Consumo do Agregado Graúdo,
Ca	Consumo do Agregado Miúdo,
MF	Módulo de Finura,
$\emptyset_{\text{máx}}$	Diâmetro Máximo do Agregado Graúdo,
Tb	Teor da Brita,
γ	Peso específico,
Va	Volume da Areia,
Tm	Traço em Massa,
Iméd	Inchamento Médio do Agregado Miúdo,
V	Volume,
FT	Fator de Tenacidade ou Resistência Equivalente.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 METODOLOGIA	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	19
2.1 CONCRETO	19
2.1.1 Cimento Portland.....	19
2.1.2 Agregados	20
2.1.3 Água.....	21
2.2 FIBRAS DE VIDRO	21
2.2.1 Histórico.....	21
2.2.2 Definição	22
2.2.3 Vantagens e desvantagens das fibras vidro	22
2.2.4 Aplicação das fibras de vidro	23
2.3 A MATRIZ DE CONCRETO.....	23
2.4 INTERAÇÃO FIBRA X MATRIZ.....	24
2.5 O EFEITO DO TEOR DAS FIBRAS	25
3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.....	26
3.1 FATOR DE FORMA	26
3.2 TRABALHABILIDADE E MISTURA	26
3.3 FADIGA E ESFORÇOS DINÂMICOS.....	26
3.4 DUCTILIDADE.....	27
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	28
4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	28
4.2 MÉTODO DE DOSAGEM PARA CONCRETO.....	31
4.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	31
4.4 ESCOLHA DOS MATERIAIS	32
4.4.1 Agregado miúdo	32
4.4.2 Cimento Portland.....	32
4.4.3 Agregado graúdo.....	32

4.4.4 Água.....	32
4.4.5 Fibras de vidro	32
4.4.6 Aditivo SIKA plastificante	33
4.5 ESCRITA DO TRAÇO	34
4.6 SEPARAÇÃO E PESAGEM DOS MATERIAIS	34
4.7 CONFECÇÃO DOS TRAÇO BASE SEM FIBRAS.....	36
4.8 CONFECÇÃO DOS TRAÇOS COM FIBRAS DE VIDRO.....	37
4.8.1 Câmara úmida.....	39
4.9 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	40
4.10ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	42
4.11ENSAIO DE RUPTURA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	42
5 RESULTADOS	44
5.1 SLUMP TEST	44
5.2 COMPRESSÃO AXIAL	45
5.3 TRAÇÃO.....	47
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A – Cálculo do traço do concreto pelo método da ABCP	53
APÊNDICE B – Cálculo detalhado do traço do concreto de 25 MPa pelo método da ABCP.	56
APÊNDICE C –Consumo de materiais de acordo com o volume do corpo de prova (8 corpos de prova cilíndricos)	58

1 INTRODUÇÃO

É da natureza do homem buscar sempre a melhor qualidade de vida. Tem-se a necessidade de cada vez mais melhorar em todos os aspectos, seja para vestimenta, moradia, etc. A procura de um melhor lugar para se viver ocorre desde as primeiras civilizações. O homem busca expor seus conhecimentos e unir gerando estruturas cada vez mais resistentes e duráveis, como vantagem, tem-se a facilidade de acesso aos materiais, sendo prontamente encontrado na natureza.

Vigorou no século XX a aplicação do material mais utilizado para estruturas : concreto armado. Desde então foram criadas técnicas construtivas revolucionárias, tornando possível alcançar grandes inovações como: executar estruturas cada vez mais esbeltas, devido à versatilidade do concreto, vencer grandes vãos ,etc. Porém, não davam atenção necessária a alguns problemas desconhecidos ou simplesmente desprezavam. Devido a isso se fazia necessário futuramente um reforço da estrutura executada, realizando reparos nas estruturas devido a infinitos fatores. Podem-se citar alguns: falhas de projeto, erros de construção, falta de manutenção adequada e, mudança do uso para o qual as estruturas foram projetadas (PEDROSO,2009).

Atualmente há diversas maneiras de reforçar uma estrutura, porém seu desempenho depende da forma e do carregamento (BEBER, 2003). Os materiais compósitos podem resolver uma série de problemas dentro da área de redução de patologias do concreto (BEBER, 1999).

Citado por Mehta e Monteiro (2008), quando há junção de dois materiais obtém-se um melhor resultado para determinado objetivo, devido cada um está contribuindo com suas características. Quando a fibra é adicionada ao concreto é gerado uma matriz que protege a fibra que é o próprio concreto, está junção passa a ser chamada de compósitos. Concreto com fibras é um tipo de compósito.

Quando um material é de forma fibrosa, ele contém excelente resistência à tração, é utilizado atualmente na engenharia agregando a fibra em uma matriz de concreto,que envolve e protege a fibra e se deforma quando submetido a uma força, na qual a mesma distribui a tensão, impedindo que ocorra a distribuição de falhas (SCHWARTZ,1984). A eficácia da fibra, é explicada como uma ligação de transferência de tensão na fissura concreto, é de grande importância saber as características da mesma (FIGUEIREDO,2011).

As fibras utilizadas na fabricação de compósitos devem apresentar as seguintes características: elevado módulo de elasticidade e resistência, e pouca variação da resistência

entre as fibras individuais, estabilidade e capacidade de manter suas propriedades ao longo do processo de fabricação e manuseio, uniformidade de seus diâmetros e superfícies (HOLLAWAY, 1993).

O concreto convencional sem adição de fibras vai romper de repente, assim que atingir a resistência á flexão última. Já o concreto que tem reforço com fibras suporta cargas admissíveis mesmo após a deflexão de ruptura. A primeira utilização de fibras no concreto para reforço estrutural foi em 1971, para criar painéis de 3250mm² e 65mm de espessura. Os painéis foram colocados na garagem de um estacionamento em um aeroporto em Londres (MEHTA e MONTEIRO ,2008).

1.1 JUSTIFICATIVA

Buscar novos conhecimentos na utilização de materiais na construção civil é de grande relevância, estudos e ensaios devem ser realizados com intuito de buscar novos resultados, alcançando objetivos até então desconhecidos com simples adição de um compósito. No Brasil há carência de estudos aprofundados para uso da fibra de vidro, que até no presente momento não há normas específicas padronizadas para tal aplicação, o que acaba por gerar uma infinidade de resultados.

A quantidade de fibras a ser inseridas, vai atingir em todos os aspectos do concreto. Fibras em excesso por exemplo gera diminuição da trabalhabilidade. Deve-se buscar utilizar o material de forma correta alcançando as principais contribuições que a mesma traz a matriz como: aumento da rigidez, ductilidade deixando de ter um comportamento frágil, resistência a tração, impacto e fadiga, dentre outras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudo da interferência da fibra de vidro no concreto convencional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a fibra de vidro através de ensaio em laboratório.

- Trazer conhecimento para a área de construção civil, contribuindo para a formação de acadêmicos do curso de Engenharia Civil.
- Montar corpos de provas incorporando fibra de vidro no mesmo, e então submetê-los a ensaios para análise, e comparar os resultados com um traço sem fibra.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia foi baseada em sua grande parte nas teses ligadas ao concreto que proporcionam base teórica e científica.

A natureza é descritiva, onde apresenta conceitos já formulados nos quais ajudaram para a demonstração dos resultados de maneira tanto quantitativa quanto qualitativa.

Os ensaios realizados segue o controle de qualidade especificado pela ABNT, que nos fornece NBRs a ser seguidas para execução de cada ensaio. As normas aplicadas foram: NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova; NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos; NBR NM 67 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone; NBR 7222 - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos e NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, Controle e Recebimento – Procedimento.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho com intuito de alcançar as finalidades propostas, foi apresentado em 6 capítulos. No primeiro capítulo foi redigida a introdução e os objetivos, onde apresenta o concreto e a utilização dos materiais compósitos no mesmo. Também breve definição das propriedades da fibra de vidro e sua contribuição para o concreto. No segundo capítulo teve a exposição dos principais conceitos necessários para o entendimento do trabalho. E apresentação da fibra de forma aprofundada. Explica-se o efeito do teor das fibras a ser utilizada no concreto convencional e a interação física e química que se deve ter entre os materiais.

No capítulo 3 apresenta as propriedades físicas e mecânicas do concreto: fator de forma, tenacidade, trabalhabilidade e mistura, fadiga e esforços dinâmicos, ductilidade.

No capítulo 4 apresenta o dia que foi realizado o ensaio e o laboratório utilizado para o experimento. Inicia-se a preparação teórica para a realização do mesmo, onde relata-se as informações específicas e catalogadas como: massa específica, módulo de elasticidade de cada elemento para uma maior confiabilidade dos resultados. É apresentada uma breve descrição dos passos a ser seguido para o ensaio, logo mais foi escolhidos os materiais e equipamentos. O experimento é descrito de forma criteriosa, acompanhando e narrando de acordo com cada etapa realizada. É realizado os ensaios de: compressão axial, compressão por tração diametral, e slump test.

No capítulo 5 apresenta-se os resultados dos ensaios de forma comparativa, utilizado com base um traço de referência de concreto convencional sem fibras. Mostrando também de que forma a fibra contribuiu para o concreto, e a quais esforços ela apresenta maior eficiência.

