



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

**ARGAMASSA REFORÇADA COM FIBRA DE CAROÁ SOB DIFERENTES  
TIPOS DE CURA**

JOSÉ RONALDO BRANDÃO JUNIOR

CAMPINA GRANDE - PB  
MAIO – 2020

JOSÉ RONALDO BRANDÃO JUNIOR

**ARGAMASSA REFORÇADA COM FIBRA DE CAROÁ SOB DIFERENTES  
TIPOS DE CURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente

**Orientador:** Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto.

CAMPINA GRANDE - PB  
MAIO – 2020

JOSÉ RONALDO BRANDÃO JÚNIOR

**ARGAMASSA REFORÇADA COM FIBRA DE CAROÁ SOB DIFERENTES  
TIPOS DE CURA**

Aprovado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto

Orientador – UFCG/UEAg

---

Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

Examinador interno – UAEEA/CTRN/UFCG

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fernanda Fernandes de Melo Lopes

Examinadora externa – DSER/CCA/UFPB

## **DEDICO**

A meu pai José Ronaldo (*in. Memorian*) por todo empenho em sempre dar a seus filhos uma educação digna e moral, sei que estaria imensamente orgulhoso pelo caminho que traçamos.

A minha mãe Edailza por todo apoio e entendimento.

A minha esposa Kaliana, por entender minha ausência e sempre estar apoiando meus sonhos e objetivos.

A meu tio Edailton e sua esposa Varni pelo apoio no início dessa jornada.

A Família Borges, pelo apoio e encorajamento para que eu seguisse meus sonhos.

Aos amigos que conquistei no decorrer dessa trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Sonhar é verbo: é seguir, é pensar, inspirar e fazer força, insistir, é lutar, transpirar.

São mil verbos que vem antes do verbo realizar.

*Bráulio Bessa*

Quero aqui agradecer a todos que de forma direta e indireta tornaram possível a realização dessa dissertação.

Agradeço a Deus por sempre me dar forças para seguir em busca dos meus sonhos;

Aos meus familiares por todo apoio na jornada e entendimento da minha ausência;

A meu orientador José Pinheiro Lopes Neto por todo apoio, orientação, compreensão e paciência;

A Professora Fernanda Fernandes de Melo Lopes, por todo incentivo, desde a graduação em agronomia, e durante a realização do curso de mestrado;

Aos professores que compõem a área de Construções Rurais e Ambiente, José Wallace, Dermeval e Valeria por todo o conhecimento passado a mim durante as aulas e experimentos;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA/ UFCG, pela realização deste curso de mestrado;

Ao técnico laboratorial Joselito pela grande ajuda durante todo o experimento;

Ao técnico laboratorial Francisco, pela ajuda na reta final do experimento;

Ao professor Flavio Pereira por ceder a autoclave do laboratório de Análises de Solos da UFPB Campus Areia para realização de parte do experimento;

Aos amigos conquistados durante o curso, pelo auxílio durante a realização do experimento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caroá (Neoglaziovia variegata).....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 2. Desfibradora mecânica.....	15
Figura 3. Mecanismos de interação fibra - matriz.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 4. Comportamento do composto durante a ruptura.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 5. Etapas do experimento .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 6. Fibra de Caroá.....	22
Figura 7. Fibra de Caroá sendo tracionada (autor) e esquema do corpo de prova (adaptado de Lopes, 2009).....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 4
Figura 8. Nomeclaturas adotadas.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 9. Produção das argamassas .....	25
Figura 10. Corpos de prova após moldagem e durante o processo de vibração.....	26
Figura 11. Autoclave vertical modelo Phoenix .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 7
Figura 12. Ensaio de resistencia a tração na flexão de 3 pontos .....	28
Figura 13. Corpos de prova com adição de 0%, 2% e 3% .....	299
Figura 14. Alongamento das fibras.....	32
Figura 15. Força suportada até o momento de ruptura .....	32

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1. Publicações sobre adições de fibras vegetais .....	19
Tabela 1. Traço, composição e proporção de fibra utilizada no experimento.....	244
Tabela 2. Massa específica da areia.....	30
Tabela 3. Diâmetro da fibra de caroá .....	30
Tabela 4. Absorção de água das fibras de caroá .....	31
Tabela 5. Propriedades físicas e mecânicas das fibras de caroá .....	32
Tabela 6. Resultados ANOVA .....	33
Tabela 7. Médias dos fatores estudados .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS

XXX	Xxxx xxx xxx
XXX	Xxxx xxx xxx
XX	Xxxx xxx



## SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT .....	11
1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVO.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1 Caroá .....	14
3.2 Propriedades físicas e mecânicas das fibras de origem vegetal .....	15
3.3 Compósitos cimentícios adicionados de fibras .....	16
3.4 Cura em autoclave .....	18
3.5 Estudos e aplicações de fibras vegetais em matrizes cimentícias.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.1 Metodologia Experimental .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.2 Materiais .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.2.1 Obtenção da fibra .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3 Caracterização dos materiais para produção do compósito.....	22
4.3.1 Areia .....	22
4.3.2 Aglomerante .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3.3 Água .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3.4 Diâmetro médio das fibras .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3.5 Absorção de água por imersão .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.4 Ensaio de tração direta. ....	23
4.5 Procedimento experimental.....	24
4.6 Produção das argamassas .....	25
4.7 Processos de Cura.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.7.1 Cura úmida .....	26
4.7.2 Cura hidrotérmica.....	266
4.8 Absorção de água por imersão .....	287
4.9 Ensaio de resistência a tração na flexão.....	28
4.10 Análise estatística do ensaio de tração na flexão. ....	299
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5.1 Massa específica da areia natural .....	30
5.2 Ensaio das fibras .....	30
5.2.1. Diâmetro médio das fibras .....	30
5.2.2. Absorção de água .....	31
5.2.3. Propriedades mecânicas das fibras .....	31
5.3. Ensaio de tração na flexão das argamassas adicionadas de fibras de Caroá .....	33
6. CONCLUSÃO.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
REFERÊNCIAS .....	37
ANEXO .....	41



BRANDÃO JÚNIOR, José Ronaldo. **ARGAMASSA REFORÇADA COM FIBRA DE CAROÁ SOB DIFERENTES TIPOS DE CURA**. 2020. 00f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

