



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS  
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO REFORÇADO  
POR FIBRAS DE AÇAÍ**

**FABRICIO AUGUSTO SOUSA DA SILVA  
THIAGO DE ALMADA LOPES**

**SANTARÉM - PARÁ  
2016**

**FABRICIO AUGUSTO SOUSA DA SILVA  
THIAGO DE ALMADA LOPES**

**COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO REFORÇADO  
POR FIBRAS DE AÇAI**

**Trabalho de Conclusão de Curso – TCC  
apresentado ao Curso de Bacharelado  
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da  
Universidade Federal do Oeste do Pará - Ufopa  
como requisito parcial para obtenção do grau  
de Bacharel em Ciência e Tecnologia.**

**Professor Me. Thiago Augusto de Sousa Moreira**

**SANTARÉM - PARÁ  
2016**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado pelos membros da Banca Examinadora, abaixo assinados:

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Título: **Desempenho Mecânico de Concreto com Adição de Fibras de Açai**

**FABRICIO AUGUSTO SOUSA DA SILVA  
THIAGO DE ALMADA LOPES**

### **BANCA EXAMINADORA**

---

**Orientador  
THIAGO AUGUSTO DE SOUSA MOREIRA**

---

**1º membro**

---

**2º membro**

---

**3º membro**

## **AGRADECIMENTOS**

**FABRICIO AUGUSTO SOUSA DA SILVA**

**THIAGO DE ALMADA LOPES**

## RESUMO

O uso de fibras em compósitos é um método já utilizado por muitos anos e pode também ser amplamente explorado para adicionar benefícios para estruturas de concreto. As fibras são fabricadas em diferentes materiais, diâmetros e comprimentos, podem ser usados em praticamente todos os tipos de concreto, incluindo em combinação, para atender, simultaneamente, diferentes finalidades. Hoje no mercado é possível encontrar vários tipos de fibras, incluindo fibras vegetais. As fibras vegetais são abundantes e tem a sua utilização motivada por ser renovável, biodegradável e sua disponibilidade a baixo custo. Muitas vezes, como resíduos e sem um destino específico, fibras vegetais acabam se transformando em problemas de ordem ambiental. Este estudo teve como objetivo analisar a influência da fibra de açai na resistência à compressão do concreto. Corpos de prova foram feitos com adição de diferentes frações de volume de fibra, e três tipos de sistemas: concreto com adição de 3% fibra de açai, concreto com adição de 5% de fibra de açai, bem como um concreto de referência sem a adição de fibra. O comportamento mecânico das amostras foi avaliado por meio de ensaios de resistência à compressão.

## **ABSTRACT**

The use of composite fibers is a method already used by many years and can also be widely exploited to add benefits to concrete structures. The fibers are made of different materials, diameters and lengths can be used in virtually all types of concrete, including in combination, to meet both different purposes. Today the market find various types of fibers, including natural fibers. Vegetable fibers are abundant and have their use motivated by renewable, biodegradable and their availability at low cost. Often as waste without a specific destination, vegetable fibers end up turning into environmental policy issues. This study aimed to analyze the influence of acai fiber in the strength of concrete compression. Specimens were made with addition of different fiber volume fractions, and three types of systems: concrete with addition of 3% acai fiber concrete with addition of 5% acai fiber and a reference concrete without adding fiber. The mechanical behavior of the samples was evaluated by testing the compressive strength.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfis Tensão x Posição para determinados comprimentos de fibras.....	21
Figura 2 – Balança, Concha Metálica, Colher de Pedreiro e Molde Cilíndrico 10x20 cm .....	24
Figura 3 – Equipamentos para o abatimento .....	25
Figura 4 – Gráfico para determinação do fator $a/c$ .....	27
Figura 5 – Consumo de Água Aproximado.....	28
Figura 6 – Consumo de Agregado graúdo.....	28
Figura 7 – Ensaio de abatimento do concreto.....	32
Figura 8 – Vibrações no concreto para exterminação do ar.....	33
Figura 9 – Corpos de prova devidamente identificados e já em contato com água para sua cura.....	34
Figura 10 – Prensa utilizada no ensaio de compressão e corpo de prova no momento do ensaio.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à Compressão.....	35
--	----

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	14
2.1 - Objetivo Geral.....	14
2.2 - Objetivos Específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 - Conceito de Concreto.....	15
3.2 - Reforços de Concreto.....	16
3.2.1 Fibras como Reforço de Concreto.....	16
3.3 Evolução das Fibras e suas Aplicações.....	18
4. FIBRAS	19
4.1 Fibras Naturais.....	19
4.2 Influência do Comprimento da Fibra.....	20
4.3 Influência da Orientação e da Concentração das Fibras.....	21
5. MATERIAIS COMPÓSITOS	23
5.1 Compósitos Reforçados com Fibras.....	23
6. MATERIAIS E MÉTODOS	24
6.1 Ferramentas Necessárias para o Ensaio.....	24
6.2 Determinação dos Materiais.....	25
6.3 Determinação do Traço Unitário em Peso.....	26
6.4 Ensaio de Abatimento por Tronco de Cone (Slump Test).....	31
6.5 Produção e Preparação dos Corpos de Prova.....	32
6.6 Ensaio de Compressão Simples (NBR 7215/1996 e NBR 5739/2007).....	34
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	35

8. CONCLUSÃO 37

9. REFERÊNCIAS 38

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto armado surgiu da necessidade de aliar a durabilidade da pedra junto a alta resistência do aço, essa mistura proporciona uma vantagem ao material de obter qualquer forma com rapidez e facilidade, e com o aço envolvido e protegido pelo concreto, sua durabilidade aumenta evitando uma maior corrosão. Os materiais de construção feitos à base de cimento, chamados “materiais cimentícios”, podem ser considerados os materiais mais importantes já criados pelo homem, pois, a partir deles, o homem foi capaz de construir as edificações e todas as principais obras de que necessitava para sobreviver, como por exemplo, as habitações, fortificações, barragens, pontes, rodovias, escolas, hospitais, igrejas, palácios, entre outros tantos tipos de construções [1].

