

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**MARCELO DADAMO VIEIRA**

**AVALIAÇÃO DO USO DE FIBRAS DE AÇO CORRUGADO JUNTO A  
MATRIZ DO CONCRETO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

**MARCELO DADAMO VIEIRA**

**AVALIAÇÃO DO USO DE FIBRAS DE AÇO CORRUGADO JUNTO A  
MATRIZ DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,  
apresentado como requisito parcial para a obtenção  
do título de Engenheiro Civil, do Curso Engenharia  
Civil, da Coordenação de Engenharia Civil – COECI  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
UTFPR

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabiana Goia Rosa de  
Oliveira.

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação de Engenharia Civil

---

---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 46

# AVALIAÇÃO DO USO DE FIBRAS DE AÇO CORRUGADO JUNTO A MATRIZ DO CONCRETO

Por

**MARCELO DADAMO VIEIRA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19:40 do dia 17 de Fevereiro de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Goia Rosa de Oliveira**

(UTFPR)

***Orientadora***

**Prof. Sérgio R. Oberhauser Quintanilha**

**Braga**

( UTFPR )

**Prof. Adalberto R. de Oliveira**

( UTFPR )

Responsável pelo TCC: **Prof. Msc. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Prof<sup>a</sup> Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso*

***Dedicatória:***

*Aos meus pais João Sérgio e Marcia,*

*Aos meus irmãos e eternos amigos João e Rodrigo,*

*Aos meus familiares e amigos presentes em minha formação*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar forças para enfrentar as dificuldades, saúde, alegrias e por me dar a oportunidade de conhecer pessoas especiais durante o curso.

Agradeço infinitamente aos meus pais João Sérgio e Marcia por ficarem ao meu lado em todos os momentos, por demonstrarem seu amor incondicional, por todo apoio, pelos conselhos que me guiaram e foram fundamentais para a concretização desta graduação, a eles que se dedicam a entregar aos seus filhos um mundo melhor, AMO VOCÊS.

Aos meus irmãos João e Rodrigo pela imensurável amizade, convivência, conselhos, por sempre estarem juntos e dispostos a ajudar.

A minha orientadora Professora Dr<sup>a</sup>. Fabiana Goia Rosa de Oliveira, pela preciosa orientação e amizade. Os teus conhecimentos e experiência foram, para mim, muito mais do que inspiração.

Agradeço a Laís Simão, por todo incentivo, compreensão e por estar presente em minha vida neste momento.

A toda minha família, foi essencial para alcançar este objetivo.

Aos meus amigos, todos sem exceção, pela grandiosa e importante amizade, por compreenderem os momentos em que estive ausente estudando.

A todos os professores da COECI – Coordenação de Engenharia Civil da UTFPR.

## RESUMO

VIEIRA, Marcelo D. **AVALIAÇÃO DO USO DE FIBRAS DE AÇO CORRUGADO JUNTO A MATRIZ DO CONCRETO**. 2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Devido à fragilidade e a baixa resistência à deformação do concreto desenvolveu-se a possibilidade de adicionar fibras de aço como reforço, alterando as características iniciais das matrizes do concreto. No presente trabalho efetuou-se um estudo de propriedades mecânicas do concreto com adição de fibras de aço corrugado. Realizaram-se diversos ensaios em laboratório sendo eles: caracterização dos agregados, tração com compressão diametral, tração na flexão em corpos de prova prismáticos e determinação da absorção de água no concreto, também foi realizado um estudo de caso onde este teve como objetivo mostrar os ganhos do uso das fibras de aço. Os resultados apontaram que o concreto reforçado com fibras de aço em seu interior apresentaram características mecânicas superiores quando comparadas ao traço de concreto sem a adição de fibras comprovando a viabilidade da utilização das fibras de aço corrugado no interior do concreto.

**Palavras chave:** Agregados. Concreto. Fibras de aço corrugado.

## ABSTRACT

VIEIRA, Marcelo D. **EVALUATION OF THE USE OF CORRUGATED STEEL FIBERS WITHIN A MATRIX OF CONCRETE.** 2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Due to concrete fragility and low resistance, it was developed the possibility to add steel fibers as reinforcement, changing concrete matrix's initial properties. In the present paper it was made a study of concrete mechanical properties with the addition of corrugated steel fibers. Several laboratory tests were made, as: characterization of aggregates, traction by diametral compression, traction in bending of prismatic bodies proof and determination of water absorption in concrete, it was also performed a case study which aimed to show the gains by using steel fibers. The results pointed that concrete reinforced with steel fibers presented upper mechanical features than concrete without steel fibers, thus proving the viability in using corrugated steel fibers within concrete.

**Keywords:** Aggregate. Concrete. Corrugated steel fibers.

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - COMPARATIVO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE VI COM AS ZONAS UTILIZÁVEL E ÓTIMA .....	45
GRÁFICO 2 - COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL(MPA) COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO .....	51
GRÁFICO 3 - COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPA) COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO .....	54
GRÁFICO 4 - COMPARATIVO DA ABSORÇÃO MÉDIA DO CONCRETO .....	55

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA 1 – FIBRAS DE AÇO CORRUGADO. ....	26
FOTOGRAFIA 2 – CONJUNTO DE PENEIRAS E PENEIRADOR PARA ENSAIO DE GRANULOMETRIA .....	28
FOTOGRAFIA 3 – RECIPIENTE COMPLETO PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE .....	30
FOTOGRAFIA 4 – FRASCO DE CHAPMAN PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA .....	31
FOTOGRAFIA 5 – MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	40
FOTOGRAFIA 6 – CORPOS DE PROVA ARMAZENADOS EM LOCAL PROTEGIDO POR 24 HORAS .....	40
FOTOGRAFIA 7 – ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....	41
FOTOGRAFIA 8 – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS.....	42
FOTOGRAFIA 9 – ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO.....	43
FOTOGRAFIA 10 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA .....	44
FOTOGRAFIA 11 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA BRITA .....	47
FOTOGRAFIA 12 – GABATIRO UNIDADE HABITACIONAL.....	56
FOTOGRAFIA 13 – TUBULAÇÃO DE ESGOTO.....	57
FOTOGRAFIA 14 – MARCAÇÃO PARA ENCAIXE DAS FORMAS METÁLICAS .....	57
FOTOGRAFIA 15 – APLICAÇÃO DA LONA E FORMAS METÁLICAS.....	58
FOTOGRAFIA 16 – ADIÇÃO E MISTURA DAS FIBRAS DE AÇO CORRUGADO AO CONCRETO .....	58
FOTOGRAFIA 17 – TRANSPORTE DO CONCRETO .....	59
FOTOGRAFIA 18 – EXECUÇÃO DO RADIER .....	59
FOTOGRAFIA 19 – EXECUÇÃO DO RADIER E DESEMPENO DA PARTE EXTERNA.....	60
FOTOGRAFIA 20 – RADIER FINALIZADO .....	60
FOTOGRAFIA 21 – RADIER FINALIZADO COM COMADA DE PEDRISCO E ÁGUA .....	61

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO DE ACORDO COM SEU MÓDULO DE FINURA .....	29
TABELA 2 – CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO DE ACORDO COM O D.M.C .....	33
TABELA 3 – CONSUMO DE ÁGUA APROXIMADO (LITROS / M3 DE CONCRETO) EM FUNÇÃO DO ABATIMENTO.....	37
TABELA 4 – VOLUME DE AGREGADO GRAÚDO (M3 DE BRITA / M3 DE CONCRETO) EM FUNÇÃO DO MÓDULO DE FINURA DE AREIA E DO DIÂMETRO MÁXIMO CARACTERÍSTICO DO AGREGADO GRAÚDO.....	38
TABELA 5 – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA VI .....	44
TABELA 6 – CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO .....	45
TABELA 7 – MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO AGREGADO MIÚDO .....	46
TABELA 8 – MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO AGREGADO MIÚDO .....	46
TABELA 9 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO.....	46
TABELA 10 – CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO .....	47
TABELA 11 – PESAGEM DA AMOSTRA NAS CONDIÇÕES SECA, SATURADA E IMERSA .....	48
TABELA 12 – MASSA ESPECÍFICA SECA, SATURADA E ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO .	48
TABELA 13 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO TRAÇO REF .....	49
TABELA 14 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESITÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO TRAÇO F30 .....	49
TABELA 15 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO TRAÇO F60 .....	49
TABELA 16 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO TRAÇO F90 .....	50
TABELA 17 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICO DO TRAÇO REF .....	52
TABELA 18 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICO DO TRAÇO F30 .....	52
TABELA 19 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICO DO TRAÇO F60 .....	53

TABELA 20 – ÁREA DOS CORPOS DE PROVA E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICO DO TRAÇO F90 .....	53
TABELA 21 – ABSORÇÃO DO CONCRETO .....	55

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
4.1 CIMENTO PORTLAND .....	17
4.2 AGREGADOS .....	18
4.2.1 AGREGADO MIÚDO .....	19
4.2.2 AGREGADO GRAÚDO .....	19
4.3 ÁGUA DE AMASSAMENTO .....	20
4.4 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND .....	21
4.5 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO CORRUGADO .....	22
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
5.1 MATERIAIS .....	26
5.2 MÉTODOS .....	27
5.2.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....	27
5.2.1.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO .....	28
5.2.1.1.1 DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (D.M.C.) .....	29
5.2.1.1.2 MÓDULO DE FINURA (M.F.) .....	29
5.2.1.1.3 CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO .....	29
5.2.1.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO AGREGADO MIÚDO .....	30
5.2.1.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA REAL OU ABSOLUTA DO AGREGADO MIÚDO POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN .....	31
5.2.1.4 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO .....	32
5.2.1.4.1 DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (D.M.C.) .....	32
5.2.1.4.2 MÓDULO DE FINURA (M.F.) .....	32
5.2.1.4.3 CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO .....	33
5.2.1.5 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA DO AGREGADO GRAÚDO .....	33

