

## ANÁLISE DE ADIÇÃO DE FIBRA DE ALUMÍNIO EM MATRIZES DE CONCRETO: Resistência à compressão

Raul Suzuki Pinto Rabêlo – Unipê - (raulsuzuki77@gmail.com)  
 Evelyne Emanuelle Pereira Lima – Unipê – (evelyne.lima@unipe.edu.br)  
 Thaissa Ingrid Vaz de Carvalho – Unipê – (thaissa.carvalho@hotmail.com)  
 Antonio da Silva Sobrinho Júnior – UFPB – (sobrinhojr@hotmail.com)

### RESUMO

É notória evolução do concreto ao longo dos anos, suas aplicações são quase que ilimitadas, e um fator que potencializa ainda mais seu uso é a sua característica compósita. Apesar de existirem tantos pontos positivos na sua utilização, vale salientar um dos fatores que mais limitam sua utilização é a baixa resistência à tração. Um dos métodos para remediar tal ponto é a adição de fibras na matriz de concreto, e o estudo proposto por este TCC foi analisar a interação de fibras de alumínio em matrizes de concreto. Este tipo de análise leva consigo o intuito de fomentar a comunidade acadêmica e estimular a produção e aumento do acervo nacional sobre o assunto, regulamentando seu uso através normativas nacionais. O estudo foi feito com a análise de características do concreto no estado fresco e endurecido, no estado fresco foi medido o abatimento de tronco de cone (*slumptest*) conforme a NBR NM 67, e no seu estado endurecido que foi analisado a sua resistência à compressão conforme a norma NBR 5739. No total foram ensaiados 18 corpos de prova à compressão com diferentes percentuais de fibra (provenientes de latas de refrigerante) e um grupo controle. Por meio de resultados obtidos foi possível estudar tópicos relacionados a adesão da fibra na matriz de concreto e superfícies de deslizamento internas do concreto. Os resultados obtidos mostram que para obter sucesso com uma adição em uma matriz de concreto é necessário que quesitos como módulo de elasticidade da fibra escolhida, método de dosagem e quesitos de adesão devem ser levados em consideração.

**Palavras-chave:** Característica compósita. Adição de fibras. Adesão da fibra. Método de dosagem.

### ABSTRACT

It is notorious the evolution of concrete over the years, its applications are almost unlimited, and one factor that fur the enhances its use is its composite feature. Although there are many good points in its use, it is worth noting one of the factors that most limit its use is the low tensile strength. One of the methods to remedy this point is the addition of fibers in the concrete matrix, and the study proposed by this TCC was to analyze the interaction of aluminum fibers in concrete matrices. This type of analysis leads with then attention off o ment the academic community and stimulate ingth e production and in crease of the national collection on the subject, regulating its use through national regulations. The study was do new it the analysis of the characteristics of the concrete in the fresh and hardened state, in the freshest ate the slump test was measured according to NBRNM 67, and in its hardiest ate that its compressive strength was analyzed according to norm NBR 5739. In total, 18 compression test specimens with different percentages of fiber (from cans of soft drink) and a control group were tested. By means of results obtained it was possible to study to pics related to fiber adhesion in concrete matrix and internal sliding surfaces of concrete. The results

obtained show that in order to be successful with an addition in a concrete matrix, it is necessary to take into account such requirements as modulus of elasticity of the chosen fiber, dosage method and adhesion requirements.

**Keyword:** Composite feature. Addition of fibers. Fiber adhesion. Dosage method.

## 1 INTRODUÇÃO

Com pesquisas e normatizações pertinentes na área de reforço em matrizes podemos avaliar a viabilidade técnica de um novo destino para o resíduo. De acordo com Figueiredo (2011) é possível utilizar o concreto reforçado em obras correntes, visando o aumento de características específicas, dependendo do composto a ser combinado a matriz, um contraponto é que o país ainda carece de normatização específica para tal. Normativas estrangeiras são preponderantes desde a idealização de um possível reforço até uma futura execução, por isso é de fundamental importância as pesquisas nessa área, tendo em vista o potencial da mesma.