Os principais motivos para seu desenvolvimento desde os primórdios até a atualidade foi a abundância de sua matéria prima em quase todas as regiões e sua versatilidade para aplicação nas mais variadas formas. Na antiguidade, os que se destacaram usando o concreto foram os romanos, isso lhes possibilitou criar espaços amplos em forma de arco, abóbodas e cúpulas de grandes dimensões. Os romanos combinaram o concreto da época com tijolos de argila, pedra e outros materiais, com isso, eles conseguiram produzir obras magníficas, inéditas até aquele período, que trouxeram grande desenvolvimento e revolucionaram a arquitetura da época.

A construção civil transforma entre 14% a 50% dos recursos naturais extraídos no planeta, sendo a segunda indústria responsável pela emissão de dióxido de carbono [2]. Como alternativa, o desenvolvimento de materiais alternativos como solução para a poluição seria um bom caminho para a sustentabilidade. A palavra “sustentabilidade” já é realidade nos dias atuais, pesquisadores já estudam formas de desenvolvimento da nossa sociedade sem que haja a sua degradação, a procura por materiais provenientes de fontes renováveis e menos poluentes crescem com a mudança de mentalidade da sociedade em busca de um mundo melhor para futuras gerações.

O desenvolvimento sustentável é definido como um modelo econômico, político, social, cultural e ambiental equilibrado, que satisfaz as necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades [3]. O desenvolvimento industrial, o aumento do consumo global por energia vinculado à

obsessão pelos combustíveis fósseis, tais como, petróleo, carvão mineral e gás natural, dificulta estudos para alternativas mais sustentáveis.

O custo dos materiais de construção vem crescendo muito no Brasil, devido a isso, nos últimos anos, vem surgindo estudos de novos materiais com ótimo desempenho e baixo custo na área da construção civil. Uma das saídas é a substituição de fibras sintéticas por fibras naturais, normalmente empregadas como reforço em compósitos. Felizmente pelo fato de o Brasil ser um país de clima tropical é fácil encontrar uma abundância e diversidade de cultivos vegetais fornecedores de fibras, o que possibilita suas aplicações em elementos da construção civil, melhorando características físicas e mecânicas e permitindo um melhor desempenho das estruturas.

Pelo fato da ainda recente necessidade do desenvolvimento de novos materiais industrializados que combinem propriedades de materiais já existentes, estes novos materiais chamados de materiais compósitos não possuem ainda um conceito definitivo ou globalizado, embora este tipo de material seja utilizado pela humanidade desde o princípio da civilização [4].

O processo de fabricação de materiais industrializados utilizados na construção civil, como as fibras sintéticas, consome oxigênio e libera gás carbônico, sem falar nos diversos outros gases poluentes que são liberados na atmosfera que são responsáveis pela degradação do meio ambiente contribuindo com o efeito estufa. Daí vem o desejo de utilizar fibras naturais como reforço de concreto, visto que as mesmas são de fácil acesso, conseguidas à baixo custo, e a preparação delas para a utilização não contribui como forma alguma de poluição ao meio ambiente.

Os caroços do açaí geralmente são deixados em sacos na frente dos locais onde o alimento é produzido, sendo que na maioria das vezes o carro coletor não se responsabiliza pelo descarte do material. O que acaba acontecendo é que os frutos vão parar no esgoto ou o dono estabelecimento paga alguém para levar as sementes para um destino ignorado. Aproveitamos o “lixo” e demos um destino nobre a ele, fazendo uma inovação tecnológica, e isso é sustentabilidade. Uma outra vantagem notória é que o fruto fica limpo após a retirada da fibra e o que sobra pode ser usado para artesanato, biojóias, bijuterias artesanais, luminárias, entre outros artigos artesanais de decoração.

O sistema compósito funciona de acordo com a combinação das propriedades da matriz e do material de reforço. As propriedades do material compósito podem ser uma

relação matemática de percentuais das propriedades dos materiais constituintes, ou estes materiais constituintes podem interagir de forma sinérgica tal que proporcione propriedades no sistema compósito não estimáveis numericamente considerando simplesmente os volumes percentuais dos materiais constituintes.

O presente trabalho visa contribuir com a área de materiais compósitos reforçados com fibras (fibrocimentos), devido ao fato de o tema ainda não ter sido muito explorado, e termos em abundância em nossa região a matéria prima em questão, a fibra de açai. Motivado também pela conscientização da sustentabilidade, de procurarmos cada vez mais reutilizarmos algo que seria descartado e dar uma finalidade nobre como esta.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Caracterização mecânica do concreto reforçado com fibra de aço.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Estudar os métodos de fabricação dos materiais compósitos com matriz de cimento e reforçados com fibra de aço.
- Avaliar a resistência dos corpos de prova com e sem reforço das fibras de aço, a partir do ensaio de Compressão Simples (NBR 7215/1996 e NBR 5739/2007).

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Conceito de Concreto

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, ele é composto por uma mistura de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, além de materiais eventuais, os aditivos e as adições.

O concreto armado como o conhecemos é um material novo. Até o final do século XIX os sistemas construtivos usuais eram estruturas em madeira e em alvenaria. Como a madeira, embora abundante na época, apresentasse os problemas de durabilidade e combustão (muitas cidades sofreram sinistros de grandes proporções) a alvenaria de pedras ou de tijolos foi o sistema estrutural empregado nas obras mais importantes [5].

[5] afirma ainda que a alvenaria pode ser definida como um sistema construtivo que consiste na moldagem de unidades (pedras, tijolos ou blocos) unidas por um ligante (a argamassa). A alvenaria é um dos sistemas construtivos mais antigos utilizados pelo homem. Historicamente, o tijolo foi um produto de substituição, o mesmo foi utilizado em locais onde havia escassez de pedra natural e madeira. [6] relata a descoberta de tijolos de barro modelados manualmente na região do rio Nilo datados de 14.000 a.C., e de tijolos queimados datados de aproximadamente 5000 a.C.

Desde que começaram as primeiras experiências com a alvenaria de pedras, as civilizações buscaram um material que unisse de forma rápida e precisa essas pedras. Primeiramente usaram a argamassa de barro (os assírios e babilônios usaram a argila como material ligante), com o tempo essa argamassa foi substituída por outra mais resistente e durável, a argamassa de cal [5].