5.2.1.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO COMPACTADO DO AGREGADO GRAÚDO .....	34
5.2.2 MÉTODO DE DOSAGEM .....	35
5.2.3 MISTURA OU AMASSAMENTO DOS COMPONENTES DO CONCRETO .....	39
5.2.4 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA .....	39
5.2.5 ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	41
5.2.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS .....	42
5.2.7 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO .....	42
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS .....	44
6.1.1 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO .....	44
6.1.2 MASSA ESPECÍFICA E APARENTE DO AGREGADO MIÚDO .....	45
6.1.3 MASSA ESPECÍFICA REAL OU ABSOLUTA DO AGREGADO MIÚDO (FRASCO DE CHAPMAN) .....	46
6.1.4 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO .....	46
6.1.5 MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA DO AGREGADO GRAÚDO .....	48
6.1.6 MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO COMPACTADO DO AGREGADO GRAÚDO .....	48
6.2 ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....	48
6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS .....	52
6.4 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO. ....	54
6.5 ESTUDO DE CASO .....	56
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>
<b>8 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>63</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto possui uma série de características que lhe garantem o posto de material estrutural mais utilizado no mundo. Entre as principais vantagens, pode-se listar o baixo custo e a capacidade de se adequar a variadas condições de produção, além de possibilitar infinitas variações de forma para as peças moldadas. Apesar disso, o concreto apresenta também várias limitações, como a baixa relação resistência/peso e possuir um comportamento frágil e uma baixa capacidade de deformação antes da ruptura quando submetido a esforços de tração (FIGUEIREDO, 2011, P. 1).

Recentemente surgiram novas possibilidades tecnológicas como os concretos reforçados com fibras de aço. A adição de fibras de aço ao concreto minimiza o comportamento frágil característico do concreto, assim o concreto passa a ser um material pseudo-dúctil, ou seja, continua apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicados mesmo após sua fissuração (FIGUEIREDO, 2000, P. 2).

Para solucionar a fragilidade e a baixa resistência à deformação do concreto desenvolveu-se a possibilidade de adicionar fibras de aço como reforço, alterando as características iniciais das matrizes do concreto.

De acordo com Tasca et al. (2010, p. 2) devido as fibras de aço possuírem um alto módulo de elasticidade, elevada resistência à tração e ductilidade, proporcionam um aumento na tenacidade, nas estruturas de concreto, melhorando sua resistência ao impacto e à fadiga, contribuindo para o aumento da durabilidade dessas estruturas.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa das vantagens da adição de fibras de aço corrugado no interior da matriz do concreto como forma de suprir algumas necessidades deste material, por meio de experimentos em laboratório utilizando corpos de prova.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar as propriedades físicas e mecânicas de fibras de aço corrugado junto a matriz do concreto.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar um estudo de caso da aplicação de fibras de aço corrugado junto ao concreto para radier, em habitações no município de Campo Mourão.
- Avaliar propriedades físicas e mecânicas do concreto com fibras de aço corrugado adicionados em sua matriz.
- Verificar a influência de fibras de aço corrugado nas propriedades do concreto.

### 3 JUSTIFICATIVA

De acordo com Franco (2008, p. 42) “a tecnologia do concreto reforçado com fibras de aço vem sendo estudada e aprimorada ao longo dos anos de uma maneira intensa. Sua utilização é indicada como alternativa técnica viável para diversos tipos de aplicações”.

Para Tasca et al. (2010, p. 1) o concreto apresenta propriedades, como a baixa resistência à tração, que o caracteriza como material frágil. Como forma de suprir essa deficiência, uma das alternativas é a adição de fibras de aço corrugado no interior da matriz do concreto.

As fibras de aço corrugado apresentam também outras vantagens como a eliminação da etapa de montagem, corte e dobra das armaduras, aumentando significativamente a produtividade no canteiro de obras e reduzindo o desperdício de material, melhorando assim o tempo de execução da obra.

Neste trabalho, pretende-se analisar um estudo de caso em uma obra na cidade de Campo Mourão, e também avaliar as características das fibras de aço corrugado, visando demonstrar que o emprego desta tecnologia proporciona melhor desempenho para o concreto.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 CIMENTO PORTLAND

Cimento na acepção da palavra pode ser considerado todo material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto (NEVILLE, 1997).

A palavra cimento é originada do latim CAEMENTU, que na antiga Roma designava uma espécie de pedra natural de rochedos não esquadrejada. O produto é o componente básico do concreto, que é hoje o segundo material mais utilizado pelo homem, ficando atrás somente do elemento água (SNIC, 2003).

Conforme ABCP (2002, p. 5),

O cimento Portland foi criado por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. Nessa época, era comum na Inglaterra construir com pedra de Portland, uma ilha situada no sul desse país. Como o resultado da invenção de Aspdin, se assemelhasse na cor e na dureza a essa pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente e por isso que o cimento é chamado cimento Portland.

Em 1926, inaugurou-se a Companhia Brasileira de Cimento Portland, em Perus, a 23 quilômetros da cidade de São Paulo. A partir daí, a indústria brasileira do cimento iniciou um consistente processo de consolidação e crescimento (SNIC, 2003).

O cimento Portland é obtido pela pulverização do clínquer, esse constituído de silicatos hidráulicos de cálcio, como certa proporção de sulfato de cálcio natural podendo conter outras adições que modificam suas propriedades ou facilitem seu emprego (BAUER, 1994).

Para Petrucci (1998, p. 5),

O cimento Portland resulta da moagem de um produto denominado clínquer, obtido pelo cozimento até a fusão incipiente ( $\pm 30\%$  de fase líquida) de mistura de calcário e argila convenientemente dosada e homogeneizada, de tal forma que toda a cal se combine com os compostos argilosos, sem que, depois do cozimento, resulte cal livre em quantidade prejudicial. Após a queima é feita pequena adição de sulfato de cálcio, de modo a que o teor de  $\text{SO}_3$  não ultrapasse 3,0%, a fim de regularizar o tempo de início das reações do aglomerante com a água.

De acordo com Neville (1997) o processo de fabricação do cimento Portland consiste essencialmente em moer a matéria-prima, misturá-las nas proporções

adequadas e queimar essa mistura num forno rotativo até uma temperatura de 1452 °C. Nessa temperatura, o material sofre uma fusão incipiente formando pelotas, conhecidas como clínquer. O clínquer é resfriado e moído até um pó bem fino com a adição de um pouco de gesso, resultando o cimento Portland comercial largamente usado em todo o mundo.

## 4.2 AGREGADOS

Segundo Petrucci (1998, p. 38) entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia.

Ainda para o autor os agregados desempenham um importante papel nos concretos, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes, como: retração, aumento da resistência ao desgaste, etc., sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos, pois os agregados de boa qualidade têm resistência mecânica superior à da pasta do aglomerante.

Para Neville (1997, p. 125) “como pelo menos três quartas partes do volume do concreto são ocupadas pelos agregados, não surpreende que a sua qualidade seja de considerável importância”.

De acordo com a NBR 7211 (Agregados para concreto – Especificação, 2009) as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define agregado miúdo como os agregados cujos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Define ainda agregado graúdo, os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 4,75 mm.

#### 4.2.1 Agregado Miúdo

Entende-se por agregado miúdo normal ou corrente a areia natural quartzosa ou pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15% ficam retidos na peneira 4,8 mm (PETRUCCI, 1998).

As areias são divididas em muito grossas, grossas, médias, finas, conforme o valor do módulo de finura, que é a soma das porcentagens retidas acumuladas, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

De acordo com Petrucci (1998, p. 58) as areias de acordo com seu módulo de finura podem ser classificadas em:

- Muito grossas  $MF > 3,90$ ;
- Grossas  $3,30 < MF < 3,90$ ;
- Médias  $2,40 < MF < 3,30$ ;
- Finas  $MF < 2,40$ .

Para Neville (1997) o resultado de uma análise granulométrica pode ser interpretado muito mais facilmente quando representado graficamente. Com a curva granulométrica é possível ver, num simples relance, se a granulometria da amostra se enquadra em uma especificação, ou se é muito grossa ou muito fina, o deficiente em um determinado tamanho.

#### 4.2.2 Agregado Graúdo

Conforme a NBR 7211 (Agregados para concreto – Especificação, 2009) é chamado de graúdo quando pelo menos 95% de sua massa é retida na peneira de malha 4,8 mm e passa na peneira de 152 mm.

Os agregados graúdos devem ser provenientes de rochas estáveis, isto é, inalteráveis sob a ação do ar, da água ou do gelo. Devem ser desprezados agregados de rochas feldspáticas, ou de xisto, que se decompõem sob a ação do ar ou da água (PETRUCCI, 1998).

Para Mendes (2002, p. 19) a seleção do agregado graúdo adequado é condição fundamental para a produção de concretos de alto desempenho. Por esta razão, além de atender as exigências mínimas prescritas nas normas para concreto convencional, é importante que algumas características do agregado graúdo sejam analisadas com maior atenção, pois podem afetar sensivelmente as propriedades do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Ainda para o autor as principais características a serem analisadas são: mineralogia, composição granulométrica, dimensão máxima, forma e textura superficial, resistência mecânica, módulo de elasticidade e reatividade química.

As pedras britadas são separadas por peneiras e classificadas conforme sua dimensão, devendo ficar retido 95% da amostra nas peneiras do seu grupo (NBR – 7211, Agregados para concreto – Especificação, 2009).

- Brita 0 diâmetro 4,8 - 9,5 mm
- Brita 1 diâmetro 9,5 - 19 mm
- Brita 2 diâmetro 19 - 25 mm
- Brita 3 diâmetro 25 - 50 mm
- Brita 4 diâmetro 50 - 76 mm
- Brita 5 diâmetro 76 – 100 mm

As formas geométricas do agregado graúdo tem grande importância no fator qualidade do concreto. Sob esse aspecto a melhor forma é a que aproxima-se de uma esfera para seixos, e de um cubo para as britas (PETRUCCI, 1998).