Devido a normatizações nacionais escassas, é necessário fomentar trabalhos que aumentem o acervo teórico, resultando assim com o final desta problematização e uma regulamentação definida acerca do tema. Recorrendo a métodos de dosagens de outros metais, e de outros países, foi dosado o concreto com adição de fibras de liga de alumínio, afim de provar a potencialidade do reforço com macrofibras nas matrizes de concreto. Portanto, esse trabalho visa sanar dúvidas relacionadas tanto a dosagem quanto ao comportamento do concreto com fibras de alumínio no seu interior.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em se tratando do uso de concreto a nível mundial, os gregos saíram na frente com o concreto simples, posteriormente o concreto foi melhor estudado e largamente utilizado pelo império Romano. O concreto foi usado na construção dos muros de uma cidade romana no século IV a.C. situada a 64km de Roma e no século II a.C. este novo material começou a ser usado em edificações em Roma (KAEFER, 1998). Obras grandiosas foram edificadas pelo império romano, sua arquitetura característica se deve em parte as limitações estruturais do concreto, é comum nos depararmos com fotos de edificações romanas com pilares imensos e vãos bem reduzidos. Essa limitação se refere a baixa resistência a tração do concreto, o que até então era desconhecido ou ignorado como uma forma de limitação do material.

A primeira publicação sobre Cimento Armado (denominação do concreto armado até mais ou menos 1920) foi do francês Joseph Louis Lambot. Presume-se que em 1850 Lambot efetuou as primeiras experiências práticas do efeito da introdução de ferragens numa massa de concreto. Em 1954, Lambot já executava construções de "cimento armado" com diversas finalidades. (KAEFER, 1998, p.23)

Uma das maiores e mais importantes descobertas na engenharia civil e materiais foi no século 19, onde decidiu-se adicionar aço ao concreto simples como forma de combater os esforços internos de tração, e a sua disposição de forma estratégica foi um dos principais fatores para transformar o concreto no que é hoje.

A primeira teoria realista e consistente sobre o dimensionamento das peças de Concreto Armado surgiu com uma publicação de Edward Mörsch em 1902, eminente engenheiro alemão, professor da Universidade de Stuttgart na Alemanha. (BASTOS, 2014, p.6). A partir daí as pesquisas relacionadas ao concreto armado não pararam mais, a notória capacidade construtiva do concreto armado alavancou o setor, e o projetou em uma nova perspectiva sobre a construção civil.

Em pouco mais de um século depois o concreto que pode ser simples, armado, projetado, bombeado, usado com aditivos aceleradores de pega, retardadores e adições dos mais diferentes tipos. A sua diversidade e versatilidade faz com que os pesquisadores gastem muito tempo estudando meios materiais de usá-lo com ainda mais eficiência. Segundo a revista Concreto e construções do IBRACON (2009), o concreto armado é o material construtivo mais utilizado no mundo. Esse material tem apelo estrutural devido ao seu manejo facilitado e seus altos índices de resistência à compressão. Ao passo que o concreto evoluiu, as possibilidades se estenderam de tal forma que o mesmo pode ser utilizado de tantas formas que se torna quase que impossível elencar.

Com a evolução da tecnologia no manejo do concreto a engenharia de materiais tornou-se uma grande aliada ao setor da construção civil, tendo em vista que dos novos materiais que são modificados ou inventados podem vir a ser utilizados em um futuro próximo no canteiro de obras. Em suma, a busca por novas alternativas e saídas eficientes para novas composições e/ou formulações do concreto armado vêm sendo um assunto comum em congressos e periódicos, assim como a reutilização ou busca para novas saídas no tocante da sustentabilidade entre o homem e o meio ambiente.

O uso de adições como reforço em uma matriz concreto é um tema bastante relevante, haja visto a potencialidade do concreto e suas limitações. Partindo do pressuposto que as adições vão acrescentar características únicas ao concreto, é possível por meio de experimentos quantificar e demonstrar por meio de cálculos que determinados comportamentos podem melhorar ou piorar de acordo com a administração e dose da adição, justificando ou não o seu uso. Os concretos reforçados, tanto com fibras como com barras ou fios de aço são exemplos de materiais compostos, também conhecidos como compósitos Figueiredo (2011), ou seja, materiais que quando unidos suprem dificuldades mútuas e se inter-relacionam de forma satisfatória.