## RESUMO

Na crescente busca por materiais renováveis e que agridam menos o meio ambiente as fibras vegetais surgem como alternativa as fibras sintéticas. Diante disto, este trabalho objetivou avaliar a adição da fibra de caroá in natura na formulação de argamassas com teores de 0,2 e 3% de adição de fibra em sua mistura. Adotou-se o traço de 1:3, em massa, sendo empregado o cimento Portland CP V ARI, com fator água/cimento entre (0,50 e 0,80). As fibras foram analisadas mecanicamente pelo ensaio de resistência à tração, as argamassas foram submetidas a dois tipos de cura (convencional e hidrotérmica). As argamassas foram ensaiadas no estado endurecido por meio do ensaio de flexão de 3 pontos. A caracterização mecânica das fibras de caroá evidenciou que a mesma tem capacidade de resistência a tração equiparada a fibras vegetais já utilizadas, como o sisal. Foi comprovado o efeito da cura sob pressão a temperatura média de 100°C e 120 Kgf de pressão em compositos com adição de fibras de caroá. Analisando os resultados aos 14 dias tem-se que os compositos com 3% de adição de fibras apresentaram bons resultados de tensão em realção aos compositos com 0 e 2% de adição independente do tipo de cura. Sendo assim, verifica-se que embora positivos os resultados deve-se procurar ajustar os parametros de cura para um melhor desempenho dos compositos adicionados de fibras.

**Palavras chave:** fibrocimento, resistência mecânica, autoclave.

BRANDÃO JÚNIOR, José Ronaldo. **MORTAR REINFORCED WITH CAROA FIBER UNDER DIFFERENT TYPES OF CURE. 2020. 00f.** Dissertation. Graduate Program in Agricultural Engineering. Federal University of Campina Grande. Campina Grande, PB.

### **ABSTRACT**

In the growing search for renewable materials that are less harmful to the environment, vegetable fibers appear as an alternative to synthetic fibers. In view of this, this work aimed to evaluate the addition of the caroá fiber in natura in the formulation of mortars with contents of 0, 2 and 3%. Of addition of fiber in its mixture. The 1: 3 mass ratio was adopted, using Portland CP V ARI cement, with a water / cement factor between (0.50 and 0.80). The fibers were analyzed mechanically by the tensile strength test, the mortars were subjected to two types of curing (conventional and hydrothermal). Mortars were tested in the hardened state using the 3-point bending test. The mechanical characterization of the caroá fibers showed that it has a tensile strength equivalent to vegetable fibers already used, such as sisal. The effect of curing under pressure at an average temperature of 100 ° C and 120 Kgf of pressure was proven in composites with the addition of caramel fibers. Analyzing the results at 14 days, it was found that the composites with 3% addition of fibers showed good results of tension in relation to the composites with 0 and 2% addition regardless of the type of cure. Therefore, it appears that although the results are positive, one should try to adjust the curing parameters for a better performance of the composites added with fibers.

**Keywords:** fiber cement, mechanical resistance, autoclaving

## 1. INTRODUÇÃO

Existe inúmera variedade de fibras que podem ser adotadas como reforço, dentre essa variedade de fibras, tem-se as fibras vegetais, que podem ser alternativa de viabilidade considerável para a adição a matrizes cimentíceas, agindo como elemento de reforço, formando materiais compósitos com menor custo e impacto ambiental na produção. As fibras vegetais têm sido cada vez mais empregadas como reforço em compósitos cimentícios.

Ao serem adicionadas, as fibras agem na redução da fissuração, fazendo o papel de malha e evitando o desprendimento do material e, conseqüentemente, aumentando a resistência a esforços empregados. Um dos principais entraves no uso das fibras vegetais é a interface fibra – matriz cimentícea. Essa superfície de contato devido a ação da lignina tende a não promover uma acoplagem ideal dos materiais. Outro desafio é a alta capacidade de absorção de água pela fibra causando uma instabilidade dimensional no material.

Melhorias nas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de cimentos com reforço de fibras vegetais, tanto a curto como a longo prazo, são indicativos de sua adequação para uso em construções.

A adoção de novos tratamentos das fibras vegetais e diferentes formas de cura dos compósitos têm sido estudados, visando diminuir os efeitos indesejados das fibras vegetais, dentre eles a absorção de água e surgimento de vazios. Dentre esses tratamentos destaca-se a autoclavagem que faz, através de alta pressão e temperatura, com o que o compósito atinja mais rapidamente a resistência adequada sem a alta absorção de água pela fibra, diminuindo assim o efeito de inchaço causado pela água.

Fibras vegetais que possuam boa produção vegetativa e que tenham a sua utilização em outras esferas, como a indústria têxtil, tendem a ser mais facilmente utilizadas devido já se ter máquinas para seu beneficiamento, a exemplo fibras advindas de plantas de folha longa (paralelinérveas) em que as nervuras são paralelas entre si, como sisal, caroá e curauá.

O Caroá (*Neoglaziovia variegata*) é uma planta endêmica do nordeste brasileiro, uma bromeliácea de hábito herbáceo. Suas longas folhas fornecem, após beneficiamento, uma fibra com reconhecidas propriedades mecânicas. A fibra de caroá já foi amplamente utilizada pela indústria têxtil na região nordeste, mas acabou perdendo espaço na cadeia produtiva para a fibra de sisal e, posteriormente, para as fibras sintéticas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a resistência de argamassas reforçadas com fibra de caroá submetidas a diferentes processos de cura.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar mecanicamente a fibra de caroá.
- Determinar as propriedades mecânicas da argamassa confeccionada a partir da incorporação da fibra vegetal.
- Verificar a influência do tipo de cura (imersão em água e cura hidrotérmica) no desempenho mecânico da argamassa.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Caroá

*Neoglaziovia variegata* conhecida vulgarmente como caroá, é uma bromeliácea endêmica da Caatinga, distribuída por todo o Semiárido do Nordeste brasileiro. Essa espécie já teve papel importante na economia nordestina, na primeira metade do século passado, pela produção de fibra por indústrias têxteis, porém sua exploração foi abandonada com o surgimento das fibras sintéticas (Silveira et al., 2009).