[7] afirma que existem vários indícios de que o homem conheceu a cal provavelmente nos primórdios da Idade da Pedra (período Paleolítico). Fica na Sérvia a mais antiga aplicação de cal como aglomerante, nas ruínas de uma casa datada de 5600 a.C., o piso era feito de uma cal vermelha, areia e pedregulho, mas é com a civilização egípcia que o produto começa a aparecer com frequências nas construções. O concreto desenvolvido pelos romanos pouco tem a ver com os concretos atuais (simples ou armado).

## **3.2 Reforços de Concreto**

### **3.2.1 Fibras como Reforço de Concreto**

A fibra é um material fino, fibrilado e alongado. Na natureza, as fibras podem ser encontradas inclusive nos seres vivos, pois são elas que fazem o sustento dos tecidos. Elas podem ser aproveitadas para diversas finalidades, dependendo da sua origem e composição [8].

Ainda segundo [8] podem ser encontradas fibras naturais, artificiais e sintéticas. As naturais são as fibras encontradas prontas na natureza, as artificiais são produzidas pelo homem através de materiais da natureza e as sintéticas são também produzidas pelo homem, porém, oriundas de produtos químicos.

Compósitos, como já diz o nome, são materiais compostos basicamente por duas fases: a matriz e as fibras. As fibras podem atuar como um reforço da matriz em função das propriedades deste e das próprias fibras. Tais como concreto, composto por uma fase agregado e outra fase pasta, que é a matriz, cujo comportamento consiste na combinação das propriedades dos materiais que o constituem [9].

Ainda não há uma classificação universal oficial dos materiais compósitos. Existem vertentes acadêmicas que agrupam os compósitos de acordo com sua forma, processo, tipo de matriz, tipo de reforço, entre vários outros critérios. O que faz com que se tenha uma considerável variedade de classes distintas entre si. Os materiais compósitos podem ser classificados de acordo com o constituinte da matriz em: compósitos de matriz polimérica (CMP); compósitos de matriz metálica (CMM); e, compósitos de matriz cerâmica (CMC). Onde os CMP são interessantes por sua leveza e baixo custo, os CMM por suas propriedades mecânicas e os CMC por sua resistência a altas temperaturas e resistência ao desgaste. Ou ainda os materiais compósitos podem ser classificados segundo a natureza e disposição do reforço (geralmente fibras, escamas ou partículas) no interior da matriz em: compósitos fibrosos, compósitos particulados, compósitos escamados e compósitos laminares [4].

As fibras de polipropileno, nylon e polietileno podem ser classificadas como fibras de baixo módulo, que restringe sua aplicação ao controle de fissuração quando as matrizes possuem baixo modo de elasticidade, como é o caso de retração plástica em argamassas [9]. Para [10], o reforço de fibras de polipropileno tem entre as suas funções a de controlar as

fissurações causadas por mudanças de volume em matrizes de concreto, problema muito habitual em países de clima quente.

Na cura do concreto, ocorre um processo químico exotérmico, no qual existe o deslocamento de água para fora de sua superfície, provando a secagem da superfície, ocasionando o calor de hidratação, sendo o mesmo responsável pelo aparecimento de fissuras no concreto ainda recente. A grande área em questão para evaporação facilita este surgimento das fissuras. Processo conhecido também como retração do concreto [8].

A sedimentação pode ser outra importante formação de fissuras, pois leva à abertura de canais de água e por consequência o surgimento de tensões de tração na superfície do concreto [11].

Estas fissuras têm maior probabilidade de surgir logo nas primeiras horas, visto que a resistência do compósito ainda é baixa, comprometendo desta maneira toda a peça não somente quanto à sua estética, mas também em relação a sua resistência às mais variadas cargas. Vale ressaltar que o uso das fibras de polipropileno é recomendado para trabalhar as fissuras de retração e não para compensar no ganho de resistência à compressão da peça [10].

Em relação aos materiais compósitos fibrosos, a tecnologia atual de produção de materiais considera que os compósitos mais importantes são aqueles que possuem como matéria-prima para reforço as fibras. Pois, como uma característica inerente de todos os materiais, com atenção especial aos mais frágeis, uma fibra com diâmetro pequeno é muito mais rígida e resistente do que o mesmo material em forma bruta [12].

Segundo [4]:

As fibras, em função das suas pequenas dimensões de seção transversal, não são usadas diretamente em aplicações de engenharia. Elas são embebidas em matrizes para formar compósitos fibrosos. A matriz compõe o sistema compósito aglomerando as fibras umas às outras, transferindo carregamentos para as fibras e protegendo-as contra o ataque do ambiente e avarias devido ao manuseio. Em compósitos fibrosos descontínuos, a função de transferência de carga da matriz é mais crítica que em compósitos fibrosos contínuos. Em função de os compósitos fibrosos proporcionarem altas resistências estes se tornaram a classe de materiais mais importante industrialmente.

### 3.3 Origem e Evolução das Fibras e Suas Aplicações

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a história do uso de compósitos reforçados com fibras como materiais de construção tem mais de 3000 anos. Segundo Êxodo 5:6, os egípcios utilizavam palha para reforçar tijolos de barro. No Brasil existem experiências do uso de matrizes à base de cimento reforçado com fibras naturais para a produção de componentes construtivos, como telhas, painéis de vedação, caixas d'água e pias de cozinha.

As fibras são fabricadas em diversos materiais, diâmetros e comprimentos. Podem ser usadas praticamente em qualquer tipo de concreto, inclusive combinadas, para atender simultaneamente a finalidades diferentes. Assim, podemos precisar de um reforço no concreto para altas temperaturas e um aumento do módulo de deformação ao mesmo tempo. Hoje no mercado encontramos diversos tipos de fibras: polipropileno, aço, vidro, nylon, poliéster, carbono, sintética, celulose, amianto, sisal e fibras vegetais [13].

Antigamente, as fibras para concreto eram utilizadas apenas para evitar a retração ou reforçar a resistência mecânica. Atualmente, diversas aplicações foram incorporadas. Um bom exemplo é o uso de fibras de polipropileno em concretos submetidos a altas temperaturas ou com grande risco de incêndio. Nesta situação, ocorre a extinção das fibras e em seu lugar surgem diversos canais interligados na massa de concreto, que aliviam a pressão interna gerada pelo vapor d'água e evitam o deslocamento [14].

Outro avanço importante foi a redução do diâmetro, do comprimento e da flexibilidade das fibras. No passado, para se evitar a retração era usada uma fibra de polipropileno em forma de rafia, que ficava aparente na superfície do concreto, prejudicando muito a textura e o acabamento. Nesta nova geração, após o concreto estar endurecido, não percebemos mais a presença das fibras [14].