Por fim, as considerações finais no capítulo 6, onde apresentam o que foi alcançado e aprendido no decorrer do estudo, e de que forma pode contribuir para construção civil.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste capítulo é apresentado base teórica dos conceitos fundamentais para o entendimento do trabalho, subdividida em cinco tópicos: concreto abrangendo agregados, cimento e água; fibras de vidro de forma aprofundada, desde seu histórico até sua aplicação. No terceiro e quarto subtópico explica-se a matriz e a interação fibra x matriz; por fim, uma apresentação do efeito do teor das fibras. Tal revisão é de grande importância para cumprimento dos objetivos.

2.1 CONCRETO

De acordo com Isaia (2011), no mundo inteiro o concreto é o material mais utilizado perdendo apenas para água, devido ao fato de seus componentes serem de fácil acesso disponível na natureza. É uma mistura homogênea de cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo e água.

Pedroso (2009), cita que anualmente são consumidos 11 bilhões de toneladas de concreto. Resumidamente afirma-se que o concreto é uma pedra artificial moldável de acordo com a necessidade do homem, um material que depois de endurecido tem bastante resistência, flexibilidade quanto a sua modelagem adaptando-se a variadas formas e tamanhos. A plasticidade do concreto permite que se crie inusitadas formas, no Brasil por exemplo tem as principais obras de Oscar Niemayer.

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015) há a dosagem experimental que é feita por um processo de normas que determina a quantidade exata de cada material, e a dosagem empírica que constitui na reprodução traços prontos.

A fabricação do concreto se dá de duas maneiras: manual que é geralmente sugerido em obras pequenas, e mecânica que é utilizando a betoneira.

2.1.1 Cimento Portland

É um material obtido com a queima de rochas calcária e argila, que então são muídas, até sua fusão incipiente, que gera um material chamado clínquer que é um produto de natureza granulosa, que une firmemente os componentes da argamassa e dos concretos. Quando misturado à água sofre reações químicas e endurece desenvolvendo elevada resistência

mecânica ao longo do tempo, atingindo o ápice aos 28 dias. (PEDROSO, 2009; BAUER, 2012; RIBEIRO *et al.* 2011; CAMPOS *et al.* 2011).

A fabricação do cimento é através de seis fases principais: extração da matéria-prima, britagem, moedura e mistura, queima, moedura do clínquer, expedição (BAUER, 2012).

De acordo com Pedroso (2009), o cimento tem especificações dada por normas que determinam fabricação padronizada em todo mundo, e há uma diversidade de opções. No Brasil tem 8 opções, normalizados pela ABNT:

CP I – Cimento Portland Comum;

CP II – Cimento Portland Composto;

CP III – Cimento Portland de Alto forno (com adições de escoria de alto forno, e baixo calor de hidratação);

CP IV – Cimento Portland de Pozolânico (com adições de pozolona, e baixo calor de hidratação);

CP V – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;

RS – Cimento Portland Resistente a Sulfatos;

BC – Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação;

CPB – Cimento Portland Branco.

A qualidade do cimento, pode ser examinada através de suas características dentre elas estão: tempo de pega, resistência a compressão, finura, expansibilidade, calor de hidratação e armazenamento do cimento. O tempo de pega é o tempo para o cimento ficar endurecido. A finura é referente ao tamanho dos grãos, quanto mais fino maior sua resistência. A expansibilidade ocorre após a pega, fenômeno que provoca fissuras. Já a resistência a compressão é determinada pela relação entre carga de ruptura e a área de seção transversal de corpos de prova normalizados pela ABNT. O calor de hidratação acontece durante o processo de endurecimento do cimento, e depende da composição química do cimento e outros fatores. O cimento deve ser armazenado em local bem protegido longe de umidade, até ser utilizado. (RIBEIRO *et al.* 2011)

2.1.2 Agregados

É a designação dada aos materiais que são adicionados ao cimentos e a água para se obterem as argamassas e concretos. É formado por grãos tais como areias (agregado miúdo) e britas (agregado graúdo), constitui aproximadamente 70% dos volume total dos produtos que

são utilizados. Os agregados podem ser obtidos na natureza em rios ou barrancos ou por processos artificiais com a trituração de materiais provenientes da extração. (RIBEIRO *et al.* 2011).

Há um variedade de rochas a serem exploradas para a produção de agregados industrializados, dentre as mais utilizadas estão: granito, basalto, gnaisse, calcário, arenito, escoria de alto forno, e hematita. (BAUER, 2012).

A classificação das britas é de acordo com suas dimensões: Brita 0- menor que 9,5mm; Brita 1 – 9,5 a 19 mm; Brita 2 – 19 a 25 mm; Pedra de mão- 10,0 a 30,0 cm (CAMPOS *et al.* 2011).

A NBR 7211 (ABNT, 2009), classifica as areias em quatro faixas muito fina, fina, média e grossa todas as faixas tem a mesma graduação 0,15/4,8 e se diferem pelas porcentagens de tamanho de grãos. Agregados miudos (areia) é determinado pelos grãos que passam na peneira de 4,8mm e ficar retido na de 0,15 mm.

2.1.3 Água

Usada na produção de argamassas e concretos, tem que ser limpa e potável sem óleos e graxas, sua unidade de medida é o litro (CAMPOS *et al.* 2011).

2.2 FIBRAS DE VIDRO

2.2.1 Histórico

Constata-se que provavelmente a primeira produção de fibras de vidro, foi durante a ocorrência de um fenômeno da natureza, denominado vulcão. As lavas vulcânicas era levadas pelos ventos fortes, da qual surgia uma massa fibrosa que era levada pelo vento e caía nas árvores, e os pássaros pegavam esse material para reforçar seus ninhos (PINTO, 2002).

No comércio a fibra de vidro foi criada apenas em 1939, no decorrer da Segunda Guerra Mundial (OTA, 2004).

Nos dias de hoje a aplicabilidade de fibras é ampla sendo utilizada em mais de 35.000 produtos. A mais utilizada é do tipo E (E- glass) e são utilizadas para reforçar termoplásticos e apresenta um baixo custo (OTA, 2004). Há uma infinidade de grupos de vidros: sílica,

exinitrito e o fosfato, mas a sílica é de fato a mais considerável e mais utilizado como compósito (MATTHEWS & RAWLINGS, 1987).

2.2.2 Definição

A produção do vidro é feita através do aquecimento da areia de quartzo acima da fusão (CALLISTER, 2004). Quando o compósito tem fibra de baixo módulo de elasticidade não é utilizado para o caso de cargas permanentes e elevadas, pois a matriz vai sofrer deformações consideráveis ao longo do tempo (LAMEIRAS,2007).

Como já mencionado, fibras são compósitos que podem servir como reforço na matriz (concreto). Fibras que tem alto módulo de elasticidade tem melhor desempenho como reforço estrutural chamadas de macro fibras. Existe também fibras de baixo módulo denominado microfibras que não se emprega para reforço estrutural, mas destina-se a outros objetivos como redução de fissuras (FIGUEIREDO, 2011).

2.2.3 Vantagens e desvantagens das fibras vidro

Suas principais vantagens são: na fase de endurecimento reduz significativamente as fissuras e contribui para o concreto ajudando a combater os esforços de tração; menor segregação; menor espessura do piso conseqüentemente menor consumo de concreto; e além disso maior coesão; aumenta a resistência a tração e ao impacto, com isso acaba por fornecer mais ductilidade (FIGUEIREDO, 2011). O comprimento das fibras é muito maior que a dimensão da sua seção transversal (ACI COMMITTEE 544, 1996).

Como desvantagem tem-se a falta de normas estabelecidas. Não há uma padronização da aplicabilidade da fibra, gerando inúmeros resultados. Falta de pesquisas aprofundadas, métodos científicos que defina a quantidade correta de fibra para cada caso em estudo. O valor para cada m³ de concreto é estipulado sem embasamento comprovado cientificamente, a dosagem fica a desejar, sem se preocupar com otimização (FIGUEIREDO, 2011).

2.2.4 Aplicação das fibras de vidro

Segundo Lameiras (2007), a aplicação de fibras é ampla, e em muitos casos já não se usa o concreto sem a mesma. É utilizada para produção dos pavimentos para aeroportos, revestimento de túneis, tubulões, telhas de concreto, dentre outras. As fibras levaram uma integração do concreto no mercado competindo com outras tecnologias, e também inovando mercados de materiais cimentícios, como os de elementos decorativos e das peças para reprodução e ornamentos arquitetônicos. Aplica-se também para reforços plásticos e abrasivos, filtragem de materiais de baixo ponto de fusão, isolamento elétrica. Devido à grande facilidade e custo benefício constroem-se peças com rapidez e eficiência.

A melhor utilização de fibras para reforços estruturais é a do tipo E, essas recebem um recobrimento denominado encimagem, feito com agentes de acoplamento compatíveis com as resinas de poliéster, ester-vinílica e epóxi. O vidro tipo E é um alumínio-boro-silicato com baixo teor de álcali, sua composição química básica encontra-se na Tabela 1 (PINTO, 2002).