O alumínio é um material que possui grande apelo econômico, por possuir características, tais como: resistência a agentes agressivos, resistência mecânica considerável, baixo peso específico, resistência à fadiga, facilidade de unir-se a outros materiais metálicos além de ser altamente reciclável. Todas essas características fazem do alumínio uma escolha ideal para reforço de matrizes de concreto, tornando-o uma saída viável para aumento de características objetivadas.

Todos os anos são produzidas toneladas de latinhas de alumínio, parte desse resíduo é reciclado e volta às prateleiras, mas um outro fim pode ser empregado a ele.

Com a grande capacidade de produção e reciclagem, o alumínio se torna um material bastante viável para o aproveitamento em outras áreas como exemplo a construção civil, já sendo utilizada em esquadrias de janelas, componentes automotivos, eletrodomésticos, latas de bebidas, entre outros. O seu valor de mercado permite a geração de renda para milhares de famílias envolvidas em coletas de latas de alumínio (RECICLA BRASIL, 2011).

### 3 METODOLOGIA

Segundo Gil (2007), a pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados. Portanto nesta pesquisa será explanado o conceito, a importância e a necessidade do uso das fibras naturais nos blocos de concreto na construção civil. Neste trabalho será utilizado o método comparativo, pois este ocupa-se da explicação dos fenômenos e permite analisar o dado concreto, deduzindo desse “os elementos constantes, abstratos e gerais.” (LAKATOS; MARCONI, 2007, p. 107). Em relação ao objeto de estudo classificamos esta pesquisa como exploratória pois será realizado um estudo bibliográfico acerca do tema proposto com o

“objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito” (Gil, 2002).

### 3.1 Materiais

A composição do traço está exposta da seguinte maneira: Cimento : Agregado miúdo : Agregado graúdo : Água : Fibra : Aditivo

#### 5.1.1 Aglomerante

O cimento utilizado foi o cimento Portland CII – Z. Ele foi empregado por conta que é utilizado com frequência em obras atuais, tendo em vista que o trabalho visa aplicação prática caso a resposta seja positiva.

Figura 1 – Cimento Portland CII - Z



Fonte: Autores, 2017.

#### 5.1.2 Agregado miúdo

A areia usada foi obtida no laboratório de materiais de Engenharia Civil do Centro Universitário de João Pessoa (Unipê), possui Módulo de finura = 1,95, Massa unitária = 1,539 g/cm<sup>3</sup> e Massa específica = 2,61g/ml.

Figura 2 – Areia fina natural



Fonte: Autores, 2017.

#### 5.1.3 Agregado graúdo

“A pedra granítica britada é o produto da cominuição de rocha que se caracteriza por tamanhos de grãos enquadrados entre 2,4 e 64 mm” Bauer (1997). E o agregado graúdo usado foi obtido no laboratório de materiais de Engenharia Civil do Unipê, possui Módulo de finura = 5,66, Massa unitária = 1,638g/cm<sup>3</sup> e Massa específica = 2,79g/ml.

Figura 3 – Brita granítica



Fonte: Autores, 2017.

#### 5.1.4 Aditivo

Foi utilizado aditivo plastificante, para que se obtivesse uma maior trabalhabilidade, já que a adição reduziu significativamente o seu abatimento de tronco de cone (*Slumptest*).

Figura 4 – Aditivo plastificante



Fonte: Autores, 2017.

#### 5.1.5 Água

A água usada no experimento foi proveniente da rede de abastecimento local CAGEPA. Água com procedência constatada pelas agências regulamentadoras da Paraíba, livre de contaminação e de impurezas, trazendo consigo confiabilidade para a hidratação do concreto

### 5.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada foi o que as normas da ABNT recomendam, tais como:

- 1) NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto;
- 2) NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos;
- 3) NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;
- 4) NBR 15530: Fibras de aço para Concreto – Especificações;
- 5) NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento.