## 4. FIBRAS

A ascendente preocupação mundial em minimizar os impactos ambientais e encontrar soluções para o esgotamento dos recursos naturais não renováveis vem incentivando o estudo e desenvolvimento de materiais sustentáveis. As fibras naturais inserem-se nesse contexto como uma alternativa para a fabricação de produtos industriais utilizando matrizes poliméricas.

Segundo [15], as fibras são materiais bem finos e alongados, como filamentos, que podem ser contínuos ou cortados. Elas podem servir como matéria-prima para manufatura, podendo ser fiadas, formando fios, linhas, papel, feltro entre outros produtos. As fibras usadas na manufatura são classificadas conforme a sua origem, que pode ser natural, artificial ou sintética. Toda fibra é um polímero, e a classificação é dada por conta de como é a polimerização em cada caso.

### 4.1 Fibras Naturais

As fibras naturais que hoje podemos encontrar podem ser de origem animal, mineral ou vegetal.

As fibras naturais que podemos obter através de origem animal são providas da secreção animal de alguns insetos, como acontece no caso da seda, ou então a partir da cobertura fibrosa de alguns animais, como é o caso da lã.

As fibras naturais de origem mineral têm a sua origem em rochas com estrutura fibrosa e são constituídas por silicatos. Como exemplo desse tipo de fibra temos o amianto e a fibra de basalto.

As fibras vegetais são classificadas de acordo com sua origem, a partir da semente, fibras do caule, fibras de folhas e fibras de fruto. Elas são estruturas alongadas de secção transversal arredondada.

A utilização de fibras vegetais apresenta uma série de vantagens sobre as fibras sintéticas justificando assim o seu uso como reforço em matrizes cimentícias e poliméricas. Relacionando esses dois tipos de fibras, podemos julgar algumas vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Baixo custo;
- Grande abundância;
- Baixa densidade;
- Biodegradável;
- Conservação de energia.

Desvantagens:

- Baixa durabilidade;
- Fraca adesão em seu estado natural;
- Variação de propriedades.

Atualmente ouve-se muito falar em “produtos verdes”, que são os que de alguma forma levam em conta uma ou mais atitudes ecologicamente corretas, quer no processamento, na economia de materiais ou na reciclagem, entre uma infinidade de modos alternativos de contribuir para a preservação da natureza. Já é muito comum, inclusive, o uso do termo compósito verde, no qual pelo menos um dos materiais constituintes é um material natural.

Há também a possibilidade de se obter materiais verdes a partir de matérias-primas oriundas da reciclagem. Enfim, a cada passo que a humanidade der em direção à evolução, a responsabilidade ambiental deverá estar atrelada, através de novas alternativas de preservação ambiental, inclusive no que diz respeito à engenharia a qual caberá a produção de novos materiais.

#### **4.2 Influência do Comprimento da Fibra**

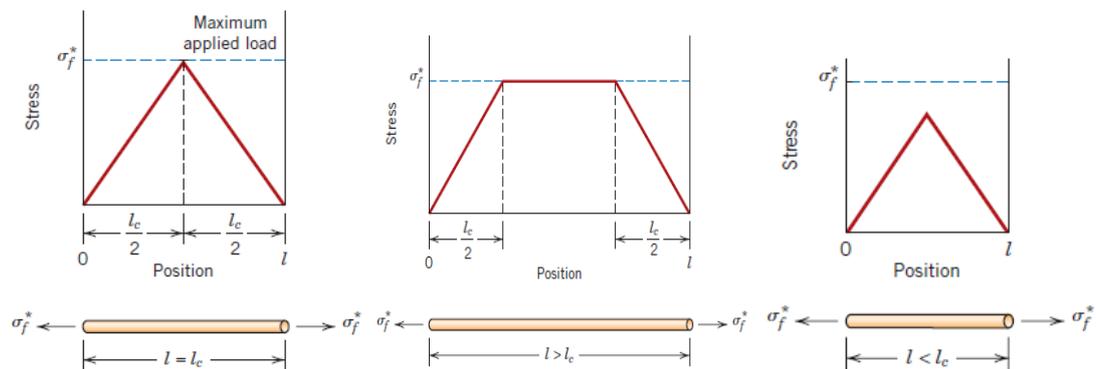
Um compósito reforçado com fibras além de ter suas características mecânicas em função unicamente das propriedades das fibras, tem também o grau no qual uma carga aplicada é transmitida às fibras pela fase matriz. Importante para a extensão desta transmitância de carga é a magnitude da ligação interfacial entre as fases fibra e matriz.

O comprimento das fibras pode alterar significativamente o desempenho mecânico, assim como outras propriedades do compósito. Define-se um comprimento crítico de fibra que é necessário para o efetivo fortalecimento e enrijecimento do material compósito. Este comprimento crítico  $l_c$  é dependente do diâmetro da fibra  $d$  e a sua resistência mecânica (ou

tensão) final  $\sigma_f$  e da resistência mecânica da ligação fibra-matriz (ou limite de escoamento cisalhante da matriz)  $\tau_c$  de acordo com expressão:

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{2\tau_c}$$

Abaixo podemos observar alguns perfis tensão-posição para determinados comprimentos de fibra.



**Figura 1 – Perfis Tensão x Posição para determinados comprimentos de fibra**

Fonte: [16]

### 4.3 Influência da Orientação e da Concentração das Fibras

Como importante influência sobre a resistência mecânica e outras propriedades de compósitos reforçados por fibra, podemos destacar: o arranjo ou orientação das fibras, bem como sua concentração e a distribuição. Com relação à orientação, há duas possibilidades, um alinhamento paralelo do eixo longitudinal das fibras numa única direção ou um alinhamento totalmente aleatório.

A possibilidade de ocorrência de uma falha superficial crítica que conduza à fratura decresce com a diminuição do volume da amostra, o que pode ser atenuado quando os compósitos são reforçados por fibra, estas conferem altas resistências à tração. Uma importante característica é que uma fibra de diâmetro pequeno é muito mais forte do que o material volumoso.