Tabela 1 - Composição química básica da fibra de vidro tipo E:

Principais Componentes	Composição (% em peso)
SiO ₂	52-56
Al ₂ O ₃	12-16
CaO	16-25
B ₂ O ₃	8-13

Fonte: PINTO, 2002

2.3 A MATRIZ DE CONCRETO

A matriz tem a função de proteger a fibra da abrasão e degradação em ambientes agressivos, e também separa a fibra uma das outras transferindo os esforços entre as mesmas. A densidade da matriz depois que ocorre a sua cura, tem que ser de preferência menor que a da fibra. (ISIS, 2003).

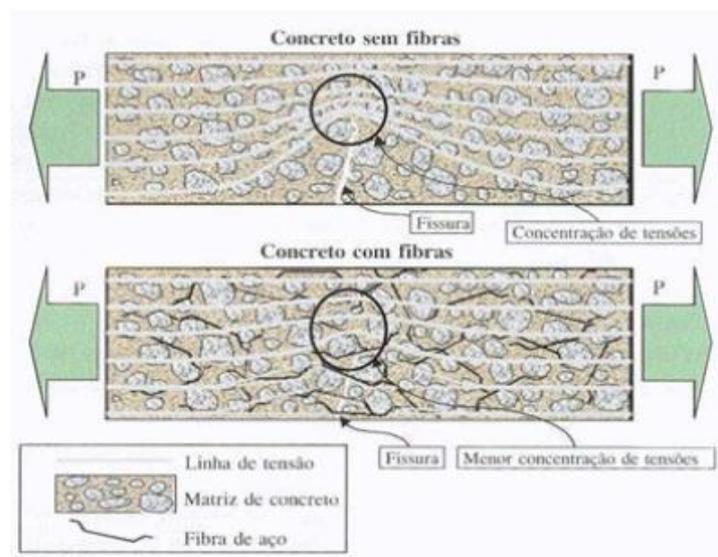
2.4 INTERAÇÃO FIBRA X MATRIZ

É de suma importância que haja afinidade química e física entre a fibra e a matriz de modo que tenha união, porém na escolha da combinação fibra matriz é necessário observar a força de ligação entre esses elementos. Ao final grande parte da resistência desse compósito depende da intensidade dessa ligação. Tendo uma boa aderência aumenta a transmissão de tensões consequentemente aumenta resistência do compósito (CALLISTER JR, 2002).

A fibra funciona como uma ligação do concreto, devido ao fato de que quando surge uma fissura ela faz restrição a propagação de tensão naquele local, o que acaba por gerar uma grande concentração de tensões na borda da fissura, a fibra vai ligá-lá distribuindo as tensões como mostra a Figura 1. Desta maneira acaba por restringir à propagação da mesma. Quando se aclopa fibras ao concreto este deixa de ter um comportamento frágil, esse fato explica-se devido a fibra que gera um mecanismo resistente a matriz que diminui a concentração de tensões, o que acaba por trazer um comportamento dúctil, e vai apresentar resistência após a fissuração, mas para que isto ocorra é necessário inserir o teor certo de fibras, e com características específicas (FIGUEIREDO,2011).

Na etapa pós-fissuração da matriz as fibras atuam com mais impacto, ela costura as microfissuras que aparece na matriz e aumenta a tenacidade do compósito, prevenindo também possíveis falhas, há uma transmissão da tensão da matriz para as fibras na qual traz mais ductilidade para o compósito (BENTUR & MINDESS, 1990).

Figura 1 – Interação Fibra x Matriz



Fonte: FIGUEIREDO,2011

2.5 O EFEITO DO TEOR DAS FIBRAS

A quantidade de fibras a ser inserida no concreto depende de qual objetivo se quer alcançar e principalmente das características da mesma. Fibras que possuem baixo módulo de elasticidade não geram resultados satisfatórios quando se busca reforço estrutural devido ao fato de ter que colocar altos teores e com isso sobe também o custo ficando inviável a sua aplicação. Já as fibras que têm elevado módulo de elasticidade o teor a ser adicionado vai ser baixo por possuírem uma alta capacidade resistente (FIGUEIREDO, 2011).

O comportamento da interação fibra e matriz depende de diversos fatores são eles: o teor das fibras, resistência da fibra, resistência do concreto, geometria da fibra e sua compatibilidade com os materiais constituintes do concreto e lançamento e adensamento, pois alteram a direção da fibra, suas propriedades são mostradas na tabela 2 (FIGUEIREDO, 2011).

Tabela 2 – Propriedades das Fibras e da Matriz

	Material	Diâmetro Equivalente (μm)	Massa Específica (g/cm^3)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação na Ruptura (%)
Fibra	Amianto	0,1 - 20	1,90	1800	380	$\approx 0,5$
	Acrílico	12,7 - 104,1	1,16 - 1,18	268,9 - 999,8	13,8 - 19,3	-
	Aço	10 - 330	7,86	2100	160	$\approx 3,0$
	Aramida I	11,9	1,44	2930,4	62,1	-
	Aramida II	10,2	1,44	2344,3	117,2	-
	Carbono I	7,6	1,90	1723,7	379,9	-
	Carbono II	8,9	1,90	2620,1	230,3	$\approx 1,0$
	Nylon	22,9	1,14	965,3	5,2	$\approx 13,5$
	Poliéster	19,8	1,34 - 1,39	227,5 - 1103,2	17,2	-
	Polietileno	25,4 - 1016	0,92 - 0,96	75,8 - 586,1	50,0 - 117,2	-
	Polopropileno	-	0,90 - 0,91	137,9 - 689,5	3,4 - 4,8	-
	Vidro – AR	-	2,70 - 2,74	2447,7 - 2482,2	78,6 - 80,0	$\approx 3,6$
	Vidro - E	-	2,46 - 2,54	3102,7 - 3447,5	64,8 - 71,7	$\approx 3,6$
	Côco	101,6 - 406,4	1,12 - 1,15	120,0 - 200,0	19,0 - 26,0	-
	Sisal	-	-	275,8 - 568,1	13,0 - 26,0	-
Bagaço de Cana	203,2 - 406,4	1,20 - 1,30	183,7 - 289,6	15,0 - 19,0	-	
Matriz	Pasta de Cimento	-	2,00 - 2,20	3 - 6	10 - 25	$\approx 0,01 - 0,05$
	Argamassa	-	2,20 - 2,30	2 - 4	25 - 35	$\approx 0,005 - 0,015$
	Concreto	-	2,30 - 2,45	1 - 4	30 - 40	$\approx 0,005 - 0,015$

Fonte: HANNANT,1978; ZOLLO,1997

3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Neste capítulo é apresentado a definição das propriedades físicas e mecânicas dos materiais em estudo. Elas são necessárias para conhecimento das características do material. As propriedades físicas são aquelas que resultam de fenômenos físicos exemplo: massa, temperatura, dureza etc. Já o comportamento mecânico reflete observando como o material se comporta, qual a sua deformação, quando submetido a uma determinada carga ou força que esteja sendo aplicada sobre o mesmo.

3.1 FATOR DE FORMA

De acordo com Lameiras (2007), fator de forma é encontrado dividindo o comprimento da fibras pelo seu diâmetro, é classificado como um parâmetro numérico. Portanto, o fator de forma influencia na capacidade resistente após a primeira fissura, quanto maior for o fator de forma maior será a resistência.

3.2 TRABALHABILIDADE E MISTURA

É analisada e definida a trabalhabilidade através do ensaio de abatimento “slump test”. Quando há elevada quantidade de fibras gera ouriços que são um aglomerado de fibras e diminui a trabalhabilidade do mesmo, no entanto se faz necessário aplicar a quantidade certa de fibra para que isso não venha ocorrer (FIGUEIREDO, 2005).

3.3 FADIGA E ESFORÇOS DINÂMICOS

A fadiga de um material é quando ocorre esforço repetitivo em um ciclo. Para cada ciclo há uma pequena propagação de microfissuras , como consequência tem-se um aumento progressivo de tensões até que ocorra a ruptura do material (HANNANT,1978).

A propagação de fissuras aumenta a cada ciclo de carregamento, diminuindo no entanto a sua área útil que transfere a tensão. A carga cíclica quanto mais próxima estiver da resistência do material, o número necessários de ciclos para romper menor será. (FIGUEIREDO,2000).

3.4 DUCTILIDADE

É a capacidade que certo material tem de se deformar antes de romper, sem perder a resistência. A ductilidade permite que haja distribuição dos momentos de seções que estão críticas para seções menos atingida, atrasando a ruptura do material dessa maneira aumentando sua resistência. As rupturas frágeis ocorre pela falta de ductilidade, quando as fissuras se espalham rapidamente, com energia de absorção baixa e deformações (GARCEZ, 2007).

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo é a apresentado o laboratório para realização dos ensaios, a caracterização dos materiais e equipamentos utilizados. O traço é descrito e apresentado de forma a entendê-lo. Uma montagem de roteiro é seguido para o programa experimental relatando o procedimento que foi feito em cada etapa. Apresenta-se também a moldagem de corpos de prova, desde a separação dos materiais até a cura para submetê-los aos ensaios.