No Brasil, o caroá é encontrado em largos trechos do litoral, desde o Piauí até a Bahia, e no sertão, desde o Ceará até o Vale do São Francisco (Sales et al., 2014). As fibras, que são obtidas através de métodos aplicados nas folhas da planta, são utilizadas na confecção artesanal de cordas, barbantes e papel, é uma planta que apresenta alta resistência, fibras finas e brilhantes. No qual, apresentam propriedades mecânicas que indicam boas aplicações em compósitos poliméricos (Nóbrega, 2007). Na Figura 1 pode-se observar as folhas de caroá com tamanhos variados, tanto o tamanho quanto a idade da folha na etapa de beneficiamento, interfere diretamente na qualidade da fibra.



Figura 1. Caroá (*Neoglaziovia variegata*).

Fonte: Silveira et al., 2009.

Essa bromeliácea ainda é pouco estudada, havendo necessidade de desenvolver um método de propagação eficiente para obtenção de mudas saudáveis, constituindo-se, assim, o primeiro passo para o estabelecimento de um sistema de cultivo e produção, a fim de evitar o extrativismo predatório (Silveira et al., 2009).

O desfibramento do caroá é realizado de duas formas, manualmente através de raspagem onde se obtém uma fibra que apresenta uma maior presença de mucilagem, e

através de desfibradora mecânica (Figura 2), a mesma máquina em que o sisal é desfibrado, obtendo-se assim uma fibra que apresenta um menor teor de mucilagem.



Figura 2. Desfibradora mecânica  
Fonte: SECOM Bahia

### **3.2 Propriedades físicas e mecânicas das fibras de origem vegetal**

Em comparação com as fibras sintéticas, as fibras naturais apresentam baixa densidade, não são tóxicas, de baixo custo, amplamente disponíveis, têm boa resistência à flexão, alto módulo de elasticidade e interessantes capacidade de renovação e biodegradabilidade (Perdeneiras et al., 2018).

As fibras naturais à base de plantas são compostas por celulose, hemicelulose, lignina, pectina e materiais cerosos. A celulose é o principal constituinte da fibra natural que fornece resistência, estabilidade e rigidez às fibras (Sood e Dwivedi, 2018).

Echer et al. (2018) ao estudar as fibras de algodão verificou que a maturidade da fibra está relacionada à espessura de sua parede. As fibras imaturas são determinadas por apresentarem pouco depósito de celulose. O mesmo pensamento pode ser aplicado as fibras oriundas de folhas longas como caroá e sisal, pois a maturidade da folha é observada para proceder a colheita e manufatura.

A resistência a tração de fibras lignocelulosicas depende da distribuição, tamanho e geometria dos micro defeitos presentes na superfície e no volume dos mesmos presentes no feixe de fibras (Santana, 2016)

As diferentes composições encontradas nas fibras vegetais podem causar diferença no comportamento da matriz cimentícia, o que faz com que as fibras necessitem, em alguns casos, passar por tratamentos físicos ou químicos para melhor sua adesão a matriz.



### 3.3 Compósitos cimentícios adicionadas de fibras

Os compósitos apresentam uma combinação de propriedades mecânicas e físicas interessantes e seus benefícios ambientais tem sido o principal fator para seu uso como alternativas para reforços convencionais. Os compósitos exibem maior tenacidade, ductilidade, capacidade de flexão e resistência a rachaduras em comparação com materiais à base de cimento não reforçados com fibras.

Segundo Fonteles (2013) os compósitos fibrosos são materiais reforçados por fibras embebidas em uma matriz. Os compósitos fibrosos são divididos em duas grandes áreas: os reforçados por fibras curtas ( $\leq 50$  mm de comprimento) e os reforçados com fibras longas ( $> 50$  mm de comprimento), normalmente as fibras curtas são mais utilizadas como reforço devido à facilidade de fabricação do compósito.

A principal vantagem do reforço de fibras é o comportamento do compósito após o início da fissuração, à medida que as fibras atravessam as fissuras da matriz e transferem as cargas, o desempenho mecânico dos compósitos depende não apenas das características da matriz e da fibra, mas também das propriedades da interface, além do comprimento da fibra, a resistência do compósito é principalmente governada pela ligação fibra matriz (Ardanuy et al., 2015).

As fibras, para reforço de matrizes cimentícias, podem ser artificiais como as de aço, nylon, polipropileno e vidro, ou as naturais, como as de amianto e as vegetais, a desvantagem das fibras artificiais é o alto custo de obtenção (Abreu, 2012).

A melhoria da aderência fibra-matriz e a minimização da capacidade de absorção das fibras vegetais têm sido buscadas pela aplicação de tratamentos, químicos ou físicos, tanto na matriz quanto na fibra

De acordo com Abbas e Khan (2016) os mecanismos de interação da fibra com a matriz apresentam etapas bem definidas, como as de coesão, transferência de esforços através do efeito ponte de tensões, arrancamento ou ruptura da fibra por tensão de tração, exemplificados na Figura 3.

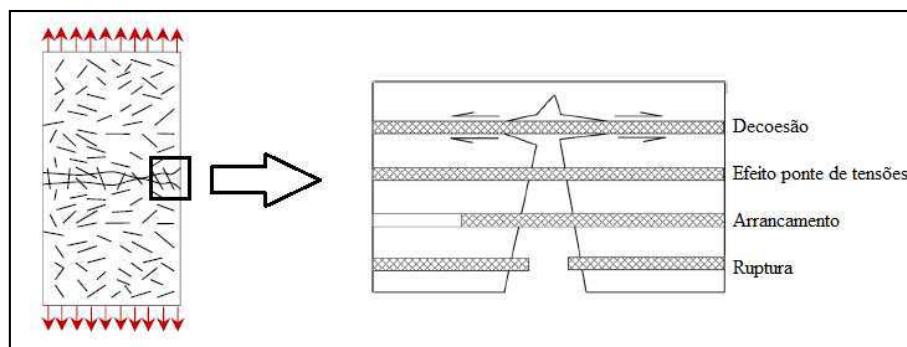


Figura 3. Mecanismos de interação fibra – matriz.

Fonte: Dantas, 2019.