### 4.3 ÁGUA DE AMASSAMENTO

A água utilizada na confecção do concreto deve ser de preferência potável não devendo conter resíduos industriais ou substâncias orgânicas.

Para Petrucci (1998, p. 74) não é correto dizer que toda água que serve para beber pode ser utilizada na confecção de concretos, pois muitas águas utilizáveis sem dano no concreto não podem ser ingeridas pelo homem.

A qualidade da água também tem um papel importante: impurezas contidas na água podem influenciar negativamente a resistência do concreto ou causar

manchamento da sua superfície, ou também, resultar corrosão da armadura. Por essas razões, deve-se dar atenção à qualidade da água para amassamento e para a cura do concreto (NEVILLE, 1997).

A água usada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as reações entre o composto.

De acordo com a NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto, 1978), a água a ser utilizada na confecção do concreto deverá atender aos seguintes limites:

- $5,8 \leq \text{pH} \leq 8,0$
- Resíduo sólido  $\leq 5000 \text{ mg/l}$
- Cloretos ( $\text{Cl}^-$ )  $\leq 500 \text{ mg/l}$
- Matéria orgânica  $\leq 3 \text{ mg/l}$
- Sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ )  $\leq 300 \text{ mg/l}$
- Açúcar  $\leq 5 \text{ mg/l}$

O teor de água no concreto fresco é dado pelo fator água-cimento, isto é, pela relação em peso água-cimento. Esta relação varia geralmente entre 0,3 e 0,6. Quanto menor for o teor de água, maior é a resistência do concreto e menor é a trabalhabilidade.

#### 4.4 CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND

Concreto de cimento Portland é o material resultante da mistura, em determinadas proporções, de um aglomerante, um agregado miúdo, um agregado graúdo e água. Pode-se ainda, se necessário, usar aditivos.

De acordo com Petrucci (1998, p.1) o concreto hidráulico é um material de construção constituído por mistura de um aglomerante com um ou mais materiais inertes e água e quando recém-misturado, deve oferecer condições tais de plasticidade que facilitem as operações de manuseio indispensáveis ao lançamento nas formas, adquirindo, com o tempo, pelas reações que então se processarem entre aglomerante e água, coesão e resistência.

Para Martins (2008, p. 8) concreto é uma mistura homogênea de cimento Portland com água e agregados, que depois de endurecida adquire estabilidade e

resistência. Pode incorporar outros componentes, na busca da melhoria de qualidades específicas. A produção de um concreto que atenda adequadamente a todas as características necessárias só é possível quando se utilizam materiais componentes de qualidade.

Ainda para o autor atualmente a proporção em que o concreto é usado é muito diferente do que era há 30 anos. Estima-se que o atual consumo mundial de concreto é da ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano.

As razões da maior utilização do concreto em relação aos outros materiais são: sua excelente resistência à ação da água sem deterioração séria; facilidade na obtenção de diversas formas e volumes devido à sua consistência plástica; baixo custo e disponibilidade dos principais componentes; e menor consumo de energia para sua obtenção (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

#### 4.5 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE FIBRA DE AÇO CORRUGADO

O concreto é o material mais popularizado no setor da construção civil, por apresentar características benéficas na execução de inúmeras obras no setor, como excelente resistência à água, resistência ao fogo e durabilidade, quando exposto a ambientes agressivos. No entanto, o concreto apresenta também algumas características de material frágil, suscetível à fissuração e ruptura. Sendo assim, apresenta-se a possibilidade de adicionar fibras de aço na matriz do concreto de modo a corrigir essa deficiência.

Conforme Figueiredo (2011, p. 1) alguns compósitos são utilizados na construção civil há muito tempo. Há registros que indicam que sua utilização já ocorria no Antigo Egito, como reportam as Sagradas Escrituras. Isto se deve ao fato de o material composto apresentar um comportamento mais adequado a determinadas aplicações, pois combina as distintas capacidades dos materiais que lhe deram origem.

Ainda para Figueiredo (2011, p. 2),

Desta forma, algumas das limitações das matrizes frágeis, como é o caso do concreto, podem ser compensadas pelo material que é utilizado para seu reforço. Além disso, como a adição da fibra ao concreto ocorre como qualquer outra matéria-prima, como cimento e agregados, há toda uma facilitação de aplicação do material. Em geral, todas as atividades relacionadas com montagem e instalação da armadura convencional são eliminadas, proporcionando uma grande facilidade executiva. Ou seja, não é necessária a instalação de um pátio de montagem de armadura e se ganha muito tempo eliminando as etapas de instalação das mesmas na fôrma. Por essas razões, a intensidade de utilização do concreto reforçado com fibras (CRF) vem aumentando progressivamente no mundo e especialmente no Brasil.

De acordo com Franco (2008, p. 14) a tecnologia do concreto reforçado com fibras de aço vem sendo estudada e aprimorada ao longo dos anos de uma maneira intensa e sua utilização é indicada como alternativa técnica e economicamente viável para diversos tipos de aplicações, mesmo para casos de certas estruturas convencionais em concreto armado, as quais a matriz do concreto reforçada por um reforço misto combinado entre fibras de aço mais armaduras convencionais poder gerar benefícios, trazendo melhorias com relação às propriedades do elemento estrutural quando comparado a outras soluções.

Ainda para Franco (2008, p. 15) concreto simples é um material de característica frágil e a função das fibras é de interceptar e controlar a propagação das fissuras que se formam na matriz do concreto, seja fissuras devido às ações de carregamentos ou devido aos efeitos de retração e temperatura. Com isso, a fibra altera o comportamento do concreto após sua ruptura, sendo capaz de apresentar uma capacidade relevante mesmo na face pós-fissuração do concreto, ou seja, a sua tenacidade, passando de um material frágil para dúctil, características que contribuem conseqüentemente para a impermeabilidade e a durabilidade da estrutura.

Segundo Tasca et al. (2010, p. 2) a fragilidade e baixa resistência à deformação é uma característica peculiar dos materiais compostos por matrizes cimentíceas como é o caso do concreto. Para solucionar essa limitação desenvolveu-se a possibilidade de adicionar fibras de aço como reforço, alterando as características iniciais das matrizes do concreto.

Ainda para o autor devido às fibras possuírem um alto módulo de elasticidade, elevada resistência à tração e ductilidade, as fibras de aço proporcionam um aumento na tenacidade nas estruturas de concreto melhorando

sua resistência ao impacto e à fadiga, contribuindo para o aumento da durabilidade dessas estruturas.

De acordo com Figueiredo (2000, p. 7) “as fibras de aço podem ser classificadas como fibras de alto módulo. Logo podem ser consideradas como fibras destinadas ao reforço primário do concreto, ou seja, não se destinam ao mero controle de fissuração”.

Para Figueiredo, Neto e Faria (2008, p. 75) “a nova especificação de fibras de aço para concreto que foi produzida pela associação brasileira de normas técnicas pode ser considerada um marco da tecnologia do concreto reforçado com fibra de aço no Brasil”.

Segundo a NBR 15530 (Fibras de aço para concreto – Especificação, 2007), as fibras de aço são classificadas da seguinte maneira:

Quanto à conformação da fibra:

- Tipo A: com ancoragem nas extremidades;
- Tipo C: corrugada;
- Tipo R: reta (sem ancoragem nas extremidades).

Quanto ao processo de produção:

- Classe I: fibra oriunda de arame trefilado a frio;
- Classe II: fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio;
- Classe III: fibra oriunda de arame trefilado e escarificado.

De acordo com Tasca et al. (2010, p.12) quando as fibras são adicionadas ao concreto, constituem um novo material, com propriedades distintas dos concretos convencionais. Isso ocorre devido à boa resistência mecânica à tração e ao elevado módulo de elasticidade que a fibra possui. Através de experimentos executados observou-se que o concreto com fibra de aço apresentou melhorias nas propriedades da resistência à compressão axial e à tração dos concretos em comparação a um concreto sem a adição de fibras.

Ainda para o autor a viabilidade da adição de fibras de aço é comprovada, parcialmente, pela melhoria das propriedades de resistência oferecida pelas fibras no interior da matriz de concreto.

Araújo, Oliveira (2005, p. 3) o resultado obtido foi o esperado sendo a confirmação da possibilidade da taxa de armadura mínima de flexão em vigas de

concreto armado devido à adição de fibras de aço, com a conservação da curvatura da seção transversal, garantindo assim a ductilidade mínima da estrutura.

São amplas as possibilidades de utilização de tecnologia de concreto reforçado com fibras e tal solução apresenta grandes vantagens econômicas e tecnológicas quando comparada aos sistemas convencionais em diversas aplicações, como no caso dos pisos, concreto projetado, pré-fabricados e outras (FRANCO, 2008).

Para Figueiredo (2011, p.235) há toda uma carência de pesquisa no tema da durabilidade dos concretos reforçados com fibras. Especialmente para obras de infraestrutura, onde a vida-útil esperada pode ser de mais de uma centena de anos, a parametrização da durabilidade do compósito é fundamental para a garantia de sua aplicação de uma forma mais sustentável.

## 5 METODOLOGIA

Os ensaios descritos a seguir foram realizados nas instalações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. As fibras de aço corrugadas utilizadas foram cedidas pela Construtora Piacentini.

### 5.1 MATERIAIS

- Fibras de aço corrugado tipo C, classe III, FF – 40(Comprimento Nominal – 40 mm), de acordo com a NBR 15530/2007.
- O cimento utilizado na mistura foi o CP V-ARI, por ser um cimento de alta resistência inicial, indicado para situações em que se necessita de desforma rápida.
- Agregado graúdo: o agregado graúdo utilizado foi a Brita 1 – malha 24 mm.
- Agregado miúdo: o agregado miúdo utilizado foi a areia de média granulometria, que é comumente utilizada em obras na cidade de Campo Mourão – PR.
- Água de amassamento: A água utilizada foi da rede de distribuição da Instituição onde foram realizados os experimentos.