São apresentados os ensaios de: compressão axial, tração por compressão diametral e slump test com fotos da colocação dos corpos de prova para ruptura de forma a obter os resultados esperados para comparação dos traços. No total são 4 traços sendo 1 traço de referência e outros 3 traços com teores de fibras em diferentes quantidades de acordo com o volume de concreto.

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A pesquisa experimental foi realizada no dia 6 dezembro de 2017, no laboratório Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis - Unievangélica. (Figura 2)

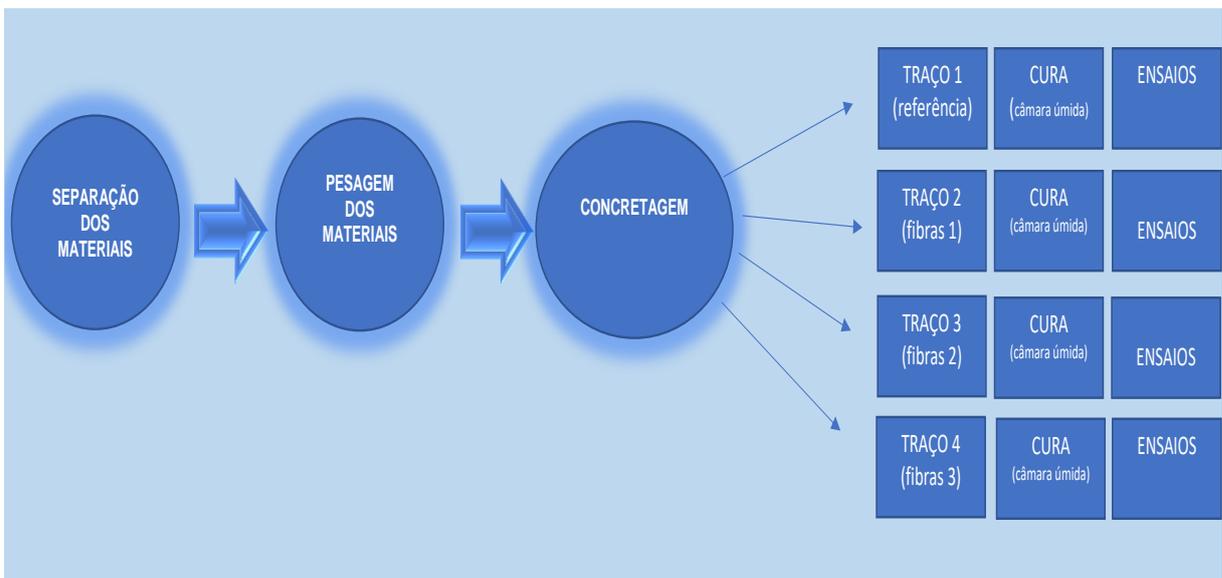
Figura 2– Laboratório Centro Tecnológico



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Foi montado o plano experimental com 4 traços seguindo o fluxograma da Figura 3, para verificar a interferência que a fibra causa no concreto. Um traço é concreto convencional sem fibras os outros tem adição de fibras em diferentes quantidades. O traço sem fibras é para servir de comparação dos resultados dos ensaios de compressão axial e compressão diametral. No total foram feitos 32 corpos de prova como mostrados nas Figuras 4 e 5, e realizado a ruptura dos mesmos nas idades de 7 dias, 28 dias e 63 dias.

Figura 3 - Fluxograma do programa experimental



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Os corpos de prova cilíndricos foram confeccionados em formas metálicas e revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral para facilitar a retirada do concreto da forma como preconiza a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 4: Confeção dos corpos de prova com fibras de vidro



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Figura 5: Confeção dos corpos de prova sem fibras



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

4.2 MÉTODO DE DOSAGEM PARA CONCRETO

A dosagem do concreto é uma etapa de suma importância e traz informação sobre a interferência do cimento portland e da água na resistência final do concreto. Foi utilizado para o cálculo dos referentes traços a resistência de 25 MPa, e utilizado o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

Esse método ABCP para início deve-se conhecer as propriedades dos materiais que serão utilizados. No concreto simples há na composição cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água.

Após obtidos todos os dados necessários: massa unitária, módulo de finura da areia, dimensão máxima característica do agregado graúdo, massa específica do cimento e água, resistência característica do concreto (f_{ck}) e abatimento esperados, calcula-se o traço. Procedimento disponível no APÊNDICE A.

4.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Agitador mecânico de peneiras;
- Balança;
- Baldes;
- Bandejas metálica retangular;
- Betoneira;
- Câmara fria;
- Carro de mão;
- Corpo de prova 10x20cm;
- Concha;
- Colher de pedreiro;
- Placa de base com dimensão de 500 mm;
- Pá;
- Pincel;
- Peneiras serie normal e intermediaria com tampa e fundo de acordo com a NM-ISO 3310-1
- Recipiente cilíndrico metálico com alças;

- Haste reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento;
- Molde tronco de cone com diâmetro inferior 200 mm e superior de 100 mm;
- Trena.

4.4 ESCOLHA DOS MATERIAIS

De acordo com Campos, Torres, Kitner (2011), materiais de construção podem ser obtidos na natureza e cada um tem sua contribuição específica na construção civil. Foram escolhidos materiais obtidos no próprio laboratório para realização do ensaio, apenas a fibras de vidro foi fornecida pela empresa FIBROTEC. Abaixo será especificado cada um separadamente e relatada suas características. Os ensaios foram realizados no laboratório conforme as normas específicas .

4.4.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo possui massa específica de $2,58 \text{ g/cm}^3$ e possui módulo de finura de $MF= 2,4\text{mm}$.

4.4.2 Cimento Portland

O cimento utilizado foi CII Z 32 massa específica de 3100 kg/m^3 . O cimento composto tem diversas aplicações é um dos mais utilizados no Brasil. Esse cimento leva em sua composição de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático.

4.4.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi BRITA 0. Possui densidade $T_b=2,7 \text{ g/cm}^3$ e diâmetro máximo $\varnothing_{\text{máx}}=9,5\text{mm}$ e peso específico $\gamma = 1,0 \text{ g/cm}^3$

4.4.4 Água

Água potável, sua densidade é de 1000 kg/m^3 .

4.4.5 Fibras de vidro

A fibra utilizada apresenta como características: rápida molhagem, facilidade de corte, baixo desgaste das lâminas, baixa eletricidade estática, fácil remoção das bolhas de ar. O tipo da fibra é em roving CPIC 4000. Na Tabela 3 são apresentados algumas especificações necessárias para conhecimento da mesma.

Esta fibra não se aplica para reforço estrutural por não possuir um alto módulo de elasticidade, ela é classificada como micro fibras e não suporta a fadiga, pode no entanto ser utilizada para redução de patologias.

Tabela 3– Especificações da fibra utilizada

Modulo de Elasticidade	30-55 GPa
Deformação	2-4,5 %
Resistência última	517-1207 Mpa

Fonte: FIBROTEC, 2017.

O teor de fibras que inseriu-se nos traços em estudo foi de acordo com o volume de concreto. O volume de concreto tem como valor 12,56 m³. O traço 2 que é o primeiro traço com fibras tem aclopado uma quantidade de 5% do volume de concreto, o traço 3 - 0,5 % do volume e o traço 4 - 0,25%. Calcula-se então:

- **TRAÇO 2**

$$5\% \rightarrow 0,05 \times 12,56 = 628 \text{ gramas}$$

- **TRAÇO 3**

$$0,5\% \rightarrow 0,005 \times 12,56 = 62,8 \text{ gramas}$$

- **TRAÇO 4**

$$0,25\% \rightarrow 0,0025 \times 12,56 = 31,4 \text{ gramas}$$

4.4.6 Aditivo SIKA plastificante

O aditivo utilizado na fabricação dos traços em estudo, foi o plastificante SIKA 5800. É um material de pega normal de terceira geração. Sua composição tem um composto químico que controla a incorporação de ar, permitindo alcançar concretos mais uniformes. Os concretos obtém características como: excelente fluidez, melhora a aderência e durabilidade, etc.

4.5 ESCRITA DO TRAÇO

Utilizando os dados dos materiais escolhidos, foram realizado 4 traços conforme as normas da ABNT – pelo método ABCP (Apêndice A). De acordo com os fatores de cada concreto, obteve-se um desvio padrão para 25 MPa de 5,5 Mpa, com isso calculou-se um fcj de 34,1 MPa (tensão média de dosagem aos 28 dias).

O concreto utilizado foi o CP II Z 32, obtido no próprio laboratório de pesquisa, após efetuados os cálculos obteve um traço unitário para 25 Mpa de: 1:1,66:2,2:0,53 Kg (Cimento:Areia:Brita:Água). O consumo dos materiais em kg foram: Cimento=6,5 kg; Areia=10,83 kg; Brita=14,35; Água=3,46 litros.