É importante ressaltar que fibras vegetais em geral estão sujeitas a variações significativas nas propriedades mecânicas, físicas e químicas devido às condições da planta, o que pode influenciar diretamente no desempenho mecânico das fibras, assim pode-se dizer que as características das fibras, da matriz e da interface entre estes dois elementos, ou seja, a sua zona de transição, influenciam diretamente nessa ligação (Abbas e Khan, 2016; Soltan et al., 2017).

Em condições severas de intemperismo, o compósito absorve água, o que resulta em mudanças de volume da matriz de cimento e das fibras. Tem-se observado, em consequência desses ciclos de absorção de água, perda de aderência entre fibra e matriz de cimento, resultando em desarticulação dos elementos de reforço e deterioração das propriedades mecânicas dos compósitos (Ferreira et al., 2012).

A ação reforçante das fibras no compósito não é apenas uma função da resistência à tração da fibra, do seu comprimento e da sua fração volumétrica, mas também depende da natureza química e da ligação física entre a fibra e a matriz polimérica. As interações fibra/matriz desempenham um papel fundamental na transferência de tensão da matriz para a fibra, sendo esta ligação criada durante a fase de produção dos materiais compósitos (Xue et al., 2007). A adição em pequenas quantidades de fibras pode reduzir a fissuração por contração de materiais à base de cimento.

Silva et al. (2014) ao avaliar o desempenho de fibras de coco adicionadas a matriz, verificou influência do comprimento das mesmas na resistência do material, ao analisar fibras de coco com comprimentos distintos e determinando um comprimento intermediário ideal.

Os compósitos de cimento reforçado com fibra podem ser classificados em dois tipos, com base no seu teor de fibra: compósitos de fibra de baixo e alto volume. Cada tipo se comporta de maneira diferente sob tensão (Akhvan et al., 2017). Na Figura 4 pode-

se observar o comportamento esperado do compósito, exemplificando a ação das fibras em seu interior, durante a ruptura.



Figura 4. Comportamento do compósito durante a ruptura.  
Fonte: Silva et al., 2014.

### 3.4 Cura em autoclave

A cura hidrotérmica é realizada em autoclave que, segundo Dias (2017), define-se como um vaso de pressão que permite a aplicação de calor, pressão e vácuo em um volume útil dentro do equipamento. Existem diferentes tipos de autoclave, sendo a mais comumente encontrada a de esterilização que utiliza calor úmido e pressão. A utilização de autoclave para confecção de concreto já resulta em um produto comercial, o concreto autoclavado.

Andrade (2015) explica que a cura em autoclave consiste em um processo hidrotérmico, isto é, utiliza-se do vapor d'água para saturar um ambiente hermeticamente fechado, elevando a temperatura interna mediante o aumento de pressão. O endurecimento e desenvolvimento da resistência de concretos, argamassas e outros materiais à base de silicatos de cálcio pode ser acelerado através da cura à vapor sob alta pressão, a cura em autoclave

O efeito positivo da aplicação gradativa de pressão nas primeiras horas permite eliminar o excesso de água e o ar incorporado e diminuir a porosidade (Livi e Repette, 2019).

As fibras vegetais utilizadas como reforço em compósitos estão sujeitas a mudança de volume devido ao inchamento em contato com a fase líquida da mistura, o que posteriormente com a perda de umidade faz com que as paredes das células componentes das fibras se retraiam gerando vazios o que diminui a resistência a esforços por parte do compósito (Pires, 2017).

Dantas (2019) avaliou os efeitos do tratamento hidrotérmico, realizado em autoclave, nas propriedades das fibras de sisal e no comportamento mecânico e durabilidade dos compósitos cimentícios.

Knuth et al. (2017) utilizou a autoclave para promover a obtenção da fibra, fazendo a sua extração após submeter a fibra a autoclavagem promovendo a permanência de um maior teor de lignina o que pode interferir diretamente na aderência fibra matriz.

A cura em autoclave acelera a velocidade de endurecimento do aglomerante e o ambiente saturado de vapor favorece o desenvolvimento da resistência mecânica podendo chegar a valores próximos da resistência alcançada na cura convencional em um menor espaço de tempo (Livi e Repette, 2019).

### 3.5 Estudos e aplicações de fibras vegetais em matrizes cimentíceas

Diante disso o quadro 1 apresenta alguns estudos publicados sobre adição de fibras vegetais a matriz cimentícea.

Quadro 1. Publicações sobre adições de fibras vegetais.

Autores	Título da pesquisa
Zukowski et al. (2018)	A durabilidade do SHCC com fibra curauá tratada com álcalis e exposta ao intemperismo
Ballesteros et al. (2019)	Efeito sinérgico de tratamentos com fibras e matrizes para obtenção de cimento reforçado com melhor desempenho
De Andrade Tanobe, Érico Shooji Oliveira et al. (2019)	Avaliação mecânica de concretos com adição de fibras de açai e curauá
Paiva et al. (2016)	Efeito da fibra de buriti nas propriedades físicas de argamassas de Cimento Portland
Mercedes et al. (2018)	Desempenho mecânico de cimento reforçado com tecido vegetal compósitos matriciais (FRCM)
Kammoun e Trabelsi (2019)	Desenvolvimento de concreto leve usando fibras de pera espinhosa

Os trabalhos realizados, apresentam uso de diferentes tipos de fibras em diferentes matrizes cimentíceas evidenciando inúmeras possibilidades de empregabilidade como reforço.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Metodologia experimental

O experimento foi desenvolvido em conjunto nos Laboratórios de Construções Rurais e Ambientação (LACRA), Laboratório de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) ambos localizados na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Laboratório de Análise de solos do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no município de Areia – PB.

Para tanto, o programa experimental (Figura 5) configurou-se em analisar a fibra, analisar a matriz quanto a incorporação entre os materiais, produção das argamassas e caracterização das propriedades. Foi produzida argamassa no traço 1:3 (cimento: areia), onde foi adicionado a fibra de caroá em proporções de 2 e 3% em relação ao peso da areia.