Filamentos: são monocristais muito finos que tem razões comprimento-diâmetro extremamente grandes. Como uma consequência de seu pequeno tamanho, os filamentos

possuem alto grau de perfeição cristalina e são virtualmente isentos de falhas; isso explica suas elevadas resistências mecânicas. São os mais fortes materiais conhecidos.

Fibras: São tanto policristalinos quanto amorfos e tem pequenos diâmetros. Materiais fibrosos podem ser polímeros ou cerâmicas. Citam-se os polímeros aramidas, vidro, carbono, boro, óxido de alumínio e carbeto de silício.

Fios: Estes têm diâmetros relativamente grandes. Materiais típicos empregam aço, molibdênio e tungstênio. Fios são utilizados como reforço radial de aço em pneus de automóveis, carcaça de foguete reforçada com enrolamento de filamento e mangueiras de alta pressão de fio enrolado.

## 5. MATERIAIS COMPÓSITOS

De acordo com [16], quando um material é preparado usando materiais de natureza distinta é denominado compósito, logo, podem ser encontrados na natureza ou sintetizados. Materiais compósitos compõe uma classe de materiais que a cada dia ganha mais importância tecnológica.

A partir dessa definição fica bem claro a infinidade de estruturas e instrumentos que podem ser desenvolvidas com compósitos. A síntese de materiais compósitos consiste em misturar compostos de naturezas distintas visando imprimir novas propriedades aos materiais. A matriz geralmente é um material contínuo que envolve a fase descontínua.

As propriedades dos materiais compósitos são fortemente influenciadas pelos materiais constituintes, suas concentrações e distribuições e por todas as interações por estes geradas dentro do sistema.

### 5.1 Compósitos Reforçados com Fibras

Com o constante avanço da tecnologia, muitas vezes para o melhor funcionamento de um determinado produto necessitamos de materiais que possuam uma soma de propriedades específicas que atuem de forma interligada sem prejudicar umas as outras, em muitas vezes essas propriedades não podem ser alcançadas por ligas metálicas, materiais cerâmicos ou materiais poliméricos, sendo assim necessário o desenvolvimento de materiais compósitos.

O material compósito é considerado um material multifásico, que mostra uma proporção significativa das propriedades de todas as fases que o constituem, de modo a obter a melhor combinação destas propriedades. Os compósitos reforçados com fibra conferem alta resistência mecânica e rigidez. Estas características estão expressas em termos dos parâmetros, resistência mecânica específica e módulo específico, que correspondem, às razões de resistência mecânica para massa específica e módulo de elasticidade para massa específica.

Compósitos reforçados com fibra com altas resistências mecânicas e módulos de elasticidade tem sido produzido utilizando-se materiais de fibra e de matriz de baixas densidades. Compósitos cuja fase dispersa está na forma de uma fibra estão tendo grande relevância atualmente.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1 Ferramentas Necessárias para o Ensaio

Foram utilizados os seguintes equipamentos ou ferramentas para a moldagem e a cura dos corpos-de-prova:

- Betoneira;
- Balança Digital;
- Concha Metálica;
- Colher de Pedreiro;
- Moldes Cilíndricos de 10x20cm;
- Colarinho para preenchimento;
- Tronco de cone para abatimento;
- Haste de adensamento padronizado;
- Placa de base para abatimento;



**Figura 2 – Balança, Concha metálica, Colher de pedreiro e Molde cilíndrico 10x20cm**  
Fonte: Autor



**Figura 3 - Equipamentos para o abatimento**  
**Fonte: Autor**

## 6.2 Determinação dos Materiais

Cada material possui determinados tipos de influência sobre o concreto.

Um maior consumo de cimento acarreta em:

- Maior Plasticidade;
- Maior Coesão;
- Menor Segregação;
- Menor Exsudação;
- Maior Calor de Hidratação;
- Maior Variação Volumétrica

Assim como o cimento, o aumento do teor do agregado miúdo acarreta em tais influências:

- Aumento do consumo de água;
- Aumento do consumo de cimento;
- Maior Plasticidade;

Existem diferentes tipos de agregados graúdos que fornecem diferentes tipos de influências sobre o concreto:

- Um agregado mais arredondado e liso acarreta em maior plasticidade e menor aderência;
- O de formato laminar contribui com um maior consumo de cimento, areia e água e uma menor resistência;

- Os melhores agregados são cúbicos e rugosos;

### 6.3 Determinação do Traço Unitário em Peso (TUP)

O traço do concreto nada mais é que a sua dosagem, ou seja, a proporção, a quantidade que será utilizada de cada material componente do concreto para uma determinada quantidade de amostras, ou seja, corpos de prova.

A forma mais fácil de entender os traços é compará-los às receitas culinárias. Para se obter uma massa de pizza, preparamos uma mistura de farinha, água, fermento e sal. Uma massa de bolo, utilizamos esses mesmos ingredientes e possivelmente mais alguns outros. Mas todo cozinheiro sabe que a receita, ou seja, a proporção entre as partes é o que muda. Assim como na culinária, o traço, isto é, a receita, é fundamental para obtenção do produto final adequado. Uma mistura equivocada causa prejuízo e pode até causar acidentes posteriormente.

Para obtermos concreto com uma determinada resistência, por exemplo, utilizamos um traço pré-estabelecido: a proporção entre areia, cimento, pedra e água estão definidas de antemão para que o material tenha a resistência requerida para determinada função. Se o trabalhador encarregado dessa mistura errar nos “ingredientes”, esse concreto poderá resultar menos resistente do que o esperado e, mais tarde, não suportar os esforços a que estará sujeito, imagine o resultado catastrófico.

A partir das condições padrões estabelecidos pelo laboratório de edificações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará campus Santarém, foi determinado o traço utilizado no presente trabalho:

Para a resistência de dosagem do concreto foi escolhido um  $f_{ck} = 25$  MPa, com abatimento igual a  $10 \pm 2$  e desvio padrão 4,0 MPa.