Apesar da escassez de acervo teórico nacional para dosagem e procedimentos padrão para fibras, foi utilizado o que cabia das normas acima.

#### 5.2.1 Obtenção da liga de alumínio

Como a foi usado liga de alumínio liga AA3104, a forma de obtenção mais provável seria em latas de refrigerante. Por conseguinte, as latas foram adquiridas em uma cooperativa de catadores no bairro dos bancários, foram lavadas em água corrente e deixadas submersas em água por 24 horas e postas ao sol para secagem. Posteriormente foram selecionadas de forma visual para que todas tivessem somente componentes inertes para a matriz e que esses

componentes fossem apenas a liga desejada. Todo esse processo foi feito antes e depois do corte para que nenhum outro material entrasse na composição do concreto.

Figura 5 – Liga de alumínio submersa



Fonte: Autores, 2017.

Figura 6 –Secagem da fibra de Alumínio



Fonte: Autores, 2017.

### 5.2.2 Corte

O processo de corte e beneficiamento primeiramente teria sido feito por meio de uma guilhotina pneumática com a lata amassada no seu sentido axial, mas ao executar cortes consecutivos vimos que o tamanho das macrofibras ainda era muito grande e irregular para o que se propunha. Então foi usando o corte manual que conseguimos controlar melhor o tamanho das fibras e relativamente a sua forma. Evidenciaremos que por meio de um corte e beneficiamento bem feito podemos aumentar significativamente a solidarização dos esforços mecânicos entre as fibras e a matriz, distribuindo esforços por todo o concreto e ainda o reforçando e dando mais plasticidade.

### 5.2.3 Ficha de especificação da liga

Quadro 1: Características físicas e mecânicas da liga

| Propriedades físicas                   |       |
|--|-------|
| Densidade (g/cm <sup>3</sup> )         | 2,72  |
| Propriedades mecânicas                 |       |
| Dureza, Brinell                        | 78    |
| Dureza, Knoop                          | 101   |
| Dureza, Vickers                        | 88    |
| Resistência à tração, Ultimate (MPa)   | 290   |
| Resistência à tração, rendimento (MPa) | 260   |
| Deformação de ruptura                  | 4,00% |
| Módulo de elasticidade (GPa)           | 69    |
| Coefficiente de Poisson                | 0,34  |
| Módulo de cisalhamento (GPa)           | 26    |
| Força de cisalhamento (MPa)            | 175   |

Fonte: matweb.com (2017).

### 5.2.4 Dosagem do concreto com fibras

Tendo em vista os cálculos desenvolvidos no referencial teórico do método de Figueiredo (2011), a dosagem segue com a formula do volume crítico da adição apresentada abaixo, adotando os valores pertinentes ao caso em questão.

$$V_{fcrit} = (\epsilon_{mu} \times E_c) / \sigma_{fu} \times \eta_1$$

No caso particular do concreto reforçado com fibras de alumínio, adotando-se os seguintes valores e referência:

$$\epsilon_{mu} = 100 \times 10^{-6}$$

$$E_c = E_m = 30 \text{ GPA}$$

$$\sigma_{fu} = 290 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 0,375$$

$$V_{fcrit} = (100 \times 10^{-6} \times 30 \times 10^9) / (290 \times 10^6 \times 0,375)$$

$$V_{fcrit} = 0,0276 \text{ m}^3 \text{ de fibra / m}^3 \text{ de concreto.}$$

Transformando em proporção do traço padrão:

Quadro 2: Configuração final do Traço

| Dose     | Cimento | Miúdo | Graúdo | A/C | Fibra | Aditivo |
|----------|---------|-------|--------|-----|-------|---------|
| Meia     | 1       | 2,5   | 3,2    | 0,6 | 0,10  | 0,80%   |
| Completa | 1       | 2,5   | 3,2    | 0,6 | 0,20  | 0,80%   |

Fonte: Autores, 2017.