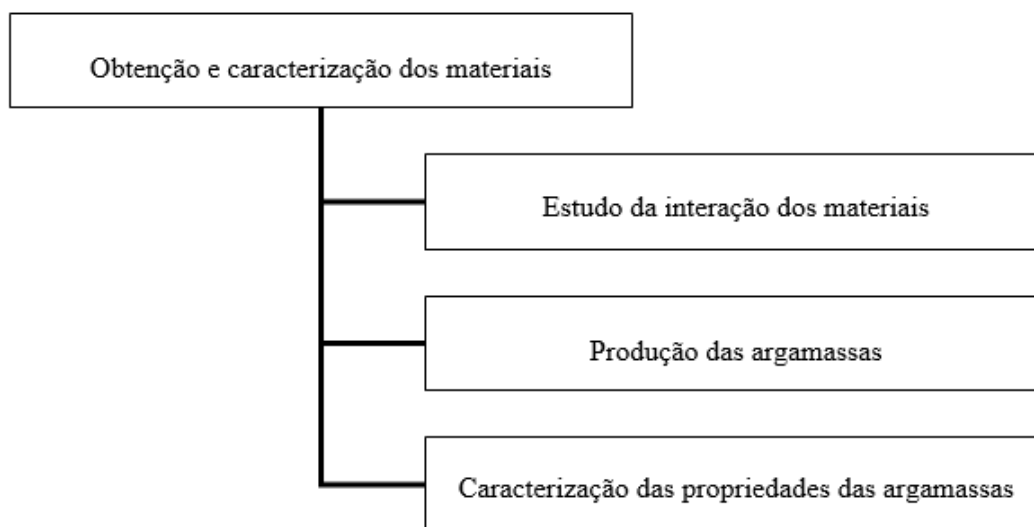


Figura 5. Etapas do experimento

### 4.2 Materiais

#### 4.2.1 Obtenção da fibra

A fibra de caroá foi fornecida pela Cooperativa de Produtores de Sisal de Pocinhos – PB. As folhas para obtenção da fibra passaram por beneficiamento em máquina de

desfibramento mecânico, fornecendo assim uma fibra limpa, ou seja, sem grande presença de resquícios de mucilagem ou impureza da máquina de desfibramento.



Figura 5. Fibra de Caroá.  
Fonte: Arquivo pessoal.

### **4.3 Caracterização dos materiais para produção do compósito**

#### **4.3.1 Areia**

A areia utilizada foi adquirida junto ao comércio local. A massa específica da areia natural foi obtida pelo método descrito na NBR NM 52 (2003). A caracterização granulométrica da areia utilizada no estudo foi realizada com base na NBR 7211 (2009). A areia já havia passado pelo ensaio de peneiramento sendo caracterizada como areia fina.

#### **4.3.2 Aglomerante**

Empregou-se o Cimento Portland CPV-ARI para a produção da argamassa, o cimento foi cedido pela Supermix Concreto. O cimento Portland CPV – ARI, normatizado quanto a resistência compressão pela NBR 7215/09. Especificações constam no anexo 1.

#### **4.3.3 Água**

Toda a água utilizada foi proveniente da rede pública de abastecimento do município de Campina Grande, fornecida pela UFCG.

#### 4.3.4 Diâmetro médio das fibras

Para a determinação do diâmetro médio das fibras foram escolhidos aleatoriamente trinta fios, o valor referente ao diâmetro foi obtido através da medição de três pontos para cada fio de fibra utilizando-se do micrômetro analógico modelo A3000 da marca Baxio.

#### 4.3.5 Absorção de água por imersão – fibras

Para se determinar a absorção de água pela fibra de caroá as amostras foram secas em estufa pelo período de 24h a temperatura média de 60°C, após esse período foram pesadas e submersas em um recipiente contendo água destilada. A capacidade de absorção foi medida em três períodos, sendo 1/2, 2 e 24h, onde ao serem retiradas da água estas passaram para outro recipiente contendo papel absorvente onde eram superficialmente secas e passavam por nova pesagem.

Os resultados foram determinados seguindo a equação:

$$P = P_0 - P_1$$

Onde  $P_0$  é o peso inicial e  $P_1$  é o peso após imersão

### 4.4 Ensaio de tração direta

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais em máquina de ensaios mecânicos. Foram montados corpos-de-prova com o auxílio de papel, o papel com objetivo de auxiliar no acoplamento junto as garras da máquina, nas dimensões de 15cm (comprimento) x 3,0 cm (largura), para o engate nas garras (Figura 7). O comprimento útil da fibra para o ensaio após a confecção do corpo-de-prova foi de aproximadamente 10 cm.

Foram utilizados 30 corpos-de-prova para determinação da tração direta. Os corpos-de-prova foram montados buscando deixar uma única fibra por corpo-de-prova. O ensaio foi realizado em máquina de ensaio mecânico EMIC acoplada à célula de carga de 20 kgf, utilizando para obtenção dos dados o Programa TESC®.



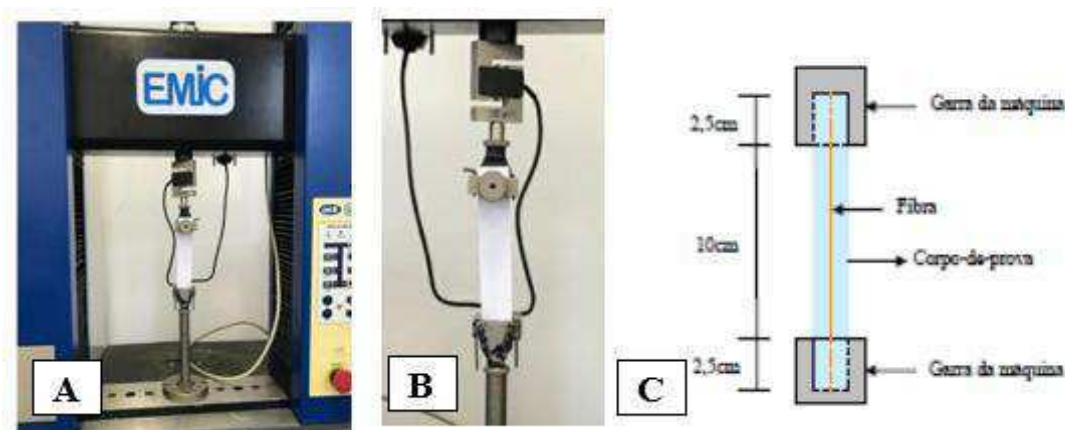


Figura 6. Fibra de Caroá sendo tracionada (A, B), esquema do corpo de prova (C).  
 Fonte: A e B – Arquivo pessoal; C – Adaptado de Lopes (2009).