Fotografia 1 – Fibras de Aço Corrugado

## 5.2 MÉTODOS

O programa experimental desenvolvido neste estudo foi baseado no comportamento do concreto com uso de fibras de aço corrugado adicionados em sua matriz.

Como forma de avaliar o desempenho das propriedades de resistência do concreto reforçado com fibra, foram produzidos quatro traços de concreto, sendo três deles com adição de diferentes teores de fibra de aço e um concreto de referência sem adição de fibra de aço. O primeiro traço sem a utilização de fibra serviu para que as propriedades mecânicas fossem comparadas e avaliadas, ou seja, foi o concreto de referência, os outros traços foram adicionadas as quantidades de 30, 60 e 90 quilogramas de fibra para 1m<sup>3</sup> de concreto. Adotou-se a nomenclatura respectivamente de F30, F60 e F90 para os traços de concretos com fibra e para o concreto de referência foi denominado REF. Os corpos de prova foram moldados e ensaiados após 7 dias de acordo com a NBR 5738/2008 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova).

Para que fosse feito o estudo da avaliação das resistências mecânicas do compósito, foram feitos três ensaios em laboratório, sendo eles: ensaio de tração por compressão diametral, ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos e ensaio para determinação da absorção de água.

### 5.2.1 Ensaios de Caracterização dos Agregados

A amostragem foi realizada de acordo com a NBR NM – 26 (Agregados – Amostragem, 2001).

### 5.2.1.1 Determinação da composição granulométrica do agregado miúdo

Conforme a NM – 26, as amostras de agregados foram secas em estufa de temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

As amostras foram peneiradas no conjunto de peneiras denominadas normal 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,14 mm e fundo, como mostra a fotografia 2.

O peneiramento foi contínuo por 8 minutos até que o material passante pela peneira fosse inferior a 1% da massa do material retido.

As pesagens foram realizadas com aproximação de 0,1% do peso da amostra.

Assim foi possível determinar a massa total retida em cada uma das peneiras do conjunto mais o fundo.



Fotografia 2 – Conjunto de peneiras e peneirador para ensaio de granulometria

#### 5.2.1.1.1 Dimensão máxima característica (D.M.C.)

A dimensão máxima característica é encontrada através da análise da coluna de % retida acumulada de cima para baixo, o primeiro valor maior que 5% correspondera a abertura da peneira, logo o D.M.C. é igual á abertura da peneira imediatamente superior.

#### 5.2.1.1.2 Módulo de finura (M.F.)

O módulo de finura é encontrado a partir da granulometria, conforme equação (1).

$$M.F. = \sum \frac{\% \text{ Retida Acomulada} - \text{Fundo}}{100} \quad (1)$$

#### 5.2.1.1.3 Classificação do agregado

A partir do módulo de finura foi possível classificar o agregado conforme tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação do agregado miúdo de acordo com seu módulo de finura**

Agregado	Módulo de Finura
Muito Grosso	MF > 3,90
Grosso	3,30 < MF < 3,90
Médio	2,40 < MF < 3,30
Fino	MF < 2,40

**Fonte: NBR – 7217 (Determinação da composição granulométrica dos agregados, 1987)**

### 5.2.1.2 Determinação da massa específica aparente do agregado miúdo

Preparou-se uma amostra com o dobro do volume do recipiente utilizado, sendo preenchido por meio de uma concha, e lançado de uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente.

Com o auxílio de uma régua foi feita a regularização da superfície tomando-se como base o topo do recipiente, como mostra a fotografia 3.

O recipiente foi pesado com o material nele contido, a massa do agregado ( $M_a$ ) é a diferença entre este e do recipiente no estado vazio ( $M_r$ ). Foram feitas três amostras e dividindo-se a média das massas ( $M_{a\ med}$ ) pelo volume do recipiente ( $V$ ).

$$M_{\text{aparente}} = \frac{M_{a\ med} - M_r}{V} \quad (2)$$

Onde:

$M_{\text{aparente}}$  = Massa específica aparente;

$M_r$  = Massa do recipiente;

$M_a$  = Massa do agregado;

$M_{a\ med}$  = Massa média do agregado;

$V$  = Volume do recipiente.



**Fotografia 3 - Recipiente completo para determinação da massa específica aparente**

### 5.2.1.3 Determinação da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman

Com a amostra de 500 gramas do agregado já seco em estufa  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , colocou-se água no frasco até a marca de  $200 \text{ cm}^3$ , cuidando para que não ficasse nada aderido em paredes. Em seguida introduziu-se cuidadosamente 500 g do agregado com o auxílio de um funil e uma espátula, ligeiramente inclinado agitou-se o frasco para a saída das bolhas de ar, como mostra a fotografia 4.

Colocando o frasco em nível realizou-se a leitura (L) na escala graduada.

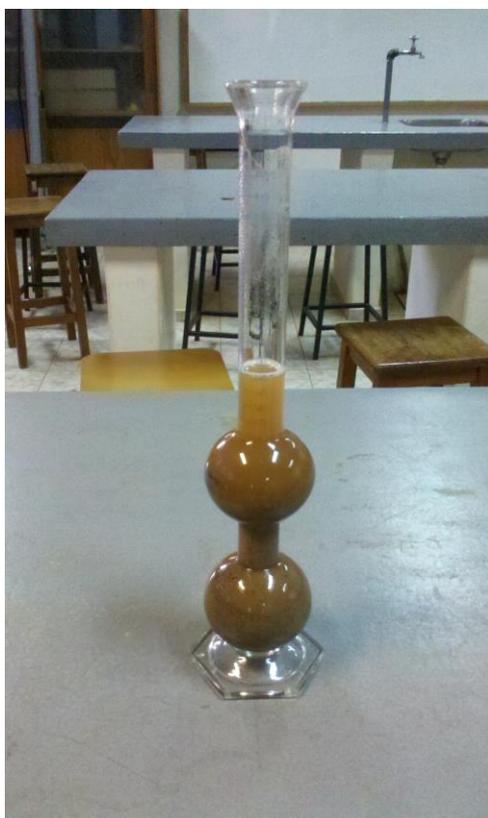
A massa específica absoluta foi calculada pela fórmula:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (3)$$

Onde:

$\gamma$  = Massa específica absoluta;

L = Leitura na escala graduada.



Fotografia 4 - Frasco de Chapman para determinação da massa específica absoluta

#### 5.2.1.4 Determinação da composição granulométrica do agregado graúdo

Após a coleta das amostras de agregados, conforme NM 26, as mesmas foram secas em estufa com temperatura de  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  e separadas em duas amostras de acordo com a NM 27.

A massa mínima para o ensaio com agregado de diâmetro máximo 10 mm foi de 5 kg.

As amostras foram peneiradas no conjunto de peneiras denominadas normal [(76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,14)mm e fundo].

O peneiramento foi contínuo por 15 minutos quando o material passante pela peneira foi inferior a 1% da massa do material retido.

As pesagens foram realizadas com aproximação de 0,1% do peso da amostra.

Assim foi possível determinar a massa total retida em cada uma das peneiras do conjunto mais o fundo.

##### 5.2.1.4.1 Dimensão máxima característica (D.M.C.)

A dimensão máxima característica foi encontrada através da análise da coluna de % retida acumulada de cima para baixo, o primeiro valor maior que 5% correspondera a abertura de peneira, logo o D.M.C. é igual á abertura de peneira imediatamente superior.

##### 5.2.1.4.2 Módulo de finura (M.F.)

O módulo de finura é encontrado a partir da granulometria, conforme equação (1)

$$M.F. = \sum \frac{\% \text{ Retida Acomulada} - \text{Fundo}}{100} \quad (1)$$

Onde:

$M_r$  = Massa do recipiente;

$M_a$  = Massa do agregado;

$M_{a \text{ med}}$  = Massa média do agregado;

$V$  = Volume do recipiente.

#### 5.2.1.4.3 Classificação do agregado

A partir da dimensão máxima característica pôde-se classificar o agregado conforme tabela 2.

**Tabela 2 – Classificação do agregado graúdo de acordo com o D.M.C.**

D.M.C.	Brita
9,5 mm	0 ou Pedrisco
19 mm	1
25 mm	2
38 mm	3
64 mm	4

Fonte: NBR – 7217 (1987)

#### 5.2.1.5 Determinação da massa específica absoluta do agregado graúdo

Peneirou-se a amostra na peneira 4,8 mm, e desprezou-se todo o material passante.

A amostra foi lavada e secada em estufa até não haver diferença entre as pesagens, deixando-a esfriar em temperatura ambiente.

O agregado foi imerso em água por um período de 24 horas.

Removeu-se a amostra da água espalhando-a sobre um pano absorvente, promovendo a retirada da água superficial. Então foi realizada a pesagem da amostra com aparência opaca, na condição saturada superfície seca (B).

A balança foi zerada com o cesto e a corrente imersa em água. Colocou-se a amostra (B) no cesto imerso e determinou-se o peso (C).

Secou-se a amostra até obter a constância nas pesagens e determinou-se a massa do agregado (A).

Assim pode-se encontrar a massa específica na condição seca, massa específica na condição saturada e absorção do agregado graúdo.

$$y_{abs\ seca} = \frac{A}{B - C} \quad (4)$$

$$y_{abs\ sat} = \frac{B}{B - C} \quad (5)$$

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

$y_{abs\ seca}$  = Massa específica na condição seca;

$y_{abs\ Sat}$  = Massa específica na condição saturada;

Ab = Absorção;

A = Massa na condição seca;

B = Massa na condição saturada;

C = Massa na condição imersa.

#### 5.2.1.6 Determinação da massa específica no estado compactado do agregado graúdo

Preparou-se uma amostra com aproximadamente 150% do volume do recipiente, este já no estado seco.

Determinou-se a massa do recipiente vazio ( $M_r$ ), em kg e seu volume (V) em  $\text{cm}^3$ .