Assim, o cálculo da resistência da dosagem do concreto em função do desvio padrão aos 28 dias é:

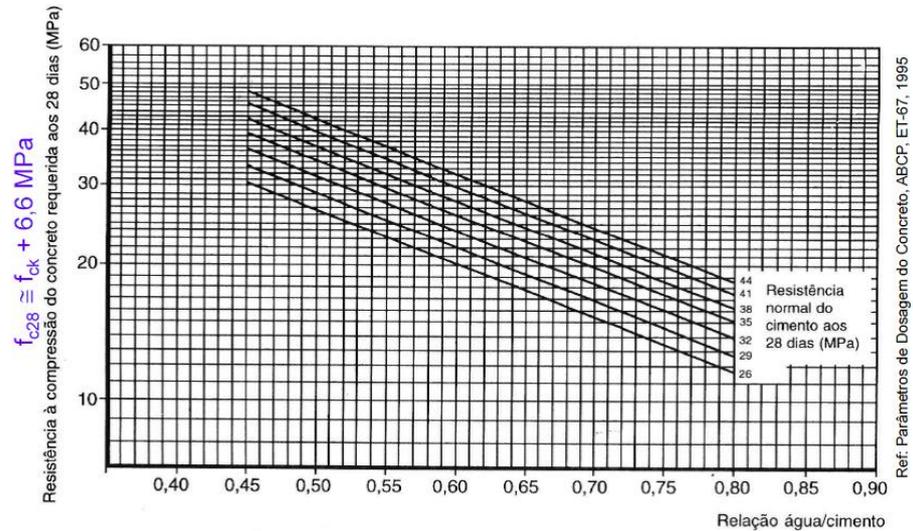
$$F_{C_{28}} = f_{ck} + 1,65 \times sd \quad \text{Equação 1}$$

$$F_{C_{28}} = 25 + 1,65 \times 4,0 = 31,6 \text{ MPa}$$

Foi escolhido a condição A em função do desvio padrão ( $sd = 4,0$  MPa) aplicável a concretos da classe C10 a C80 (onde  $f_{ck}$  varia de 10 à 80 MPa). Esta condição é usada para

materiais medidos em massa, água medida em massa ou volume com dispositivo dosador e determinações precisas e frequentes da umidade dos agregados.

Após o cálculo da resistência do concreto, o 1º passo é a determinação da relação a/c.



**Figura 4 - Gráfico para determinação do fator a/c**  
Fonte: [17]

É preciso escolher o fator água cimento de acordo com a curva Abrams para obter uma boa resistência mecânica e uma boa durabilidade. O cimento escolhido para o experimento foi o CP II Z-32. Após encontrar o valor da resistência do concreto é preciso verificar o gráfico da curva de Abrams para encontrar o fator a/c:

O fator a/c encontrado foi de 0,52.

O fator a/c também pode ser encontrado através da equação 2:

$$A/C = 1,11 \times \log \left( \frac{92,8}{31,6} \right) \quad \text{Equação 2}$$

O 2º passo é determinar o consumo de água (Ca):

O consumo de água é determinado a partir do  $D_{\text{máx}}$  do agregado graúdo pelo abatimento como pode ser visto na figura 8.

Consumo de água aproximado (l/m <sup>3</sup> )					
Abatimento (mm)	Dmáx agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Figura 5 - Consumo de água aproximado  
Fonte: [17]

Com Abatimento = 100 e o Dmáx = 19, assim o Ca é igual à 205 l/m<sup>3</sup>

Em seguida, determinamos o Consumo de Cimento (Cc):

$$Cc = \frac{Ca}{a/c} = \frac{205}{0,52} = 394,2 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Equação 3}$$

Agora vamos encontrar o consumo de agregado graúdo (Cb), em função do diâmetro máximo.

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Figura 6 - Consumo de agregado graúdo  
Fonte: [17]

Para MF = 1,94 e com dimensão máxima igual à 19, o volume do agregado graúdo é 0,750. Como 1,94 não se encontra na tabela, usamos o mais próximo dele que é o MF = 2,0.

Usando a equação 4 foi possível encontrar o consumo de agregado graúdo.

$$Cb = Vb \times Mu \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$V_b$ : Volume do agregado graúdo (brita) seco por  $m^3$  de concreto;

$\mu$ : Massa unitária compactada do agregado graúdo (brita);

Assim:

$$C_b = 0,750 \times 1570$$

$$C_b = 1177,5 \text{ Kg/m}^3$$

Em seguida calcula-se o consumo de agregado miúdo (Areia).

Antes de encontrar o consumo de areia é necessário determinar o volume da areia.

$$V_a = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$V_a$ : Volume de areia;

$C_c$ : Consumo de Cimento

$C_b$ : Consumo de brita;

$C_a$ : Consumo de água;

$\gamma_c$ : Massa específica do cimento;

$\gamma_b$ : Massa específica da brita;

$\gamma_a$ : Massa específica da água;

Assim, encontra-se o volume da areia:

$$V_a = 1 - \left( \frac{394,2}{3100} + \frac{1177,5}{2630} + \frac{205}{1000} \right)$$

$$V_a = 1 - (0,127 + 0,44 + 0,205)$$

$$V_a = 1 - (0,782)$$

$$V_a = 0,218 \text{ m}^3$$

Agora é possível encontrar o consumo de agregado miúdo ( $C_a$ ), usando a equação 6.

$$C_{areia} = V_a \times \gamma_a \quad \text{Equação 6}$$

$$C_{areia} = 0,218 \times 2590$$

$$C_{areia} = 564,62 \text{ Kg/m}^3$$

As determinações desses fatores foram baseadas na norma brasileira NBR 12655- Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento [18].

Após determinação do fator a/c, Ca, Cc, Cb, Va e  $C_{areia}$  é possível apresentar o traço que será usado no experimento.

Cimento : Areia : Brita : Água

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{areia}}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_{\acute{a}gua}}{C_c}$$

$$\frac{394,2}{394,2} : \frac{564,62}{394,2} : \frac{1177,5}{394} : \frac{205}{394,2}$$

$$1 : 1,43 : 2,98 : 0,52$$

De acordo com o traço calculado para os corpos de prova de referência, ou seja, sem adição alguma de fibra de açaí, a massa dos “ingredientes” para cada corpo de prova é igual:

- 1.000 g de cimento;
- 1.430 g de areia;
- 2.980 g de brita;
- 0.520 g de água.