Optou-se por fazer dois traços com diferentes concentrações de fibras para observar parâmetros mais detalhadamente, desde parâmetros relacionados ao seu estado fresco (*slumptest*) até no seu estado sólido (resistência a compressão e distribuição interna de fibras).

### 5.2.5 Homogeneização

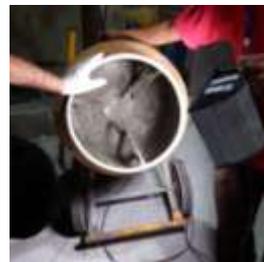
Em posse de todos os materiais dosados foi feita a mistura de todos os componentes para posteriormente serem moldados.

Figura 7 – Posicionamento de material dosado



Fonte: Autores, 2017.

Figura 8 – Homogeneização na betoneira



Fonte: Autores, 2017.

### 5.2.6 Moldagem dos corpos de prova

Todos os materiais foram dosados e pesados, depois foi feita a inserção do agregado miúdo, graúdo, cimento na betoneira e ao passo que íamos adicionando água foi adicionado frações da liga.

Como foram feitos dois traços de concreto com concentrações diferentes de liga, foram feitas 3 dosagens, visto que uma era para o traço controle e as outras duas seriam com concentrações de liga de alumínio. Para controle do concreto fresco, utilizou-se a metodologia do abatimento de tronco de cone, e o *Slumptest* foi executado em todas as etapas mesmo com resultados insatisfatórios em alguns casos, tendo em vista que as fibras podem dificultar a mobilidade de partículas reduzindo assim a fluidez do material como um todo, como já constatado por Figueiredo (2011).

Após todo o processo acima, os corpos foram moldados da seguinte forma:

3 CP's como grupo controle para ruptura aos 7 dias;

3 CP's como grupo controle para ruptura aos 28 dias;

3 CP's com metade da dose calculada de liga de alumínio para ruptura aos 7 dias;

3 CP's com metade da dose calculada de liga de alumínio para ruptura aos 28 dias;

3 CP's com dose calculada de liga de alumínio para ruptura aos 7 dias;

3 CP's com dose calculada de liga de alumínio para ruptura aos 28 dias. Totalizando assim 18 corpos de prova para ensaio em diferentes doses de liga e idades de cura úmida.

Figura 09 – Corpo de prova sendo moldado



Fonte: Autores, 2017.

Figura 10 – Corpo de prova moldado



Fonte: Autores, 2017.

Figura 11 – Corpo de prova desmoldado



Fonte: Autores, 2017.

### 5.2.7 Cura

A cura úmida do concreto foi feita para as duas idades (7 e 28 dias) estudadas assim como preconiza a norma NBR 5738.

Figura 12 – Corpo de prova submerso



Fonte: Autores, 2017.

### 5.2.8 Ensaio

O ensaio no qual os corpos de prova cilíndricos foram submetidos foi o ensaio de compressão simples aos moldes da NBR 5739. Foi executado o ensaio e obtido o valor da resistência alcançada nas idades e dosagens requeridas.

Figura 15 – CP do grupo controle rompido



Fonte: Autores, 2017

Figura 16 – CP com liga de alumínio rompido



Fonte: Autores, 2017

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Trabalhabilidade

O método utilizado para quantificar a trabalhabilidade do concreto foi o abatimento de tronco de cone, largamente utilizado na indústria da construção civil por sua simplicidade e praticidade na quantificação. O atrito interno entre os macroelementos (agregado graúdo, agregado miúdo, aglomerante e água) é evidente, e ao adicionarmos dentro do concreto a liga de alumínio o decréscimo foi ainda mais acentuado.

Figura 17 – Concreto com adição de liga no estado fresco



Fonte: Autores, 2017.

Figura 18 – Medida do abatimento de tronco de cone no concreto com adição de fibras



Fonte: Autores, 2017.