Preencheu-se o recipiente em 3 camadas de mesma altura. Fez-se o adensamento de cada camada elevando a bastão metálico cerca de 5 cm e deixando-o cair, repetindo 25 vezes em cada camada.

Nivelou-se a superfície final com a régua metálica e determinou-se a massa do conjunto ( $M_a$ ), em kg. Repetiu-se o processo por 3 vezes e tirou-se a média do peso ( $M_{a\ med.}$ ).

A massa específica do agregado compactado foi encontrado pela equação (7).

$$M_{aparente} = \frac{M_{a\ med} - M_r}{V} \quad (7)$$

Onde :

$M_{aparente}$  = Massa específica aparente;

$M_r$  = Massa do recipiente;

$M_a$  = Massa do agregado;

$M_{a\ med}$  = Massa média do agregado;

$V$  = Volume do recipiente.

### 5.2.2 Método de Dosagem

O método de dosagem utilizado para a determinação do traço referência foi o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) / ACI (American Concrete Institute).

A primeira etapa do método foi a caracterização dos seus materiais (massa específica e absoluta dos agregados e cimento e módulo de finura da areia).

Após a caracterização dos materiais, foi encontrado o desvio padrão  $S_d$  em função das condições de preparo do concreto.

- $S_d = 4,0$  MPa (Controle rigoroso ou total da qualidade) assistência permanente de tecnologistas, todos os materiais medidos em peso, existência de medidor de água preciso, determinação constante da umidade dos agregados e garantia de uniformidade dos materiais componentes.

- $S_d = 5,5$  MPa (Controle razoável ou parcial da qualidade) assistência permanente de tecnologistas, cimento medido em peso e agregados em volume, existência de medidor de água, determinação da umidade dos agregados correção da quantidade de água em função da umidade.
- $S_d = 7,0$  MPa (Controle regular ou deficiente da qualidade) o cimento é medido em peso e agregados em volume, existência de medidor de água sem muita precisão, umidade dos agregados estimada, correção da quantidade de água pode ou não ser corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados.

A partir do diâmetro máximo característico do agregado graúdo, pode-se então realizar o cálculo do  $F_{cj}$  para determinação da resistência de dosagem, conforme segue.

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 S_d \quad (8)$$

Onde:

$F_{cj}$  = Resistência à compressão de dosagem, a  $j$  dias de idade, que normalmente equivale a 28 dias para cimento comum e a 7 dias para cimento ARI;

$F_{ck}$  = Resistência característica à compressão do concreto;

$S_d$  = Desvio padrão que deve ser adotado de acordo com sua produção.

Com o cálculo do  $F_{cj}$  e com o tipo de cimento que foi utilizado pode-se encontrar o fator água/cimento ( $F_{a/c}$ ) pela curva de Walz, Figura 1.

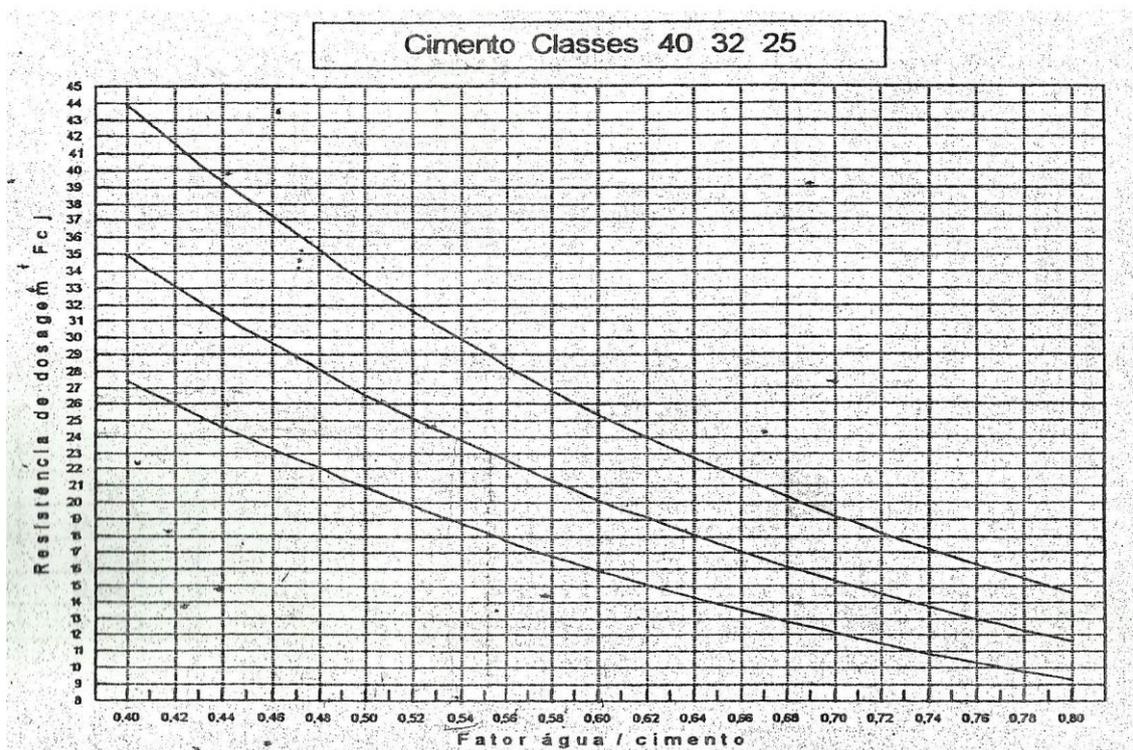


Figura 1 - Curva de Walz

Fonte: Método de dosagem ABCP / ACI (2006)

O consumo de água por metro cúbico ( $Q_{\text{água}}$ ) foi dado em função do abatimento requerido para o concreto, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Consumo de água aproximado (litros/m<sup>3</sup> de concreto) em função do abatimento

Abatimento de Tronco de Cone mm	Dimensão Máxima Característica mm				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220 Litros	195 Litros	190 Litros	185 Litros	180 Litros
60 a 80	225 Litros	200 Litros	195 Litros	190 Litros	185 Litros
80 a 100	230 Litros	205 Litros	200 Litros	195 Litros	190 Litros

Fonte: Método de dosagem ABCP / ACI (2006)

Com o fator água/cimento ( $F_{a/c}$ ) e o volume de água/m<sup>3</sup> ( $Q_{\text{água}}$ ) foi possível encontrar a quantidade de cimento ( $Q_{\text{cimento}}$ ).

Como:

$$F_{a/c} = \frac{Q_{\text{água}}}{Q_{\text{cimento}}} \quad (9)$$

Logo:

$$Q_{\text{cimento}} = \frac{Q_{\text{água}}}{F_{a/c}} \quad (10)$$

Onde:

$Q_{\text{cimento}}$  = Massa de cimento;

$Q_{\text{água}}$  = Massa de água;

$F_{a/c}$  = Fator água/cimento

O volume de brita ( $V_b$ ) foi encontrado em função do módulo de finura do agregado miúdo, este encontrado em função da granulometria do mesmo, tabela 4.

**Tabela 4 - Volume de agregado graúdo (m<sup>3</sup> de brita / m<sup>3</sup> de concreto) em função do módulo de finura da areia e do diâmetro máximo característico do agregado graúdo**

Módulo de Finura da Areia	Dimensão Máxima Característica				
	mm				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,82	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: Método de dosagem ABCP / ACI (2006)

Assim foi possível encontrar:

- Massa de brita:

$$Q_{\text{brita}} = V_b \times M_{\text{aparente areia}} \times 1000 \quad (11)$$

- Volume de areia:

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left( \frac{Q_{\text{cimento}}}{\gamma_{\text{abs cimento}} \times 1000} + \frac{Q_{\text{água}}}{1000} + \frac{Q_{\text{brita}}}{\gamma_{\text{abs brita}} \times 1000} \right) \quad (12)$$

- Massa de areia:

$$Q_{\text{areia}} = V_{\text{areia}} \times \gamma_{\text{abs areia}} \times 1000 \quad (13)$$

### 5.2.3 Mistura ou Amassamento dos Componentes do Concreto

A mistura dos componentes foi feita mecanicamente com o auxílio de betoneira. Primeiramente a betoneira foi lavada e retirada todo o excesso de água, deixando-a somente molhada.

A seguir foram feitos os traços de concreto sem adição de fibras de aço corrugado e com 30, 60 e 90 quilogramas para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

### 5.2.4 Moldagem e Cura dos Corpos de Provas

Após a montagem e aplicação de desmoldante na face interna do molde, foram preenchidos em 2 camadas, em cada camada aplicou-se 12 golpes uniformemente com haste de compactação. Retirou-se o excesso e emparelhou-se a superfície com o auxílio de uma colher de pedreiro, fotografia 5. Os corpos de prova

foram armazenados em local protegido e em piso nivelado por 24 horas, como mostra a fotografia 6.

Após esse período foram desmoldados e encaminhados para a câmara úmida, onde permaneceram até completarem 7 dias.



**Fotografia 5 - Moldagem dos corpos de prova**



**Fotografia 6 – Corpos de prova armazenados em local protegido por 24 horas**

### 5.2.5 Ensaio de tração por compressão diametral

Devido às fibras contribuírem significativamente na resistência a tração dos elementos cimentícios, este ensaio determina um importante parâmetro na caracterização dos concretos, tratando-se em especial do concreto reforçado com fibra, como mostra a fotografia 7.

O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado de acordo com a NBR 7222/1994 (Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos). Foram ensaiados dez corpos de prova sem adição de fibras e dez corpos de prova para cada traço com adição de fibras.



**Fotografia 7 – Ensaio de tração por compressão diametral**

### 5.2.6 Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos

O ensaio de resistência à tração na flexão é considerado um ensaio mais complexo, devido ao seu processo de execução e pela aparelhagem necessária, fotografia 8.

O ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos foi realizado de acordo com a NBR 12142/1991 (Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos). Foram ensaiados dez corpos de prova sem adição de fibras e dez corpos de prova para cada traço com adição de fibras.