Para fabricar 7 (sete) corpos de prova o traço de referência, ou seja, sem a adição da fibra resultou em:

$$7 : 10,01 : 20,86 : 3,64$$

Para a realização do traço já com a adição da fibra do açaí, a porcentagem de fibra foi adicionada na areia, ou seja, o traço com 3% de fibra para a fabricação de 7 (sete) corpos de prova ficou desta maneira:

$$7 : 9,7097 : 20,86 : 3,64 : 0,3003$$

A massa dos ingredientes já com a adição de 3% de fibra para a fabricação dos corpos de prova:

- 7.000 g de cimento;
- 9.7097 g de areia;

- 20.860 g de brita;
- 3.640 g de água;
- 0.3003 g de fibra de açai;

Já com a adição de 5% de fibra, o traço ficou desta forma:

7 : 9,5095 : 20,86 : 3,64 : 0,5005

A massa dos ingredientes com 5% de fibra ficou assim:

- 7.000 g de cimento;
- 9.5095 g de areia;
- 20.860 g de brita;
- 3.640 g de água;
- 0.5005 g de fibra de açai;

#### **6.4 Ensaio de Abatimento por Tronco de Cone - Slump Test (NBR NM 67: 1998)**

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto. Cabe ressaltar este assunto, pois muito se confunde entre consistência e trabalhabilidade.

O termo consistência está relacionado a características inerentes ao próprio concreto e está mais relacionado com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Conforme modificamos o grau de umidade que determina a consistência, alteramos também suas características de plasticidade e permitimos uma maior ou menor deformação do concreto perante aos esforços. A trabalhabilidade depende, além da consistência do concreto, das características da obra e dos métodos adotados para o transporte, lançamento e adensamento do concreto.

Um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência é o ensaio de abatimento do concreto, também conhecido como slump test. O molde é preenchido por três camadas da mistura e cada camada sofre adensamento com 25 golpes distribuídos uniformemente com a haste padronizada. Na última camada é utilizado o “colarinho”, um complemento auxiliar. A próxima etapa é a retirada do molde na direção vertical. O abatimento do tronco de cone será verificado a partir da distância da base superior do molde até o centro da base da amostra, como é mostrado na figura abaixo.

Antes de preencher o molde é necessário umedecer o tronco de cone e a placa de base. Ao início do preenchimento do molde, o operador deverá pressionar com os seus pés as aletas dos moldes para deixá-lo fixo.



**Figura 7 – Ensaio de abatimento do concreto**  
**Fonte: Autor**

Conforme podemos observar na foto acima, o abatimento do concreto foi de 9 cm, o que significa que está dentro do resultado que esperávamos, já que esperávamos o abatimento igual a  $10 \pm 2$  cm.

A principal função deste ensaio é fornecer um método simples e conveniente para controlar a uniformidade da produção de concreto de diferentes betonadas. Assim, uma variação fora do normal no resultado do abatimento pode significar numa mudança imprevista nas proporções da mistura (traço), granulometria do agregado ou teor de água.

### **6.5 Produção e Preparação dos Corpos-de-Prova**

Os corpos-de-prova para os ensaios mecânicos, foram moldados de acordo com a norma brasileira NBR 5738 - Concreto: Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova [19] de 2003, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que prescreve o procedimento para produção de corpos-de-prova cilíndricos, utilizados nos ensaios de compressão axial e de tração por compressão diametral, e de corpos-de-prova prismáticos, utilizados no ensaio de tração na flexão.

Os corpos de prova utilizados no presente trabalho foram produzidos a partir de moldes cilíndricos com dimensões de 10x20cm (dez centímetros de diâmetro por vinte

centímetros de altura), de acordo com o exigido pelas normas em referência [19] [20] [21] [22] [23]. Foram utilizados moldes cilíndricos de aço, padrões de cada laboratório. Antes de preencher os moldes com a mistura cimentícia, foi utilizado nas paredes internas dos moldes óleo lubrificante como desmoldante. No ato do preenchimento foi usado uma máquina no qual realizava vibrações para a mistura cimentícia ir se assentando de forma uniforme no molde cilíndrico.

Abaixo é mostrado a figura da máquina realizando as vibrações para o assentamento correto do concreto nos moldes, de modo que não haja nenhuma bolha de ar nos corpos de prova após sua desmoldagem.



**Figura 8 - Vibrações no concreto para exterminação de ar**  
**Fonte: Autor**

Após os corpos de prova estarem preenchidos foram colocadas as devidas identificações para cada dia de rompimento. No dia seguinte os corpos de prova foram desmoldados e colocados dentro de baldes com água até que chegasse as datas marcadas para seus rompimentos.



**Figura 9 – Corpos de prova devidamente identificados e já em contato com água para sua cura.**  
**Fonte: Autor**

### **6.6 Ensaio de Compressão Simples (NBR 7215/1996 e NBR 5739/2007)**

A resistência à compressão axial foi determinada através da NBR 7215 - Cimento Portland: Determinação da Resistência à Compressão [22] de 1996 e da NBR 5739 - Concreto: Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos [23] de 2007.

Para os ensaios de compressão foram usados três tipos de corpos de prova. O de referência, ou seja, sem adição das fibras de açai, com adição de 3% de fibra da semente do açai e com 5% de adição de fibra. Cada tipo de CP teve 4 (quatro) períodos para sua cura, com 3, 7, 14 e 28 dias. Foram ensaiados dois CP's para o de referência, com 3% de fibra e com 5% de fibra de açai, ao total foram seis corpos de prova para cada dia de cura escolhido.



**Figura 10 – Prensa utilizada no ensaio de compressão e corpo de prova no momento do ensaio**  
**Fonte: Autor**

## 7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Baseado nas dimensões dos corpos de prova, calculou-se a área para determinação da tensão.

Cálculo da área do cilindro:

$$A_c = \frac{\pi D^2}{4}$$

Cálculo da Tensão (em Kg/cm<sup>2</sup>):

$$\tau = \frac{F}{A_c}$$

Onde F é a força de compressão.

Os resultados serão demonstrados em MPa, mas para isso é preciso converter os valores de tensão utilizando o método abaixo.

$$MPa = \frac{1}{10} \times \frac{Kg}{cm^2}$$

O primeiro ensaio ocorreu aos 3 dias de cura, o segundo aos 7 dias, o terceiro aos 14 e o quarto ensaio ocorreu aos 28 dias de cura dos corpos de prova.