Então o abatimento de tronco de cone ou *slump test*, foi medido nas amostras para verificar a sua trabalhabilidade, sua análise foi feita no traço controle e nos traços com certo percentual de liga de alumínio. Foi verificada a diminuição do valor do *slump* à medida que aumentávamos o teor de alumínio na matriz de concreto.

Uma medida que foi tomada para o aumento da trabalhabilidade foi adicionar no concreto um aditivo plastificante. Ele foi dosado de acordo com o fabricante recomenda, mas como se trata de um traço não usual, foi adicionado aos poucos em pequenas concentrações (a cada 0,05%) totalizando 0,4%, resultando em um concreto de boa consistência e trabalhabilidade.

A redução da trabalhabilidade tem muita relação com o formato dos grãos, os arredondados possibilitam mais plasticidade para o mesmo teor de água/mistura seca do que os angulares, lamelares ou aciculares segundo Bauer (1997, p.276).

Tendo em vista os valores obtidos, a solução para a diminuição acentuada desse valor seria a substituição parcial de uma fração de agregado graúdo por uma fração equivalente de liga, limitando assim a diminuição do *slump*.

#### 4.2 Adesão da fibra no concreto

Ao realizar ensaios relacionados a resistência a compressão foi possível perceber que a liga aderiu melhor a certos pontos do concreto do que em outros. Os pontos onde existiam maior quantidade de cimento ou calda de concreto aderiam melhor, como pode ser visto na figura 19.

Figura 19 – Corpo de prova rompido



Fonte: Autores, 2017.

#### 4.3 Superfícies de deslizamento

Ao ensaiar amostras com dosagens diferentes de fibra, houve uma evolução desse fenômeno ao passo que foi adicionado mais fibra na matriz de concreto, como pode ser visto no quadro 03 abaixo.

Quadro 03: Configuração final do Traço

| Idade                                    | Controle | Teor de fibras |      | Perda de resistência relativa |               |        |
|--|----------|----------------|------|-------------------------------|---------------|--------|
|  |          | X              | 2X   | Controle e X                  | Controle e 2X | X e 2X |
| Resistência característica 7 dias (Mpa)  | 17,42    | 7,50           | 4,67 | 56,9%                         | 73,2%         | 37,7%  |
| Resistência característica 28 dias (Mpa) | 20,55    | 8,49           | 5,33 | 58,7%                         | 74,1%         | 37,2%  |

Fonte: Autores, 2017.

A redução de resistência entre uma dosagem completa (2X) e meia dose (X) de fibras foi de cerca de 40%, a diminuição de resistência entre o traço controle e o traço de meia dose (X) foi de aproximadamente 60% e a maior perda de resistência relativa foi ao comparar o traço controle com o traço de maior dosagem de fibras (2X), que foi de aproximadamente

75%. Comprovando que os quesitos de adesão da fibra estudada para obtenção de melhoria em requisitos mecânicos não são suficientes para utilização em matrizes de concreto.

#### 4.4 A pasta e a fibra

Após a ruptura dos corpos de prova mesmo com a homogeneização na betoneira, foi constatado que em alguns pontos a pasta de concreto estava mais concentrada. Nesses pontos a liga de alumínio aderiu muito bem, haja visto que depois do ensaio de ruptura os corpos de prova foram abertos para que fosse registrado a distribuição e orientação das fibras.

A distribuição das fibras foi bem homogênea, mas em certos pontos dos corpos de prova houve maior adesão da fibra, foi justamente nesses pontos onde houvera maior quantidade de calda de cimento. Então mesmo com um concreto de baixa resistência percebeu-se que a adesão das fibras poderia ser aumentada com a utilização de um cimento de alta resistência inicial (CP V ARI) ou com a elaboração de um traço com maior capacidade de resistência a compressão.

#### 4.5 Resistência à compressão

O ensaio à compressão é interessante devido ao fato que ele mensura uma das melhores características do concreto, a sua resistência à compressão.