**Fotografia 8 – Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos**

### 5.2.7 Ensaio para determinação da absorção de água no concreto

O ensaio para determinação da absorção de água foi realizado de acordo com a NBR 9778/1987 (Argamassa e Concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índices de vazios e massa específica), fotografia 9. Foram ensaiados três corpos de prova sem adição de fibras e três corpos de prova para cada traço com adição de fibras.



**Fotografia 9 – Ensaio para determinação da absorção de água no concreto**

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Os ensaios de caracterização dos agregados foram elaborados de acordo com a metodologia descrita anteriormente.

#### 6.1.1 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Miúdo

Os resultados da composição granulométrica dos agregados miúdo podem ser encontrados na tabela 5.

**Tabela 5 - Composição granulométrica Vi**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
4,8	2	0,20	0,20	0,20
2,4	12	1,20	1,40	1,60
1,2	43	4,30	5,70	7,30
0,6	122	12,20	17,90	25,20
0,3	461	46,10	64,00	89,20
0,15	325	32,50	96,50	185,70
Fundo	35	3,50	100,00	285,70
Total	1000	100,00		



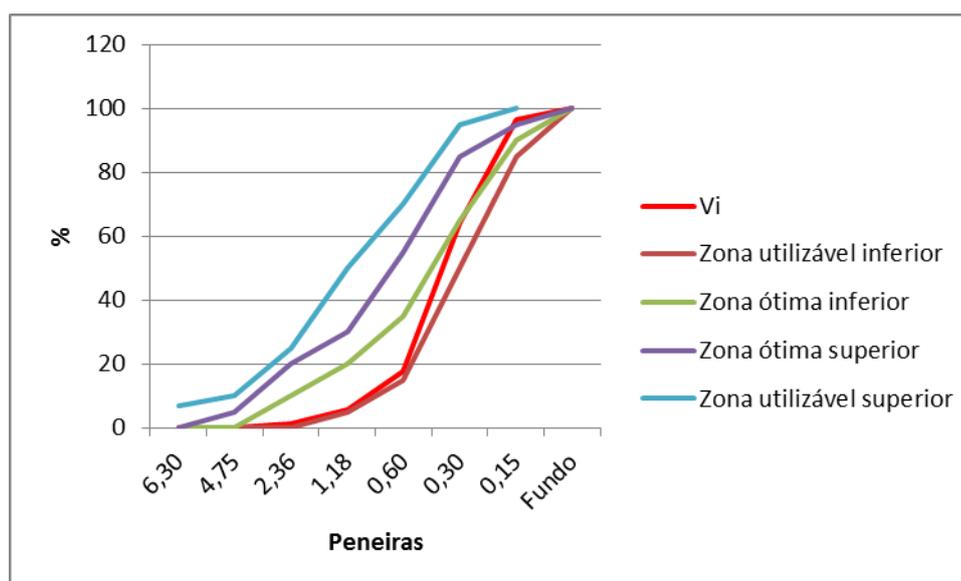
**Fotografia 10 – Distribuição granulométrica da areia**

A partir da granulometria, fotografia 10, pode-se obter a dimensão máxima característica, o módulo de finura e a classificação do agregado conforme a tabela 6.

**Tabela 6 - Classificação do agregado miúdo**

Agregado	Dimensão Máxima Característica (D.M.C.)	Módulo de Finura (M.F.)	Classificação do Agregado
Vi	2,4 mm	2,82	Médio

O gráfico 1 apresenta o comparativo granulométrico dos agregados miúdo com as zonas utilizável e ótima de acordo com a NBR 7211(2009).



**Gráfico 1 – Comparativo da distribuição granulométrica de Vi com as zonas utilizável e ótima**

### 6.1.2 Massa Específica Aparente do Agregado Miúdo

A partir do ensaio de massa específica aparente, obtiveram-se os seguintes resultados de acordo com a tabela 7.

**Tabela 7 - Massa específica aparente do agregado miúdo**

Massa e Volume	Areia Natural
$M_{a1}$	4,903 Kg
$M_{a2}$	4,954 Kg
$M_{a3}$	5,006 Kg
$M_{ed}$	4,954 Kg
V	3,100 L
$M_{aparente}$	1598 kg/m <sup>3</sup>

### 6.1.3 Massa Específica Real ou Absoluta do Agregado Miúdo (Frasco de Chapman)

A tabela 8 apresenta o resultado da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo.

**Tabela 8 - Massa específica aparente do agregado miúdo**

Agregado Miúdo	Areia Natural
Massa Específica Absoluta	2631 kg/m <sup>3</sup>

### 6.1.4 Determinação da Composição Granulométrica do Agregado Graúdo

O resultado da composição granulométrica do agregado graúdo pode ser encontrado na tabela 9.

**Tabela 91 - Composição granulométrica do agregado graúdo****(continua)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	∑ % Retida Acum.
76	0	0,00	0,00	0,00
38	0	0,00	0,00	0,00
19	0	0,00	0,00	0,00
9,5	656	65,60	65,60	65,60
4,8	334	33,40	99,00	164,60
2,4	3,5	0,35	99,35	263,95

**Tabela 92 - Composição granulométrica do agregado graúdo****(conclusão)**

Peneira # (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acum.	$\Sigma$ % Retida Acum.
1,2	1	0,10	99,45	363,40
0,6	0	0,00	99,45	462,85
0,3	0	0,00	99,45	562,30
0,15	0	0,00	99,45	661,75
Fundo	5,5	0,55	100,00	761,75
Total	1000	100,00		

**Fotografia 11 – Distribuição granulométrica da brita**

A partir da granulometria, fotografia 11, pode-se obter a dimensão máxima característica, o módulo de finura e a classificação do agregado conforme tabela 10.

**Tabela 10 - Classificação do agregado graúdo**

Agregado	Dimensão Máxima Característica (D.M.C.)	Módulo de Finura (M.F.)	Classificação do Agregado
Graúdo	19 mm	6,62	Brita 1

### 6.1.5 Massa Específica Absoluta do Agregado Graúdo

Para o cálculo da massa específica do agregado graúdo foi necessárias três pesagens conforme tabela 11.

**Tabela 11 - Pesagem da amostra nas condições seca, saturada e imersa**

Amostra	Seca	Saturada	Imersa
Peso	1180 g	1197 g	792 g

Com as pesagens foi possível encontrar a massa específica seca e saturada, também a absorção do agregado graúdo, conforme tabela 12.

**Tabela 12 - Massa específica seca, saturada e absorção do agregado graúdo**

Agregado	$\rho_{\text{abs seca}}$	$\rho_{\text{abs saturada}}$	Absorção
Brita 1	2910 Kg/m <sup>3</sup>	2955 Kg/m <sup>3</sup>	1,44%

### 6.1.6 Massa Específica no Estado Compactado do Agregado Graúdo

O resultado obtido da massa específica no estado compactado do agregado graúdo foi de  $M_{\text{compactado}} = 1688 \text{ Kg/m}^3$ .

## 6.2 ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Nas tabelas a seguir, verifica-se o resultado do ensaio de compressão diametral para cada um dos traços.

**Tabela 13 - Área dos corpos de prova e resistência à tração por compressão diametral do traço REF**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	97,83	98,28	98,05	7551,45	0,98
2	98,60	97,37	97,98	7540,67	1,18
3	98,42	98,21	98,31	7591,55	0,98
4	98,55	97,98	98,26	7583,83	1,20
5	98,27	98,18	98,22	7577,66	0,97
6	98,27	97,82	98,04	7549,91	0,99
7	97,81	98,39	98,10	7558,38	1,00
8	98,34	96,90	97,62	7484,60	1,25
9	97,78	98,62	98,20	7573,80	1,21
10	98,01	98,43	98,22	7576,89	1,23
Média (MPa)					1,10

**Tabela 14 - Área dos corpos de prova e resistência à tração por compressão diametral do traço F30**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	100,33	100,15	100,24	7891,74	1,33
2	99,93	100,64	100,28	7898,83	1,25
3	100,35	99,77	100,06	7863,43	1,54
4	100,41	100,68	100,54	7939,84	1,37
5	99,45	99,95	99,70	7806,95	1,25
6	100,33	100,03	100,18	7882,30	1,42
7	99,61	100,54	100,07	7865,79	1,45
8	100,33	100,25	100,29	7899,62	1,23
9	100,48	100,14	100,31	7902,77	1,31
10	199,50	99,59	99,54	7782,69	1,61
Média (MPa)					1,37

**Tabela 153 - Área dos corpos de prova e resistência à tração por compressão diametral do traço F60**

(continua)

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	99,97	100,30	100,13	7875,22	1,61
2	100,46	99,93	100,19	7884,66	1,50
3	100,13	100,31	100,22	7888,60	1,65
4	100,26	100,30	100,28	7898,04	1,26