Dentre os 30 corpos de prova ensaiados 4 tiveram seus resultados desprezados por erro de leitura da máquina ou desprendimento das garras.

#### 4.5 Procedimento experimental

Inicialmente foi definido o traço da argamassa, sendo 1:3 (cimento: areia), sendo calculado em massa e os teores de adição da fibra de 0, 2 e 3% do peso de areia. Tal adição foi realizada experimentalmente, fixando-se o valor do cimento utilizado, retirando-se uma porcentagem em peso da areia e adicionando em fibra o valor retirado.

Para atingir a mesma consistência da argamassa de referência nas demais composições foi necessário aumentar o fator água/cimento gradativamente à medida que se aumentava a proporção de adição de fibra.

As fibras foram cortadas com comprimento médio de 1,5 cm visando favorecer a sua incorporação na matriz.

Tabela 1. Traço, composição e proporção de fibra utilizada no experimento.

Traço	Composição do traço	% de fibra de Caroá	Fator água/aglomerante
1:3	Cimento: areia	0%	0,50
1:3	Cimento: areia :fibra vegetal	2%	0,70
1:3	Cimento: areia :fibra vegetal	3%	0,80

A nomenclatura adotada para as argamassas segue exposta na Figura 8. Após a definição da nomenclatura iniciou-se a produção das argamassas.

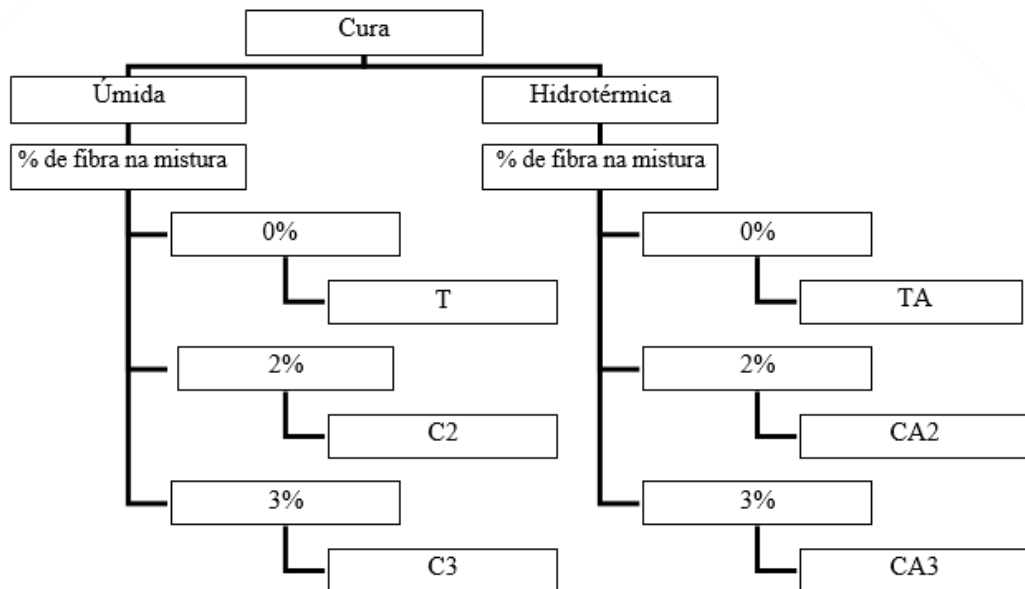


Figura 8. Nomenclaturas adotadas.

#### 4.6 Produção das argamassas

Após testes com diferentes comprimentos de fibra, foram confeccionados corpos de prova prismáticos. Os corpos de prova foram moldados seguindo a NBR 12142 (2010) que visa a determinação da resistência a tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Para a moldagem foi utilizado soquete cilíndrico para auxiliar na acomodação. Como proposto o estudo de dois tipos de cura com duas adições de fibra em porcentagem, foram moldados seis corpos de prova para cada tratamento (Figura 9), pode-se observar os materiais secos (fibra, cimento e areia) antes e após a adição de água para o amassamento.



Figura 7. Produção das argamassas.

Fonte: Arquivo pessoal.

Todos os traços passaram, após moldagem, por agitador vibratório ficando pelo período de 2 minutos (Figura 10). Tal procedimento visa uma melhor acomodação do material no molde auxiliando na diminuição de vazios.



Figura 8. Corpos de prova após moldagem e durante o processo de vibração.  
Fonte Arquivo pessoal.

#### **4.7 Processo de Cura**

O processo de cura para todos os tratamentos foi fixado em 14 dias visto a natureza dos materiais empregados em especial do cimento CPV ARI, por este atingir já nos primeiros dias de cura uma maior resistência.

##### **4.7.1 Cura úmida**

O processo de cura úmida foi realizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA), onde os corpos de ficaram submersos em água logo após serem desmoldados.

##### **4.7.2 Cura hidrotérmica.**

A cura em autoclave foi realizada no Laboratório de Análises de Solos do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba.

Os corpos de prova foram acondicionados logo após o desmolde em autoclave vertical da marca Phoenix (Figura 11) sob uma temperatura média de 100°C e pressão de

1kgf/cm<sup>2</sup> estando o equipamento pré-aquecido a uma temperatura de 60°C. Após a autoclave ser fechada decorreram aproximadamente 15 min para a mesma estabilizar a temperatura de 100°C. Após o período de 1h sobre a temperatura e pressão anteriormente citados a autoclave foi desligada e só foi aberta após o resfriamento total.

Ao serem retirados da autoclave os corpos de prova seguiram para um recipiente onde foram colocados em ambiente úmido até completarem 14 dias.



Figura 9. Autoclave vertical modelo Phoenix.  
Fonte: Arquivo pessoal.

#### 4.8 Absorção de água por imersão

Para o ensaio de água por imersão foram preparados 4 corpos de prova cilíndricos para cada tratamento adotado sendo 0, 2 e 3 % de adição de fibras. Foi determinada a massa de cada corpo de prova após o desmolde, em seguida os corpos foram levados a estufa a temperatura média de 105°C, passando o período de 24 horas na mesma, após esse período os corpos foram retirados da estufa e determinada a sua massa.