**Tabela 1 – Resistência à Compressão**

Mistura do Corpo-de-Prova	Resistência à Compressão (MPa)				Carga de Ruptura (KN)			
	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias	3 dias	7 dias	14 dias	28 dias
Referência	22,08	26,52	27,32	29,93	173,35	200,95	214,52	235,38
(0% de fibra)	18,21	20,64	17,09	30,89	142,98	155,86	134,16	242,50
01 MIN	19,19	22,18	25,12	26,87	144,88	167,46	197,20	209,26
(3% de fibra)	14,16	22,83	23,35	27,12	106,93	172,84	183,31	212,92
02 MAX	17,46	21,16	24,71	26,65	131,85	159,73	194,00	210,95
(5% de fibra)	12,49	20,44	20,60	23,12	92,52	154,29	161,75	181,55

**Fonte: Autor**

De acordo com os valores mostrados na tabela acima, podemos observar que os resultados são satisfatórios. A resistência verificada no teste foi próxima do esperado, haja vista que o cálculo foi feito para que o concreto suportasse 25 MPa no seu rompimento final aos 28 dias de cura. Nas etapas que antecederam essa idade de rompimento, com 3 dias de

cura, temos em média para o concreto de referência uma resistência igual a 20,14 MPa, para o concreto com adição de 3% de fibra de açai 16,67 MPa, para o concreto com adição de 5% de fibra 14,97 MPa. Aos 7 dias de cura, temos uma média de 23,58 MPa para o concreto de referência, 22,5 para o concreto com 3% de fibra, e 20,8 para o concreto com 5% de fibra. Aos 14 dias de cura, temos uma média de 22,2 MPa para o concreto de referência, 24,23 para o concreto com 3% de fibra, e 22,65 para o concreto com 5% de fibra. Podemos concluir com isso que conforme mais dias o concreto passa curando, chegando mais próximo da idade ideal de 28 dias, ele fica mais resistente. E também, que a adição de 3% de fibra torna o concreto mais resistente que com 5%, pois foi provado que com 5% ele fica mais vulnerável.

## 8. CONCLUSÃO

Os resultados esperados foram aceitáveis, nosso objetivo era verificar a influência da adição de fibra de açaí no concreto, ao submeter esse concreto à um teste de resistência à compressão. Houve uma resistência significativa nos corpos de prova que possuíam as fibras de açaí, os corpos de prova com adição de 3% obtiveram uma resistência maior do que aqueles que tiveram adição de 5%. A partir destes resultados podemos concluir que uma maior concentração de fibras em um compósito acarreta em uma menor resistência já que ocorre uma diminuição na proporção de cimento e agregados graúdos e miúdos e conseqüentemente mudanças nas suas propriedades como, menor plasticidade, maior segregação e maior exsudação, entre outros, pois cada componente do material compósito possui propriedades que combinados com outros materiais constituintes geram novas propriedades ao material. Visto que isso pode ser um problema, o que se tem à fazer é testar várias quantidades até que se chegue na quantidade ideal para que se possa obter a maior resistência possível.

## 9. REFERÊNCIAS

- [1] BASTOS, P. S. dos S. Histórico e Principais Elementos Estruturais de Concreto Armado. Bauru, 2006. (Notas de Aula referente a disciplina Estruturas de Concreto I). Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.
- [2] FIORITI, C. F. Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria. 2002, 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.
- [3] EIRES, R.G. Materiais não convencionais para uma Construção Sustentável utilizando cânhamo, pasta de papel e cortiça. 2006. 74 p. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho, Portugal, 2007.
- [4] JÚNIOR, U. M. L. Fibras da Semente do Açaizeiro (*Euterpe Oleracea Mart.*): Avaliação Quanto ao Uso como Reforço de Compósitos Fibrocimentícios. Porto Alegre, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia dos Materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2007.
- [5] CARVALHO, J. D. N. de, Sobre as Origens e Desenvolvimento do Concreto. Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.
- [6] PFEIFER, G. et al. Masonry construction manual. Basel, Switzerland: 2001.
- [7] GUIMARÃES, J. E. P. *A Cal*: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. São Paulo: Pini, 1997.
- [8] JUNIOR, E. S. D; ROCHA, L. F. S, Estudo de Concreto com Adição de Fibra de Polipropileno para Controle da Fissuração. Belém, 2001. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade da Amazônia, Pará, 2011.
- [9] FIGUEIREDO, A. D. Concreto com Fibras de Aço. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
- [10] TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. Fissuração por Retração em Concretos Reforçados com Fibras de Polipropileno (CRFP). São Paulo, 1999. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

- [11] SOROUSHIAN.; MIRZA, F.; e ALHHOZAIMY, A. Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete slabs. *Transportation Research Record* 1382, 1993, p. 64-68.
- [12] MAZUMDAR, S. K. *Composites Manufacturing: Materials, product, and process engineering*. Boca Ratón - CRC Press LLC, EUA, 2001.
- [13] GUILHERME, D. D. P.; BARBOSA, A. A. C. D. e ALBINO, A. L. D. *Concreto com Fibras*. Angicos, 2015. Universidade Federal Rural do Semi-Árido Campus Angicos, Rio Grande do Norte, 2015.
- [14] AOKI, J. *Fibras para Concreto*. 2010. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/fibras-para-concreto/>. Acesso em: 26 de janeiro de 2016.
- [15] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fibra> Acesso em 22/01/2016
- [16] ROSA, P. H. C. G. *Materiais Compósitos*. São Mateus, 2010. Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2010.
- [17] VARELA, M. *Mini Curso de Dosagem de Concreto – Método ABCP/ACI*. Mossoró, 2012. Universidade Potiguar – Campus Mossoró, Rio Grande do Norte, 2012.
- [18] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR – 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento*. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 2006.
- [19] \_\_\_\_\_. *NBR 5738 - Concreto: Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova*. Rio de Janeiro: ABNT, Dezembro de 2003.
- [20] \_\_\_\_\_. *NBR 7220 - Agregados: Determinação de Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregado Miúdo*. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987.
- [21] \_\_\_\_\_. *NBR 9479 - Câmaras Úmidas e Tanques para Cura de Argamassa e Concreto*. Rio de Janeiro: ABNT, Junho de 1994.
- [22] \_\_\_\_\_. *NBR 7215 - Cimento Portland: Determinação da Resistência à Compressão*. Rio de Janeiro: ABNT, Dezembro de 1996.
- [23] \_\_\_\_\_. *NBR 5739 - Concreto: Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT, Maio de 2007.