**Tabela 15 - Área dos corpos de prova e resistência à tração por compressão diametral do traço F60**

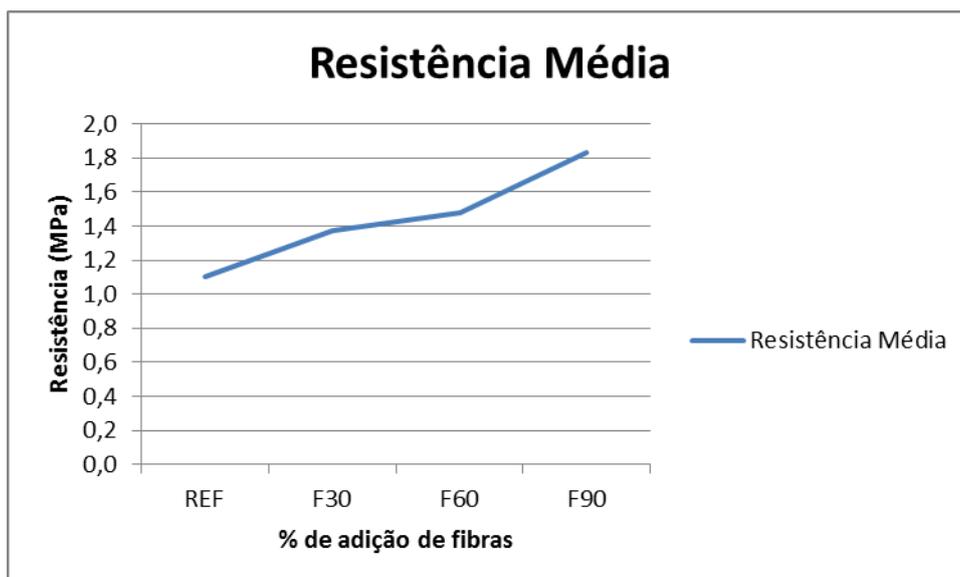
**(conclusão)**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
5	100,63	100,26	100,44	7924,06	1,70
6	100,30	99,90	100,10	7869,72	1,30
7	100,03	99,99	100,01	7855,57	1,32
8	100,09	100,52	100,30	7901,98	1,41
9	100,23	100,45	100,34	7907,50	1,47
10	100,14	100,30	100,22	7888,60	1,63
Média (MPa)					1,48

**Tabela 16 - Área dos corpos de prova e resistência à tração por compressão diametral do traço F90**

CP	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Ø média (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	99,77	100,93	100,35	7909,07	1,84
2	100,24	99,87	100,05	7862,64	2,13
3	100,32	100,03	100,17	7881,51	1,94
4	100,72	100,42	100,57	7943,79	1,68
5	100,53	100,26	100,39	7916,17	1,87
6	100,43	100,59	100,51	7934,32	1,77
7	100,09	100,35	100,22	7888,60	1,53
8	100,14	99,92	100,03	7858,71	1,80
9	100,56	99,82	100,19	7883,87	1,76
10	99,15	98,15	98,65	7643,37	2,00
Média (MPa)					1,83

O gráfico 2, apresenta um comparativo da resistência (MPa) com a porcentagem de adição de fibras de aço nos diferentes traços citados.



**Gráfico 2 – Comparativo da resistência à tração por compressão diametral (MPa) com adição de fibras de aço**

A partir dos resultados obtidos no ensaio realizado aos 7 dias de idade, pode-se observar que ocorreu um ganho médio de resistência comparando-se o traço REF com os outros citados como mostra o gráfico 1.

Comparando-se o traço F30 com o REF houve um aumento de aproximadamente 25% na resistência do concreto, já comparando os traços F60 e F90 com o traço REF houve um aumento de aproximadamente 35% e 67% respectivamente na resistência do concreto.

Para Tasca et al. (2010) os resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral realizado aos 28 dias de idade indicaram um ganho médio de resistência de 53,5% nos concreto com fibra de aço, sendo que o menor ganho foi de 22,8% correspondente ao traço F30. Entretanto aos 120 dias o acréscimo médio de resistência dos traços com fibras de aço atingiu 59,6% em relação ao traço REF, o traço F30 apresentou, novamente, o menor ganho de resistência, obtendo-se 43,3% a mais que o traço sem fibras de aço.

### 6.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO EM CORPOS DE PROVA PRISMÁTICO

Nas tabelas seguir, verifica-se o resultado do ensaio à tração na flexão em corpos de provas prismáticos para cada um dos traços.

**Tabela 17 - Área dos corpos de prova e resistência à tração na flexão em corpos de prova prismático do traço REF**

CP	L1 (mm)	L2 (mm)	Comprimento (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	101,37	105,65	403,00	10710,27	0,73
2	100,87	104,03	401,00	10494,01	0,97
3	100,18	102,28	400,00	10246,92	0,71
4	100,38	104,50	397,00	10490,73	0,79
5	101,69	107,01	402,00	10882,35	0,70
6	102,82	101,50	399,00	10436,23	0,78
7	99,97	100,50	401,00	10046,95	0,75
8	100,77	99,98	400,00	10075,49	0,79
9	100,76	103,11	401,00	10390,38	0,85
10	100,02	104,91	398,00	10494,12	0,73
Média (MPa)					0,78

**Tabela 18 - Área dos corpos de prova e resistência à tração na flexão em corpos de prova prismático do traço F30**

CP	L1 (mm)	L2 (mm)	Comprimento (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	101,70	103,93	399,00	10570,18	1,10
2	100,98	102,99	399,00	10399,93	1,00
3	102,90	103,54	400,00	10655,30	1,08
4	102,39	105,20	400,00	10771,42	1,06
5	101,73	102,73	399,00	10451,23	1,15
6	101,93	110,64	401,00	11278,09	1,00
7	102,83	106,37	398,00	10938,54	1,06
8	100,37	104,00	400,00	10439,00	1,24
9	102,48	104,81	399,00	10740,93	1,19
10	102,94	104,75	400,00	10783,48	1,10
Média (MPa)					1,10

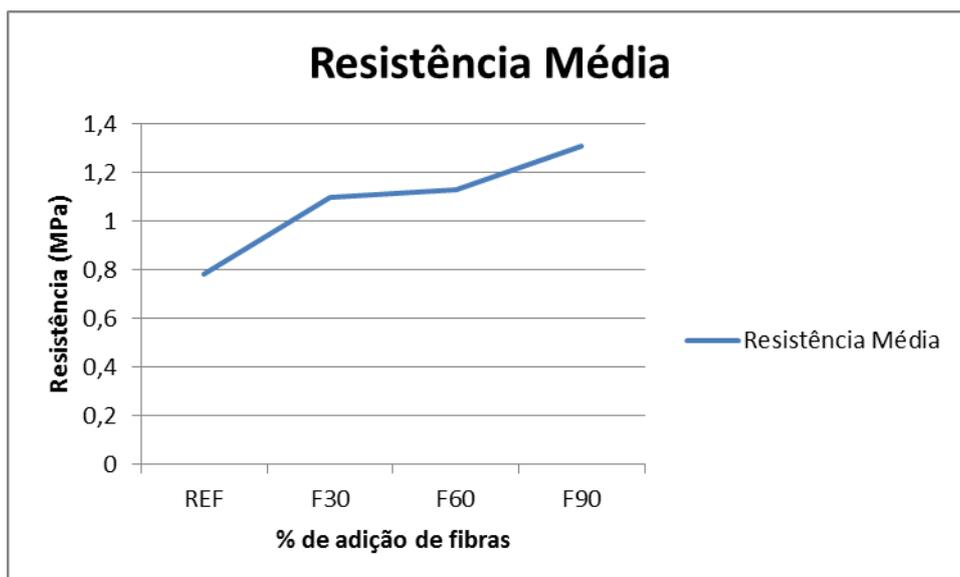
**Tabela 19 - Área dos corpos de prova e resistência à tração na flexão em corpos de prova prismático do traço F60**

CP	L1 (mm)	L2 (mm)	Comprimento (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	104,13	103,92	400,00	10821,70	1,18
2	101,27	105,33	399,00	10667,27	1,02
3	102,25	104,42	400,00	10677,45	1,15
4	103,05	104,15	401,00	10732,65	1,24
5	102,81	105,70	400,00	10867,01	1,11
6	100,86	104,57	400,00	10546,93	1,21
7	101,84	103,92	400,00	10583,72	1,16
8	104,13	104,23	400,00	10853,99	1,01
9	102,89	105,19	402,00	10822,99	0,96
10	102,13	106,91	400,00	10919,25	1,20
Média (MPa)					1,13

**Tabela 20 - Área dos corpos de prova e resistência à tração na flexão em corpos de prova prismático do traço F90**

CP	L1 (mm)	L2 (mm)	Comprimento (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistência (MPa)
1	102,30	106,33	400,00	10877,56	1,15
2	103,73	100,71	399,00	10447,17	1,26
3	101,86	104,22	400,00	10615,85	1,31
4	102,54	102,87	400,00	10549,31	1,13
5	104,39	103,57	400,00	10812,71	1,38
6	104,59	102,48	400,00	10718,90	1,38
7	103,72	103,37	401,00	10722,05	1,32
8	104,32	103,13	400,00	10758,52	1,35
9	101,58	103,82	400,00	10547,06	1,44
10	103,14	104,08	401,00	10735,85	1,43
Média (MPa)					1,31

O gráfico 3, apresenta um comparativo da resistência (MPa) com a porcentagem de adição das fibras de aço nos diferentes traços citados.



**Gráfico 3 – Comparativo da resistência à tração na flexão (MPa) com adição de fibras de aço**

A partir dos resultados obtidos no ensaio realizado aos 7 dias de idade, pode-se observar que ocorreu um ganho médio de resistência comparando o traço REF com os outros citados como mostra o gráfico 2.

Comparando-se o traço F30 com o REF houve um aumento de aproximadamente 40% na resistência do concreto, já comparando os traços F60 e F90 com o traço REF houve um aumento de aproximadamente 45% e 68% respectivamente na resistência do concreto.

Para Tasca et al. (2010) os resultados obtidos no ensaio de tração na flexão realizado aos 120 dias de idade pode-se verificar que, o ganho de resistência média, dos concretos com fibras de aço, foi de 33,95% em relação ao traço REF.