As amostras foram completamente imersas em água pelo período de 24 horas, após esse período foram superficialmente secas com papel absorvente e novamente tiveram a sua massa determinada.

Após a determinação de sua massa foi utilizada a seguinte expressão para obtenção do valor de absorção:

$$A_i = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

Onde:

$A_i$  = absorção de água por imersão, em %;

$M_{sat}$  = massa do corpo-de-prova saturado;

$M_s$  = massa do corpo-de-prova seco em estufa.

#### 4.9 Ensaio de resistência a tração na flexão

Os ensaios de resistência a tração na flexão foram realizados no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia de Materiais. Na Figura 12 pode-se observar o corpo de prova com adição de 3% de fibras de caroá durante o ensaio de ruptura. Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados com velocidade de carregamento de 0,001 mm/s, em corpos prismáticos cujas dimensões: largura, altura e comprimento são 40, 40 e 160 mm, respectivamente.



Figura 10. Ensaio de resistência a tração na flexão de 3 pontos.

Fonte: Arquivo pessoal.

A distribuição dos feixes de fibra no interior dos corpos de prova (Figura 13) está diretamente relacionada com a resistência observada, visto que uma melhor distribuição das fibras tende a acarretar uma maior resistência nos ensaios.



Figura 11. Corpos de prova com adição de 0%, 2% e 3%.  
Fonte: Arquivo pessoal.

#### **4.10 Análise estatística do ensaio de tração na flexão**

Após o ensaio de resistência a tração na flexão das argamassas foi necessário realizar um estudo estatístico através de um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3 x 2, sendo 3 tratamentos (0%, 2% e 3%) com 2 tipos de cura (úmida e hidrotérmica), com 6 repetições em cada tratamento, realizando um comparativo entre as diferentes proporções de fibra para cada tipo de cura e entre os tipos de cura na mesma proporção, através do teste de Tukey com valor nominal de 5% de significância.

Foi utilizado o programa estatístico ASSISTAT versão 7.7 para aquisição dos dados estatísticos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Massa específica da areia natural

A massa específica da areia natural utilizados nesta pesquisa consta na Tabela. 2

Tabela 2 . Massa específica da areia.

Material	Massa específica (g/m <sup>3</sup> )
Areia natural	2,60

A areia utilizada foi classificada como fina sendo está classificação ideal para o uso com agregado na matriz com adição de fibra, que segundo Magalhães et al. (2014), é ideal devido a influencia da granulometria do agregado na dispersão e comportamento das fibras nos compósitos cimentícios. Quanto mais fina a partícula melhor o comportamento da fibra no interior da matriz cimentícea.

### 5.2 Ensaio das fibras

#### 5.2.1 Diâmetro médio das fibras

As fibras apresentaram diferentes diâmetros entre si, com média de 0,185 mm o que resultados similares aos encontrado por Lopes (2009) que ao avaliar o diâmetro das fibras de sisal, caroá e curauá encontrou valores de 0,23 mm, 0,17mm e 0,13 mm respectivamente.

A variação de diâmetro entre as fibras pode ser explicada pela diferença de maturidade da folha coletada no momento do beneficiamento. Lima (2019) explica que a maturidade da fibra influencia a resistência a esforços, tensões e atritos. As fibras utilizadas para esta pesquisa são provenientes de plantas adultas com tamanho de folha entre 120 e 130 cm.

Tabela 3 - Diâmetro médio da fibra de caroá.

Fibra	Diâmetro (mm)		
	Máximo	Mínimo	Média
Caroá	0,240	0,130	0,185

A distribuição dos feixes e a relação comprimento-diâmetro influenciam diretamente o grau de aderência com a matriz.

Santiago (2018) explica que em relação ao diâmetro as fibras grossas tendem a serem mais rígidas e ásperas, as finas mais suaves e flexíveis. Santos (2010) ao estudar as fibras de miriti verificou que o aumento da resistência a tração variou positivamente de acordo com a diminuição do diâmetro médio da fibra.

### 5.2.2 Absorção de água

As fibras de caroá apresentaram comportamento crescente de absorção já no primeiro período de avaliação (1/2 h) onde verificou-se uma absorção de água superior a 90% de sua massa em estado seco, sendo este período o de maior absorção de água pelas amostras. Após o primeiro momento a absorção mostrou-se linear em todas as amostras ensaiadas.

Tabela 4 – Absorção de água das fibras de caroá

Caroá	Absorção de água (%)		
	Tempo de imersão (h)		
	1/2h média-s	2h média-s	24h média-s
	91,56 – 1,01	103,15 – 2,47	106,51 – 1,81

Os resultados de absorção encontrados seguem o encontrado em pesquisas relacionadas ao uso de fibras.

### 5.2.3 Propriedades mecânicas das fibras

Na Tabela 5, pode-se observar que a tensão média encontrada foi de 227,5 Mpa, as fibras de caroá apresentaram resistência média próxima a encontrada em outras fibras como a bucha vegetal cuja resistência a tração média encontrada na literatura é de 80-99 Mpa, a fibra de curauá 260-280 Mpa e a fibra de sisal 210-290 Mpa, a fibra de caroá mostra-se com uma resistência igual ou superior a fibras vegetais comumente estudadas como adição a argamassa, em comparação a fibras sintéticas como polipropileno que tem média de resistência a tração de 250 Mpa, o que faz da fibra de caroá um opção viável para o uso como reforço, mesmo sem passar por tratamentos químicos.



Tabela 5 - Propriedades mecânicas das fibras de caroá.

Caroá	Força (N)		Alongamento (mm)		Tensão (MPa)	
	Min - Max	Média	Min - Max	Média	Min - Max	Média
	2,12 - 9,62	5,07	0,70 - 2,08	1,39	69,81 – 385,29	227,5

Pode-se notar nas figuras 14 e 15 respectivamente os gráficos de alongamento e força de vinte e seis corpos de prova submetidos ao ensaio de tração, com médias de 1,39 mm de alongamento e 5,07 Newtons de força até o momento de ruptura.