Nenhum concreto nos dias atuais é empregado sem o devido controle de qualidade e estimativa de resistência. Para investigar a interação da liga na matriz de concreto foram elaborados 18 corpos de prova com dosagens e idades de ruptura diferentes (quadro 04):

Quadro 04: Quantidade de corpos de prova

| Traço         | Idades |         | Total |
|---------------|--------|---------|-------|
|               | 7 dias | 28 dias |       |
| Controle      | 3      | 3       | 6     |
| Meia dose     | 3      | 3       | 6     |
| Dose completa | 3      | 3       | 6     |
| Total         | 9      | 9       | 18    |

Fonte: Autores, 2017.

Figura 20 – Corpos de prova



Fonte: Autores, 2017.

A quantidade de corpos de prova ficou distribuída dessa forma para que fosse possível analisar a interação da liga com a matriz de diferentes formas, de forma que fosse possível a análise de cada aspecto de forma isolada (figura 20).

O traço controle, por exemplo, serviu para que fosse estabelecido um comparativo entre o mesmo traço com e sem adição da liga. Já os traços com diferentes concentrações serviram para que fosse possível a análise da resistência a compressão de acordo com o teor de fibras inseridas na matriz. E todos os traços foram feitas em duas idades para avaliar a

resistência e correlação entre os concretos dosados, com fibras e sem fibras e suas respectivas idades de cura. Os resultados que destoaram dos outros corpos de prova foram desconsiderados e foi feito a média de dois corpos de prova de valor mais próximo, como, por exemplo, na idade de 7 dias, na meia dose e na dose completa.

Os quadros 05 e 06 mostram os valores obtidos relacionando os corpos de prova ensaiados com diferentes idades e teores de fibra.

Quadro 05: Resistência à compressão aos 7 dias

| 7 DIAS        |              |                    |
|---------------|--------------|--------------------|
| Tipo          | Tensão (Mpa) | Tensão média (Mpa) |
| Controle      | 16,91        | 17,42              |
|               | 17,62        |                    |
|               | 17,72        |                    |
| Meia dose     | 7,54         | 7,50               |
|               | 7,46         |                    |
|               | 6,42         |                    |
| Dose completa | 4,62         | 4,67               |
|               | 4,72         |                    |
|               | 3,27         |                    |

Fonte: Autores, 2017.

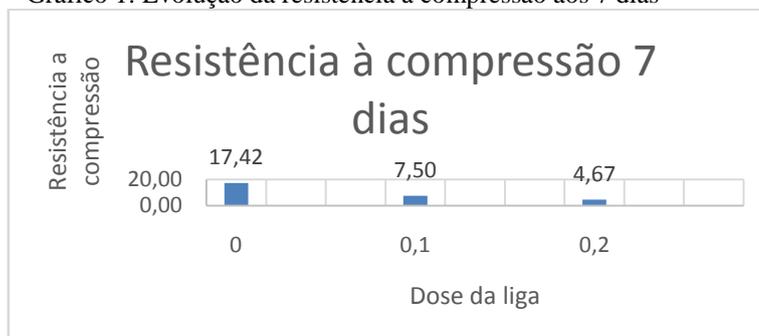
Quadro 06: Resistência à compressão aos 7 dias

| 28 DIAS       |              |                    |
|---------------|--------------|--------------------|
| Tipo          | Tensão (Mpa) | Tensão média (Mpa) |
| Controle      | 19,84        | 20,55              |
|               | 21,52        |                    |
|               | 20,30        |                    |
| Meia dose     | 8,79         | 8,49               |
|               | 7,67         |                    |
|               | 9,03         |                    |
| Dose completa | 6,62         | 5,33               |
|               | 5,08         |                    |
|               | 4,29         |                    |

Fonte: Autores, 2017.

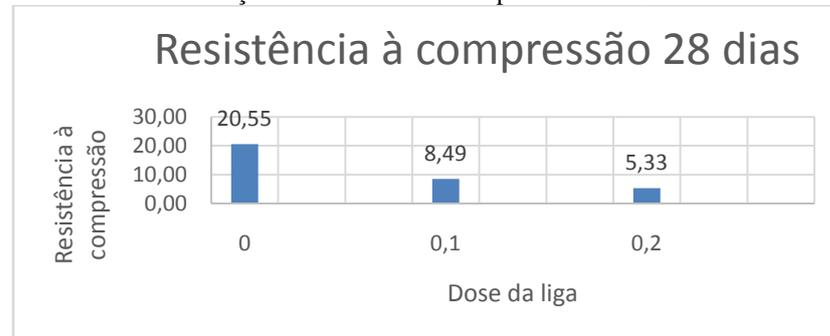
Com os valores obtidos foi possível a elaboração de gráficos 01 e 02 para melhor observação dos valores obtidos.