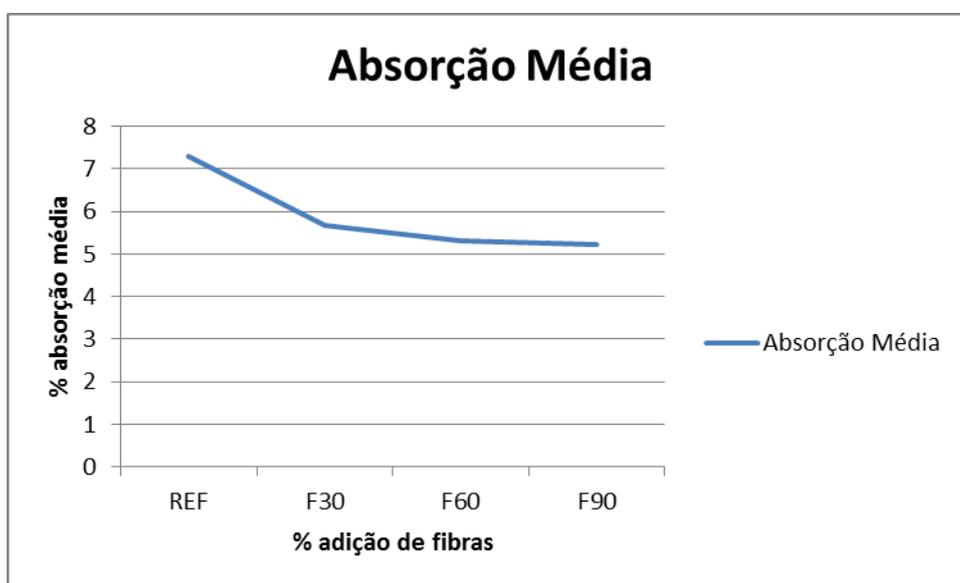
#### 6.4 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO

Na tabela 21, pode-se observar o resultado da absorção média para cada um dos traços.

**Tabela 21 - Absorção do concreto**

Traço	CP	Peso Saturado (Kg)	Peso Seco (Kg)	Absorção (%)	Absorção Média (%)
REF	1	3,828	3,561	7,49	7,30
	2	3,869	3,611	7,14	
	3	3,849	3,588	7,27	
F30	1	3,976	3,763	5,66	5,68
	2	3,908	3,697	5,71	
	3	3,880	3,671	5,69	
F60	1	4,001	3,796	5,40	5,30
	2	3,997	3,798	5,24	
	3	3,985	3,786	5,25	
F90	1	4,008	3,810	5,19	5,22
	2	4,111	3,905	5,27	
	3	4,054	3,853	5,21	

A seguir observa-se a variação da absorção média para cada traço apresentado.

**Gráfico 4 – Comparativo da absorção média do concreto**

A partir dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água no concreto realizado aos 7 dias de idade, pode-se observar que o traço REF teve 28,52% de absorção a mais que o traço F30, já comparando com os traços F60 e F90, o traço

REF teve 37,73% e 39,85% respectivamente de absorção de água a mais, como mostra o gráfico 4 .

## 6.5 ESTUDO DE CASO

A construtora Piacentini Ltda utilizou fibras de aço corrugado em empreendimento na cidade de Campo Mourão onde o aluno realizou um estudo de caso coletando dados e acompanhando como essa tecnologia foi empregada.

As fibras de aço corrugado foram utilizadas pela construtora com o intuito de substituir as armaduras convencionais, proporcionando assim, uma redução de custos e de tempo para execução do empreendimento.

Utilizou-se 20 kg de fibras de aço corrugado para cada 1 m<sup>3</sup> de concreto usinado para a execução dos 84 radiers, onde cada radier utilizou 4,5 m<sup>3</sup> de concreto com adição de 90 kg de fibras de aço corrugado para sua concretagem.

As fotografias a seguir mostram as etapas da execução de um radier com utilização das fibras de aço corrugado.

A fotografia 12 mostra o terreno já compactado e com gabarito finalizado, reutilizando-se as tábuas e pontaletes para diversos serviços posteriores.



**Fotografia 12 – Gabarito Unidade Habitacional**

Na figura 13, mostra-se o preparo do terreno onde depois de compactado e com gabarito finalizado, foram abertas valetas para a instalação da tubulação de esgoto.



**Fotografia 13 – Tubulação de Esgoto**

A seguir, as valetas foram cobertas com terra e uma leve camada de pedrisco. Com pontaletes foram marcados os níveis para encaixe das formas metálicas, como mostra a figura 14.



**Fotografia 14 – Marcação para Encaixe das Formas Metálicas**

Depois de fixados os pontaletes, foi colocada uma lona plástica de tamanho igual ao radier para que o concreto não perdesse água para o solo. Depois da lona

colocada foram fixadas as formas metálicas para manter a espessura de projeto, 8 cm na parte interna e 6 na parte externa da residência, como mostra a figura 15.



**Fotografia 15 – Aplicação da Lona e Formas Metálicas**

Para cada radier, utilizou-se 4,5 m<sup>3</sup> de concreto de 20 MPa de resistência, In loco eram adicionados 4,5 sacos de fibras de aço corrugado, ou seja, 20 kg para cada 1m<sup>3</sup> de concreto usinado. Depois de adicionado as fibras de aço ao concreto, era realizada a mistura dos materiais por 20 minutos. Como mostra a figura 16.



**Fotografia 16 – Adição e Mistura das Fibras de Aço Corrugado ao Concreto**

Na figura 17, mostra-se como foi realizada a concretagem do radier utilizando-se carriolas como meio de transporte para despejar o concreto com fibras de aço corrugado no local desejado.



**Fotografia 17 – Transporte do Concreto**

A concretagem era realizada por funcionários da própria construtora, para que houvesse uma conformidade construtiva entre todas as unidades no conjunto habitacional, como mostra a figura 18.



**Fotografia 18 – Execução do Radier**

Na figura 19, mostra-se que na parte externa da residência não podia haver nenhuma falha ou trincas, pois não há nenhum revestimento posterior, já na parte interna o concreto não é desempenado, pois posteriormente seria colocado um piso cerâmico.



**Fotografia 19 – Execução do Radier e Desempeno da Parte Externa**

Na figura 20, mostra-se o radier depois de completamente concretado e desempenado na parte externa.



**Fotografia 20 – Radier Finalizado**

Depois do endurecimento do concreto foi espalhada uma leve camada de pedrisco molhado para que não ocorressem trincas e falhas durante a cura do concreto, conforme a figura 21.



**Fotografia 21 – Radier Finalizado com Camada de Pedrisco e Água**

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, conclui-se:

- a) De acordo com os ensaios realizados em laboratório a classificação do agregado miúdo foi considerado de média granulometria, já o agregado graúdo foi considerado como brita 1.
- b) O comparativo da resistência à tração por compressão diametral mostrou que quanto maior a adição de fibras de aço no concreto maior é a sua resistência, o ganho de resistência médio dos concretos com fibras de aço corrugado, foi 42,35% em relação ao concreto sem fibras de aço corrugado.
- c) De acordo com o ensaio de tração na flexão, quanto maior a adição de fibras de aço no interior do concreto maior é o ganho de resistência, o aumento de resistência médio dos concretos com fibras de aço corrugado, foi 51% em relação ao concreto sem fibras de aço corrugado.
- d) O comparativo da absorção média de água do concreto mostrou que quanto maior a quantidade de fibras no interior do concreto menor é a sua absorção de água, o ganho de absorção médio do concreto sem fibras de aço corrugado, foi 35,35% em relação ao concreto com fibras de aço corrugado.
- e) Durante a confecção dos corpos de prova no desenvolvimento experimental, foi possível observar que quanto maior a quantidade de fibras adicionadas, mais difícil era para manusear o concreto, sendo que para o traço F90, ou seja, 90 kg de fibras por m<sup>3</sup> de concreto, os corpos de prova apresentaram bicheiras devido á falta de trabalhabilidade, o que indica uma restrição para a aplicação deste traço.
- f) Com este estudo de caso, foi possível observar como é empregada essa tecnologia e também que ao utilizar-se a fibra de aço corrugado, o ganho de tempo para a execução da obra é significativo, e no emprego dessa tecnologia a mão de obra não precisa de treinamento específico.

## 8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530 – Fibras de aço para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222 – Argamassa e Concreto – Determinação de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778 – Argamassa e Concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM - 26: Agregados - Amostragem. NBR NM - 26**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM - 27: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. NBR NM - 27**. Rio de Janeiro, 2001.

BAUER, Luiz A.F. **Materiais de Construção: novos materiais para construção civil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994.

CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UFG – COMPEEX, 2., 2005, Goiânia. **Anais eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica**. Goiânia: UFG, 2005. Disponível em: <[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=115164](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=115164)>. Acesso em 12 de nov. 2013, 22:15.

FIGUEIREDO, Antonio D. de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Livre Docencia) – Universidade de São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/pt-br.php>>. Acesso em: 5 ago. 2013.

FIGUEIREDO, Antonio D. de. **Concreto com fibras de aço**, São Paulo, 2000. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt\\_00260.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt_00260.pdf)>. Acesso em: 21 ago. 2013.

FIGUEIREDO, Antonio D. de; NETO, Pedro J. C.; FARIA, Hernando M. Anova normatização brasileira sobre fibras de aço. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo, v. 50, abr. 2008. Disponível em: <[http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/rev\\_construcao\\_50.htm](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/rev_construcao_50.htm)>. Acesso em: 2 ago. 2013.

FRANCO, Bruno L. M. A tecnologia do concreto reforçado com fibras de aço. **Revista Concreto e Construções**, São Paulo, v. 51, jul. 2008. Disponível em: <[http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/rev\\_construcao\\_51.htm](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/rev_construcao_51.htm)>. Acesso em 2 ago. 2013.

MARTINS, Paulo B. M. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto**. 2008. 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2008. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/PAULO%20BENJAMIM%20MORAIS%20MARTINS.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2013, 20:05.

MENDES, Sandro E. da S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 146 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2002. Disponível em: <<http://www.ppgcc.ufpr.br/dissertacoes/d0010.pdf>>. Acesso em 12 nov. 2013, 20:30.

MEHTA, Povindar K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **CONCRETO – Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

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

SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 4., 2010, Rio Grande. **Estudo da viabilidade de adição de fibras de aço no concreto exposto ao ambiente marítimo: Análise da melhoria das propriedades de resistência**. Rio Grande: FURG, 2010. Disponível em: <<http://www.semengo.furg.br/2010/05.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2013.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO – SNIC 50 anos: História do cimento no Brasil. Rio de Janeiro: SNIC, 2003.