O primeiro traço é de referência não apresenta teor de fibras utilizado para efeito de comparação. Os 3 traços com fibras de vidro necessitou o acréscimo do aditivo SIKA plastificante 5800 para aumentar a trabalhabilidade e fluidez do mesmo. A quantidade de fibra utilizada foi de acordo com o volume de concreto: traço 2 = 628 g de fibra; traço 3 = 62,8 g de fibra e traço 4 = 31,4 g. Cálculo disponível no item 4.4.5.

4.6 SEPARAÇÃO E PESAGEM DOS MATERIAIS

Nesse tópico apresenta-se as fotos da separação do materiais para pesagem, mostrados nas Figuras 6, 7 e 8 de acordo com o traço disponível no APÊNDICE C.

Figura 6- Separação dos materiais



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Figura 7- Fibras de vidro



Fonte: Próprias Autoras, 2018

Figura 8- Pesagem aditivo plastificante



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

4.7 CONFECÇÃO DOS TRAÇO BASE SEM FIBRAS

A confecção dos corpos de prova foi no dia 06 de dezembro de 2017 de forma manual e na betoneira. Manualmente foi confeccionado somente o traço base sem fibras de vidro. Inicialmente colocou-se o agregado graúdo em seguida metade da água, depois adicionou o cimento e misturou-se, inseriu-se a mistura o agregado miúdo e o restante da água com aditivo SIKA plastificante 5800 como mostra a Figura 9, 10, 11 e 12.

Figura 9- Confecção do traço base



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Figura 10 – Adição do cimento Portland



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Figura 11 – Adição do agregado miúdo



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Figura 12 – Acréscimo da água



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

4.8 CONFECÇÃO DOS TRAÇOS COM FIBRAS DE VIDRO

A preparação do traço com fibras foi na betoneira, colocou-se as fibras de acordo com o volume de concreto cálculo de teor de fibras disponível no item 4.4.5. No traço 2 utilizou 628 gramas de fibra; no traço 3 - 62,8 gramas e no traço 4 - 31,4 gramas. Primeiro umedeceu a

betoneira com uma pequena quantidade de água; acrescentou o agregado graúdo; logo após o miúdo; adicionou o cimento portland; foi colocado o restante da água com aditivo plastificante; por fim a fibra de vidro e misturou bem. Segue na Figura 13 e 14 e 15 o passo a passo da confecção dos mesmos, seguindo as especificações da NBR 12655(ABNT,2015).

Figura 13 - Betoneira utilizada



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Figura 14 – Adicionando os materiais constituintes



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Figura 15 – Colocação das fibras de vidro



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

4.8.1 Câmara úmida

A confecção dos corpos de prova foi feito no laboratório que após moldagem dos mesmos foram colocados em câmara úmida, esperando alcançar as idades para rompimento, Figura 16.

Figura 16- Câmara úmida

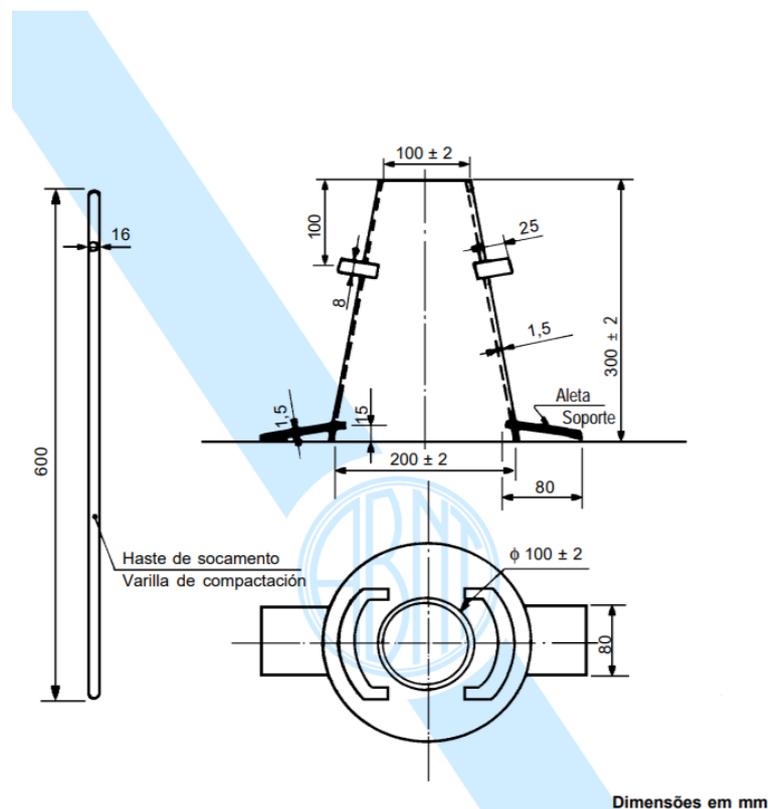


Fonte: Próprias Autoras, 2018

4.9 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

Foi realizado o ensaio de abatimento de acordo com a NBR NM 67 (ABNT,1998). Para a realização do ensaio utilizou-se um molde de tronco cônico oco com as seguintes dimensões: diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm, diâmetro da base inferior de 200 mm e também uma haste de compactação reta de seção circular feita de aço com diâmetro de 16 mm e comprimento de 600 mm como mostra a Figura 17. E como base para o molde de concreto uma placa metálica quadrada com dimensões maior que 500 mm e espessura maior ou igual a 3mm.

Figura 17 - Dimensões tronco de cone e haste



Fonte: NBR NM 67 (ABNT,1998).

Para início do procedimento molhou-se o molde, a placa e a haste. Quando estava-se preenchendo o molde o operador posicionou-se com os pés sobre as aletas de molde mantendo-o estável, logo em seguida foi preenchido o molde em três camadas, cada uma das camadas com altura de um terço do molde, sendo cada uma compactada com 25 golpes com a haste, distribuídos de forma uniforme como mostra a Figura 18.

Figura 18– Preenchimento do molde e compactação com a haste metálica



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

Logo após realizar os golpes necessários nas 3 camadas colocou-se na última camada excesso de concreto sobre a superfície do molde. Logo em seguida o mesmo foi retirado com cuidado puxando para cima em 10 segundos em movimento constante. Quando retirado totalmente o molde foi medido o abatimento com uma trena, através da altura do eixo do molde e altura do corpo desmoldado (Figura 19).

Figura 19– Desmolde do corpo de concreto

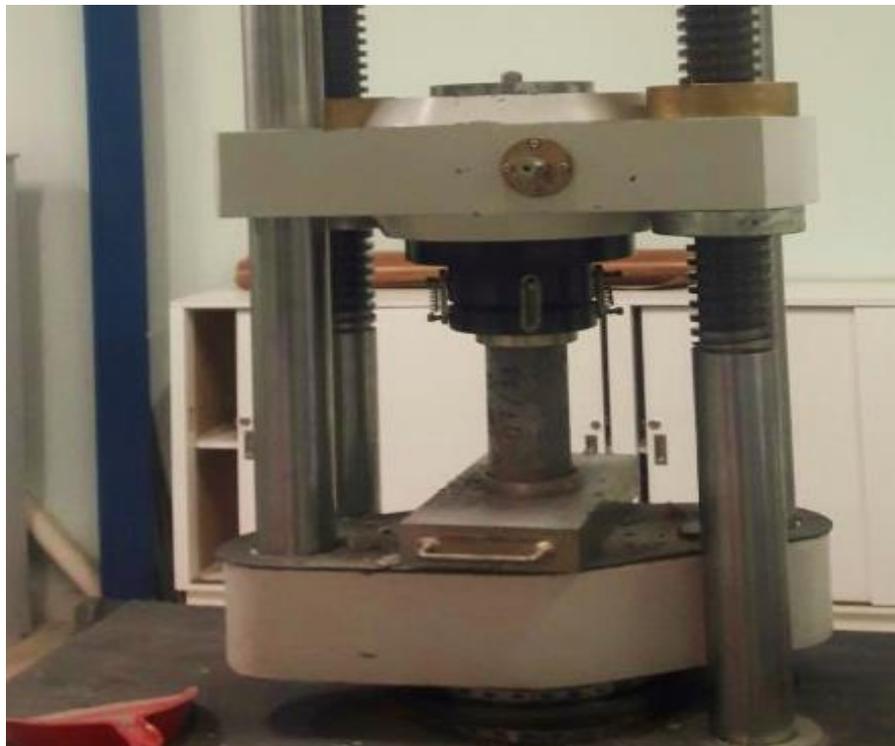


Fonte: Próprias Autoras, 2018

4.10 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Esse ensaio é de grande relevância, além de ser muito preciso, tem baixo custo e fácil execução. Ele garante a verificação da qualidade do concreto, sendo que a carga mais predominante em estruturas de concreto é a de compressão. Essa verificação de resistência é necessária para analisar o valor de fato da resistência do traço produzido e também manter uma padronização e qualidade. Esse ensaio foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT,2007), na Figura 20 é mostrado imagens do mesmo. O resultado desse ensaio de compressão é mostrado na Tabela 4.