Gráfico 1: Evolução da resistência à compressão aos 7 dias



Fonte: Autor, 2017.

Gráfico 2: Evolução da resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Autor, 2017.

Os gráficos acima se referem ao ensaio de resistência à compressão de corpos de prova com diferentes idades e teores de fibra. A primeira coluna de ambos os gráficos se referem ao traço controle, a segunda o traço com meia dose de fibra e o terceiro com a dose completa de fibras.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois de avaliar todos os resultados e interpretá-los embasado em grandes autores da área foi possível concluir que:

- Para que o conjunto fibra-matriz obtenha uma maior resistência mecânica do que somente a matriz, a fibra deve ter uma maior resistência mecânica do que a matriz e uma boa aderência;
- A adição de liga de alumínio em matrizes de concreto é possível, desde que possa ser tirado dele uma boa resistência a ação de intempéries, não mecânica;
- A diminuição da trabalhabilidade ou *slumptest* poderia ser remediada com a substituição parcial do agregado graúdo por um teor equivalente de fibra;
- Uma fibra com ganchos ou com formas que se distanciassem do eixo horizontal da fibra aumentaria a adesão entre a fibra e a matriz, mas consequentemente diminuiriam a trabalhabilidade no estado fresco do concreto;
- A adesão das fibras na matriz é o principal fator de integração e de distribuição de cargas, internamente na matriz;
- Superfícies de ruptura ou de deslizamento foram criadas devido à baixa adesão da fibra na matriz, aumentando a fissuração interna e consequentemente gerando uma ruptura generalizada quando imposta a cargas crescentes;
- Embora a distribuição da fibra internamente fosse homogênea, houveram pontos onde a fibra aderiu melhor, esses pontos eram onde havia maior concentração da calda de concreto;
- A quantidade e diferentes tipos de corpos de prova dosados auxiliaram a interpretar que a matriz responde de forma diferente a teores de alumínio. Quanto maior o teor, mais superfícies de ruptura se formam e consequentemente a ruptura ocorre em um carregamento cada vez menor;

A orientação das fibras tem um papel importantíssimo na distribuição de esforços, foi considerado no processo de dosagem pelo coeficiente de Kenchel.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. NBR 12655, ABNT, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**; NBR NM 67, ABNT, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. NBR 5739, ABNT, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fibras de aço para Concreto**. NBR 15530, ABNT, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. NBR 5738, ABNT, Rio de Janeiro.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Notas de aula: Estruturas de concreto armado, Bauru, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Introducao.pdf>>. Acesso em: 17/11/2017.

BENTUR & MINDESS. Fibre Reinforced Cementitious Composites, 1990, (traduzido). Disponível em <[http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf)>. Acesso em 17/08/2016. Disponível em <<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matid=9035&ckck=1>>. Acesso em 17/08/2016.

FALCÃO BAUER, L. A. Materiais de Construção. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda., 5. Ed., V. 1, 1997, 471 p.;

FIGUEIREDO, Antônio Domingues. Concreto com fibras de aço, 70f, São Paulo 2000. Tese de doutorado, USP.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues. Concreto reforçado com fibras 256f, São Paulo 2011. Tese de livre docência, USP.

KAEFER, Luís Fernando. Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos, 1998. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em: 17/11/2017.

RECICLA BRASIL. Gerenciamento, Coleta, Tratamento, Destinação e Viabilização de Reaproveitamento de Resíduos Pós-Industriais. Alumínio. Disponível em: <<http://reciclabrasil.net/>>. Acesso em: 14/09/2016.