Figura 20 - Ensaio de compressão axial



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

4.11 ENSAIO DE RUPTURA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Esse ensaio apresenta a resistência do concreto confeccionado. É muito eficaz e de fácil execução. Para todos os corpos de prova foram realizados ensaios de tração por compressão diametral seguindo as recomendações da NBR 7222 (ABNT, 2011), mostrado na Figura 21. Os valores do resultado desse ensaio de resistência à tração por compressão diametral são mostrados na Tabela 5.

Figura 21– Ensaio de ruptura a tração por compressão diametral.



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

5 RESULTADOS

Nesse capítulo será apresentado os resultados obtidos e discussão dos mesmos com intuito de compreender e alcançar os objetivos propostos.

5.1 SLUMP TEST

Com resultado de slump test, pode-se verificar a trabalhabilidade do traço em estudo. Percebeu-se que mesmo com adição de aditivo plastificante não obteve trabalhabilidade no mesmo como mostra a Figura 22. Não houve diferença da altura do molde com o troco de cone desmoldado, constata-se que fibras de vidro reduz significativamente a trabalhabilidade do concreto.

Figura 22- Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado.



Fonte: Próprias Autoras, 2018

5.2 COMPRESSÃO AXIAL

Esse ensaio foi realizado de forma a comparativa. Com os resultados obtidos observa-se que os traços com fibras não alcançou resistência maior que o traço base sem fibras. A fibra utilizada não mostrou eficácia quando submetida a compressão axial como mostra a Tabela 4. O traço de concreto convencional sem fibras alcançou uma maior resistência que os demais.

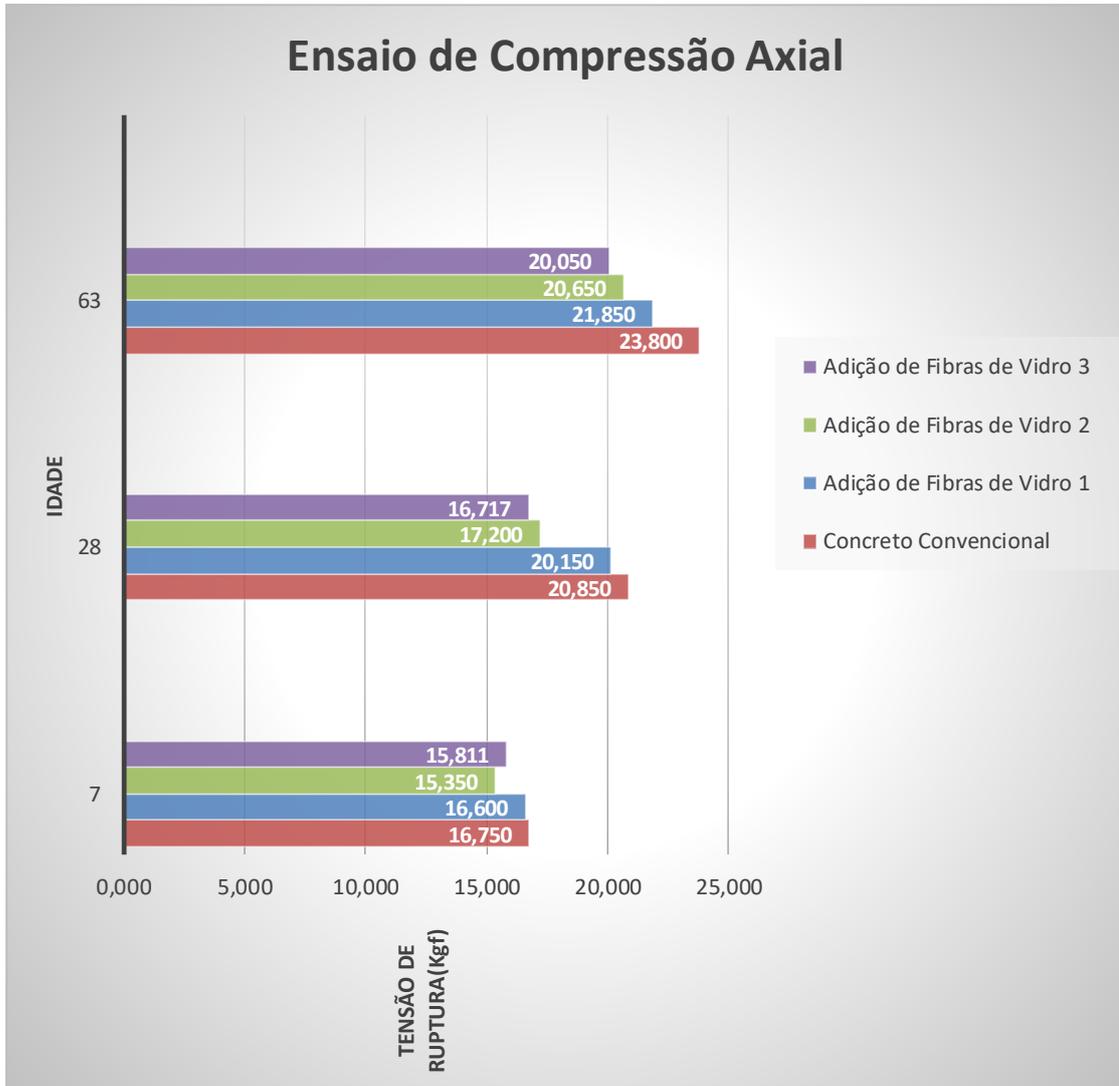
Tabela 4 – Resultados do ensaio de compressão axial

Data de Fabricação	06/12/2017		MPa de Fabricação	25	
Mateiral	Idade	DATA DE RUPTURA	Tensão de Ruptura (MPa)	Carga de Ruptura (kgf)	MÉDIA
Concreto Convencional	7	12/12/2017	16,4	13,110	16,750
		12/12/2017	17,1	13,690	
	28	02/01/2017	20,4	16,320	20,850
		02/01/2017	21,3	17,027	
	63	06/02/2017	23,5	18,786	23,800
		06/02/2017	24,1	19,265	
Adição de Fibras de Vidro 1	7	12/12/2017	16,2	12,950	16,600
		12/12/2017	17,0	13,590	
	28	02/01/2017	19,3	15,428	20,150
		02/01/2017	21,0	16,787	
	63	06/02/2017	22,5	17,986	21,850
		06/02/2017	21,2	16,947	
Adição de Fibras de Vidro 2	7	12/12/2017	15,2	12,151	15,350
		12/12/2017	15,5	12,391	
	28	02/01/2017	16,6	13,270	17,200
		02/01/2017	17,8	14,229	
	63	06/02/2017	19,9	15,908	20,650
		06/02/2017	21,4	17,107	
Adição de Fibras de Vidro 3	7	12/12/2017	15,7	12,515	15,811
		12/12/2017	16,0	12,762	
	28	02/01/2017	15,1	12,071	16,717
		02/01/2017	18,3	14,656	
	63	06/02/2017	18,1	14,469	20,050
		06/02/2017	22,0	17,587	

Fonte: Próprias Autoras, 2018.

No gráfico 1 é mostrado o resultado da tabela 4 em forma de gráfico. Com clareza observa-se no gráfico o traço de vermelho que representa o concreto convencional está superior aos demais traços com fibras de vidro, mostrando que este alcançou maior resistência.

Gráfico 1– Gráfico de comparação para ensaio de compressão axial



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

5.3 TRAÇÃO

No ensaio de tração por compressão diametral verificou-se que o traço 4 que tem a quantidade de teor de fibras de 31,4 gramas, aos 63 dias apresentou maior resistência do que o traço convencional de concreto. Desta forma verificou-se que a fibra de vidro quando adicionada em quantidade correta aumenta a resistência do concreto quando este estiver submetido à tração, tornando – o mais dúctil.

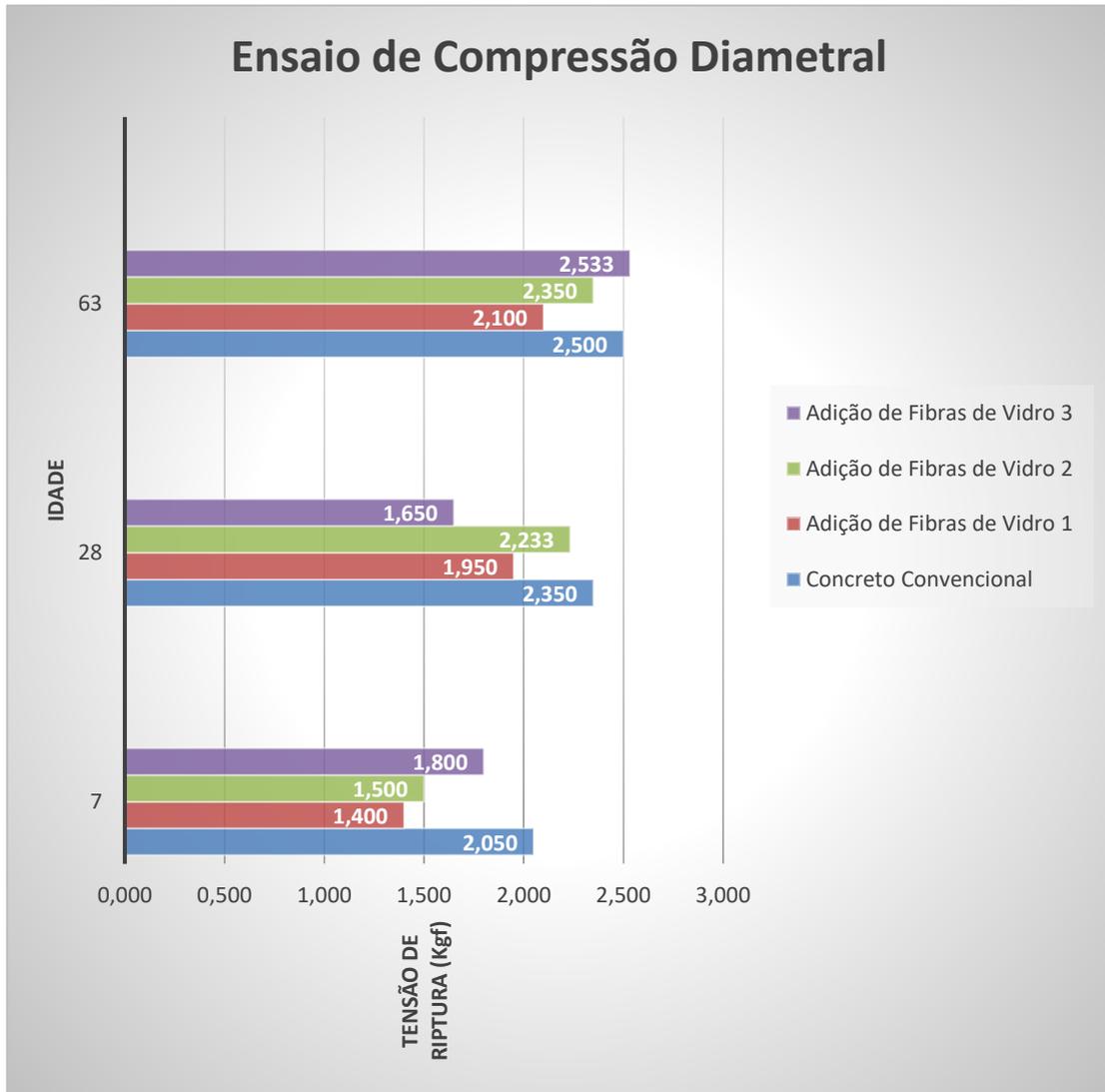
Tabela 5 – Resultados do ensaio de tração por compressão diametral

Data de Fabricação	06/12/2017		Mpa de Fabricação	25	
Mateiral	Idade	DATA DE RUPTURA	Tensão de Ruptura (Mpa)	Carga de Ruptura (Kgf)	MÉDIA
Concreto Convencional	7	12/12/2017	2	6,280	2,050
		12/12/2017	2,1	6,594	
	28	02/01/2017	2,4	7,630	2,350
		02/01/2017	2,3	7,312	
	63	06/02/2017	2,6	8,266	2,500
		06/02/2017	2,4	7,630	
Adição de Fibras de Vidro 1	7	12/12/2017	1,4	4,430	1,400
		12/12/2017	1,4	4,530	
	28	02/01/2017	1,7	5,480	1,950
		02/01/2017	2,2	7,090	
	63	06/02/2017	2,3	7,222	2,100
		06/02/2017	1,9	5,966	
Adição de Fibras de Vidro 2	7	12/12/2017	1,5	4,820	1,500
		12/12/2017	1,5	5,200	
	28	02/01/2017	2,2	6,800	2,233
		02/01/2017	2,3	7,470	
	63	06/02/2017	2,2	6,790	2,350
		06/02/2017	2,5	7,820	
Adição de Fibras de Vidro 3	7	12/12/2017	1,6	4,900	1,800
		12/12/2017	2,0	6,240	
	28	02/01/2017	1,4	5,800	1,650
		02/01/2017	1,9	6,100	
	63	06/02/2017	2,3	7,420	2,533
		06/02/2017	2,8	8,420	

Fonte: Próprias Autoras, 2018.

No gráfico 2 examina com melhor visualização os resultados da Tabela 5 em forma de gráfico. Verifica-se que o traço como 0,25% do volume de concreto representado no gráfico pelo traço lilás, aos 63 dias apresentou maior resistência do que o traço azul representado pelo concreto convencional. Desta maneira a fibra adicionou uma certa resistência ao concreto.

Gráfico 2– Gráfico de comparação para ensaio de compressão diametral



Fonte: Próprias Autoras, 2018.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O traço com fibras que foi mais eficaz quanto a resistência à tração foi o traço 4, que tem uma quantidade de fibras de 31,4 gramas, 0,25% do volume de concreto. Observou-se que a quantidade de fibra está intrinsecamente ligada a capacidade resistente da matriz de concreto.

Já na resistência à compressão a fibra utilizada não foi eficiente, porém observa-se que o maior teor de fibra que é o de 5% do volume concreto atribuiu melhor resistência que os demais traços com fibras de 0,5% e 0,25%. Portanto a quantidade de fibras que deve ser colocada depende também de qual tipo de carregamento a matriz vai ser submetida, se a tração ou compressão.

No ensaio de slump test constatou que fibras de vidro reduz significamente a trabalhabilidade, houve uma grande dificuldade quanto a dosagem dos traços sendo necessário a adição de aditivo plastificante. Teve evolução na trabalhabilidade na medida que diminuía a quantidade de fibra.

A quantidade de fibras utilizada depende principalmente de suas características e qual objetivo se quer alcançar. Como sugestão para outros trabalhos: Realização do ensaio com fibras em menores quantidades para o traço estudado. Contudo a mesma não se faz necessária para reforço estrutural, porém aplica-se para reduzir patologias como fissurações. O estudo também levou em consideração a escolha do método de dosagem ABCP, por ser o método já aceito no mercado e utilizado pelas concreteiras da região.

Após observar os resultados alcançados, verifica-se que a fibra de vidro é uma alternativa viável que precisa ser estudada, de forma que otimizem o consumo deste material, tornando eficaz o seu uso e tenha um controle de qualidade. Explica-se essa situação devido a insuficiência de normas, recomendações técnicas sobre o assunto. Existe uma carência de pesquisas de concreto reforçados com fibras. É necessário que algum conselho de normas proponha uma normatização sobre a quantidade de fibras a se utilizar de acordo com o volume de concreto.

REFERÊNCIAS

- ACI COMMITTEE 544. **ACI 544.1R-96**: State-of-the-art report on fiber reinforced concrete, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **BT-106**: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2018.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro, 2004
- _____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- _____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação, 2009.
- BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. vol. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- BEBER, Andriei José. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibras de carbono**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- BEBER, Andriei José. **Avaliação do desempenho de vigas de concreto armado reforçadas com lâmina de fibra de carbono**. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1999.
- BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. 449 p., London: Elsevier Applied Science, 1990.
- CALLISTER JR, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução**. 5 ed., 590p., LTC, 2002.
- CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering – An Introduction**. United States of America: WILEY, 2004. 820p.

CAMPOS, Rachel; TORRES, Tatiana Juodinis Velloso; KITNER, Michelle Rebeca. **CONSTRUÇÃO CIVIL: passo a passo da construção: desde a escolha do terreno até o acabamento**. 1. ed. São Paulo: DCL- Difusão Cultural do Livro Ltda, 2011. 375 p

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. Boletim Técnico (BT/PCC/260). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras**. In: Isaia, Geraldo Cechella. (Org.) concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON,2005.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 248p. São Paulo, 2011.

GARCEZ, Mônica Regina. **Alternativas para melhoria no desempenho de estruturas de concreto armado reforçadas pela colagem de polímeros reforçados com fibras**. 267f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,2007.

HANNANT, D. J. **Fiber Cements and Fiber Concretes**. 209 p., Guildford, United Kingdom: John Wiley & Sons,1978.

HOLLAWAY, L. C. **Polymer composites for civil and structural engineering**. Glasgow, Blackie Academic and professional, 1993.

ISIS - INTELIGENT SENSING FOR INNOVATIVE STRUCTURES. **Educational Modules about FRP**. Winnipeg: ISIS,2003. ISIS Educational Modules 1 to 4- Intelligent Sensing For Innovative Structures,2003.

ISAIA, Geraldo Cechella. **A evolução do concreto estrutural**. Concreto: ciência e tecnologia. Revista Ibracon. 1. ed. Vol. 1. São Paulo: Ibracon, 2011.

LAMEIRAS, Rodrigo de Melo. **Contribuição ao estudo das propriedades dos materiais cimentícios reforçados com fibras de vidro**. 255f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,2007.

MATTHEWS, F. L, RAWLINGS, R. D. **Composite Materials: Engineering And Science**. Chapman and Hall, UK, 1994. MILEWSKI, J. V.; KATZ, H. S. Handbook of reinforcements for plastics. In: DOCKUM JR., J. F. (Ed.). Fiberglass. New York: Van Nostrand, 1987. p. 234-235.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI,2008.

OTA, W. N.; **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, PR, 2004. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/058.pdf>> Acesso em: 6 de novembro de 2017.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.** In: Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. São Paulo: **Revista Ibracon**, nº 53, 2009. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicações/revistas_ibracon/ver_construção/pdf/Revista_Concreto_53.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

PINTO, N. C. K.; **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro.** Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Universidade de São Paulo, SP, 2002. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Kelly%20Nanci%20Carneiro%20Pinto_M.pdf> Acesso em: 22 de setembro de 2017.

RIBEIRO, Carmem Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil.** 3 ed. BELO HORIZONTE: UFMG, 2011.

SCHWARTZ, M. M. **Composite Materials Handbook**, New York, McGrawhill, 1984.

ZOOLLO, R.F. Fiber- reinforced concrete: an overview after 30 years of development. *Cement and Concrete Composites*, v. 19, issue 2, 1997, p. 107-122.

APÊNDICE A – CÁLCULO DO TRAÇO DO CONCRETO PELO MÉTODO DA ABCP

O primeiro passo é o cálculo da resistência média aos 28 dias – F_{cj} – a partir do desvio padrão.

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (1)$$

Em que:

F_{cj} = resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em MPa;

F_{ck} = resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

S_d = desvio-padrão da dosagem, em MPa;

$S_d = 4,0$ MPa concreto classe C10 a C80.

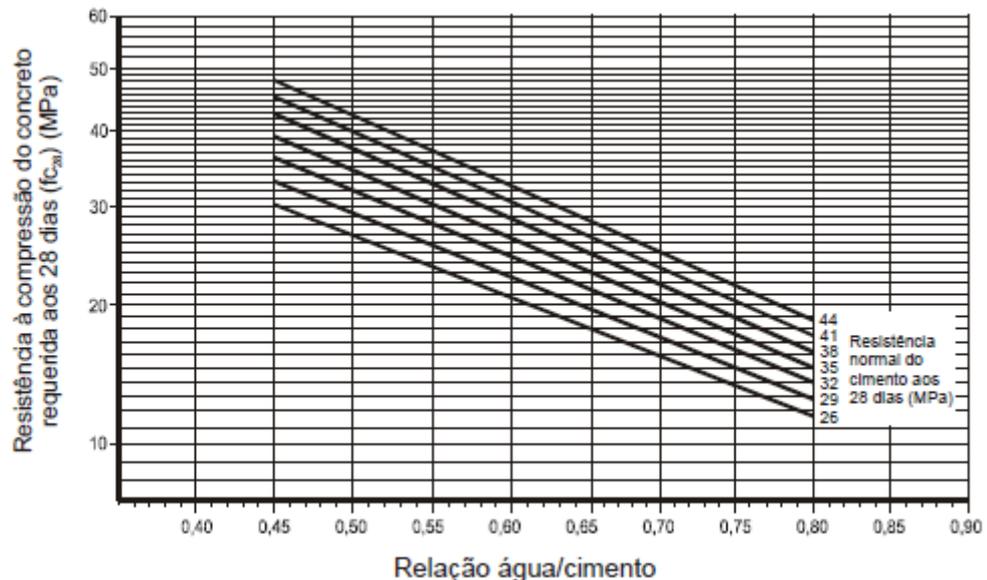
$S_d = 5,5$ MPa concreto classe C10 a C25.

$S_d = 7,0$ MPa concreto classe C10 a C15.

Segundo passo - Fixação da relação água/cimento (a/c)

O valor da relação água/cimento é estimado com base na curva de Abrams, que por sua vez, deve ser determinado em função do tipo de cimento.

Figura 1 - Gráfico para determinação da relação água cimento (a/c) em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.



Fonte: Rodrigues, 1990 apud Boggio, 2000.

Considerando a dificuldade em expressar o consumo de água na mistura por meio de uma lei matemática, Rodrigues, 1990 apresenta como estimativa inicial do consumo de água por metro cúbico de concreto, os valores constantes no Tabela 1 (BOGGIO, 2000).

Tabela 1 - Estimativa do consumo de água por metro cubico de concreto em função do diâmetro máximo característico do agregado e do abatimento da mistura.

Abatimento do tronco de cone	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60 mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80 mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100 mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

Fonte: Rodrigues, 1990 apud Boggio,2000.

Terceiro passo é a estimativa do consumo de cimento. O fator água/cimento nada mais é do que uma fração, que divide o peso da água pelo peso do cimento, conforme abaixo:

$$A/C = \frac{Ca}{Cc} \quad (2)$$

Quarto passo é a estimativa de consumo de agregados

A Tabela 2, cujos valores foram determinados experimentalmente pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), apresenta os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do Diâmetro Máximo característico do agregado graúdo ($\phi_{m\acute{a}x.}$) e do Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 2 - Volume compactado seco (Vpc) do agregado graúdo por metro cubico de concreto.

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo ($\phi_{m\acute{a}x.}$)				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1990 apud Boggio,2000.

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad (3)$$

Quinto passo é a estimativa do consumo de agregado miúdo, para 1,0 metro cúbico de concreto, o volume do agregado é dado pela equação abaixo:

$$V_m = 1 - \left(\frac{P_c}{\gamma_c} + \frac{P_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{P_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad (5)$$

A escrita do traço é feita na sequência:

Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)

APÊNDICE B – CÁLCULO DETALHADO DO TRAÇO DO CONCRETO DE 25 MPa PELO MÉTODO DA ABCP

Para a resistência de 25 MPa o traço foi calculado da seguinte maneira:

Concreto:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\text{Abatimento } 80 \pm 10 \text{ mm}$$

Cimento:

CP II Z 32 (Ciplan)

$$\gamma = 2,93 \text{ g / cm}^3 \text{ (NM 23:2001)}$$

Agregado miúdo – Areia 0% umidade:

Módulo de finura = 1,8

$$\gamma = 2,58 \text{ g / cm}^3$$

$$MU = 1,525 \text{ g / cm}^3$$

Agregado graúdo – Brita 0:

Diâmetro máximo: 9,5mm

$$\gamma = 2,7 \text{ g / cm}^3$$

$$MU = 1,48 \text{ g / cm}^3$$

Água

$$\gamma = 1,0 \text{ g / cm}^3$$

Primeiro passo:

Pela Equação 1 do Apêndice A, calcula-se o F_{cj} :

$$F_{cj} = 25 + 1,65 \cdot 5,5 = 34,1 \text{ MPa}$$

Segundo passo:

Pela Figura 1 do Apêndice A obtém-se a relação água/cimento

$$a/c = 0,53$$

O consumo de água é dado pelo Tabela 9, do Apêndice A:

$$\text{Consumo de água} = 230 \text{ l/m}^3$$

Terceiro passo:

Através da Equação 2 do Apêndice A obtém-se o consumo de cimento:

$$C_c = \frac{230}{0,53}$$

$$C_c = 433,96 \text{ Kg}$$

Quarto passo:

O volume do agregado é dado pelo Tabela 2 e o seu consumo calculado pela Equação 3, ambos do Apêndice A:

$$V_{pc} = 0,645 \text{ m}^3$$

$$MU = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad ()$$

$$1480 = \frac{P(kg)}{0,645}$$

$$P = 954,6kg$$

Quinto passo:

O volume do agregado miúdo é dado pela Equação 4 e seu consumo pela Equação 5, ambas do Apêndice A.

$$V_m = 1 - \left(\frac{433,96}{3100} + \frac{954,6}{2700} + \frac{230}{1000} \right)$$

$$V_m = 0,28m^3$$

$$2580 = \frac{P(kg)}{0,28}$$

$$P = 722,4kg$$

A escrita do traço é feita na sequência:

Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)

433,96:722,4:954,6:230 (Kg)

1:1,66:2,2:0,53 (Kg)

APÊNDICE C – CONSUMO DE MATERIAIS DE ACORDO COM O VOLUME DO CORPO DE PROVA (8 CORPOS DE PROVA CILINDRICOS)

$$h= 10\text{cm}$$

$$d= 20\text{cm}$$

- Volume de um corpo de prova cilíndrico

$$V_{\text{cil}} = \pi \times \frac{R^2}{4} \times h \quad (6)$$

$$V_{\text{cil}} = \pi \times \frac{0,10^2}{4} \times 0,1 = 1,57 \text{ dm}^3$$

- Volume para 8 corpos de prova

$$V_{\text{total}} = 12,56 \text{ dm}^3 \times 10^{-3} = 0,01256 \text{ m}^3$$

- Consumo de cimento

$$C_c = \frac{12,56}{\frac{1}{3,10} + \frac{1,66}{2,58} + \frac{2,2}{2,7} + 0,53} = 5,435 \text{ kg cimento}$$

$$C_{\text{total}} = C_c \times 1,2 = 5,435 \times 1,2 = 6,5 \text{ kg cimento}$$

$$\text{Areia} = 5,435 \times 1,66 = 9,0221 \text{ kg areia} \times 1,2 = 10,83 \text{ kg areia}$$

$$\text{Brita} = 5,435 \times 2,2 = 11,957 \text{ kg de brita} \times 1,2 = 14,35 \text{ kg brita}$$

$$\text{Água} = 5,435 \times 0,53 = 2,88 \text{ kg de água} \times 1,2 = 3,46 \text{ litros de água}$$