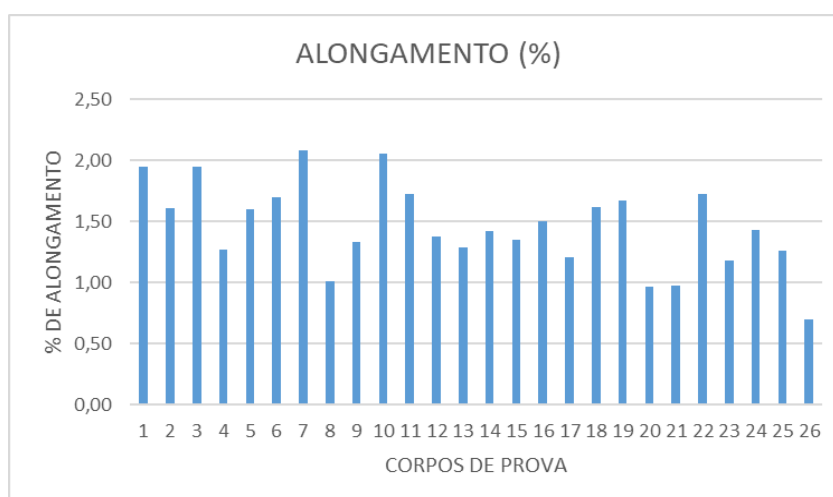


Figura 12. Alongamento das fibras.

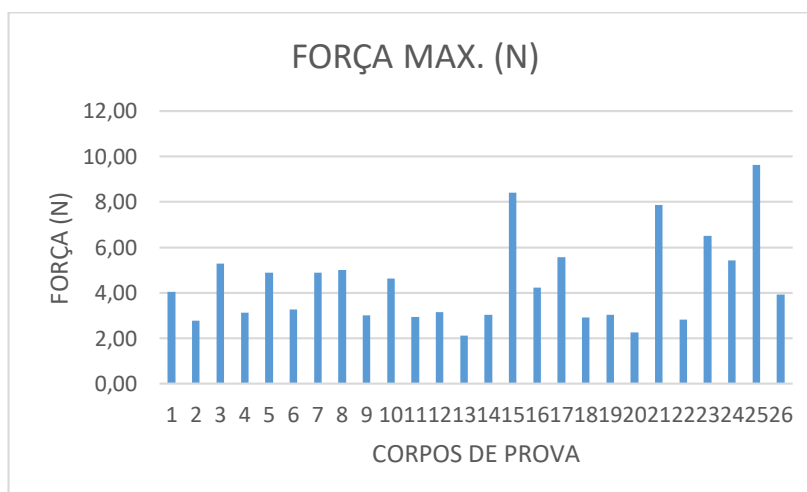


Figura 13. Força suportada até o momento de ruptura.

Lopes (2009) verificou que a média do módulo de elasticidade para fibras de caroá é de 5,7 GPa, em comparação com fibras como sisal com 11,5 GPa e curauá com 11,4 GPa.

Komuraiah et al. (2014), em seu estudo, observou correlações entre as propriedades das fibras e a sua composição química e estrutura morfológica. Dentre os resultados obtidos pelo autor, foi verificado que quanto maior o teor de hemicelulose e lignina, menor a resistência à tração e módulo de elasticidade das fibras.

A relação alongamento e força comprova que as fibras vegetais tendem a auxiliar a resistência do compósito no momento da fissuração, pois com o alongamento dos seus filamentos e a transmissão de cargas entre os feixes de fibras podendo suportar tensões entre as fases de decoesão e ponte de tensões (Figura 3).

Lemos e Frendenberg (2019) ao estudar a adição de fibras de coco ao concreto verificou que o concreto adicionado de fibras suportou tensão mesmo após a ruptura, evidenciando o papel das fibras em evitar a ruptura abrupta do compósito. Esse suporte de tensão mesmo após a ruptura deve-se em parte ao alongamento e arrancamento da fibra.

### 5.3 Ensaio de tração na flexão das argamassas adicionadas de fibras de Caroá

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados todos os valores de resistência à tração na flexão das argamassas no estado endurecido, bem como suas médias.

Tabela 6. ANOVA

FV	GL	SQ	QM	F
Cura hidrotérmica	1	0,5	0,5	27,8**
Cura úmida	2	0,6	0,3	15,3**
Cura hidrotérmica x cura úmida	2	1,1	0,5	28,1**

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* Não significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

Fator 1 Autoclave

Fator 2 Substituição

Tabela 7. Médias dos fatores estudados

Tipo de cura	
Autoclave	0,99222 a
Úmida	0,74500 b
DMS	0,09578
Teor de substituição	
0%	0.88333 a
2%	0.70250 b
3%	1.02000 a
DMS	0.14125

\*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si

Verificou-se que o tipo de cura diferiu estatisticamente, bem como teor adição empregado ( $P < 1\%$ ), onde os teores de 0 e 3% de fibra apresentaram uma maior resistência quando comparados ao teor de 2% de adição de fibra de caroá.

O resultado superior da argamassa com 3% de adição em relação a testemunha vai de encontro aos resultados encontrados por Ozerkan et al. (2013) em que ao estudar a adição de fibra de tamareira a argamassa verificou o aumento da resistência a tração e flexão em relação a testemunha de acordo com o teor de fibra adotado.

O maior teor de fibra empregado ter apresentado o melhor resultado também foi encontrado por Pimentel et al. (2016) que ao avaliar a adição de fibras de curauá verificou que quanto ao comportamento ao longo da deflexão, o compósito com maior fração volumétrica teve o melhor desempenho.

Esse valor superior também pode ser explicado pelo comportamento pós fissuração dos compósitos adicionados de fibras, quando o compósito sem adição ao ser rompido não exercia mais resistência o compósito com fibras no aparecimento das primeiras fissuras ainda apresentava resistência.

Ali et al. (2012) avaliou a resistência à flexão, além de propriedades dinâmicas do concreto reforçado com fibra de coco com 28 dias de idade. O autor analisou os teores de 1, 2, 3 e 5% de fibra em relação à massa de cimento cujos comprimentos testados foram 25, 50 e 75 mm; ao final do estudo concluiu que o compósito com as melhores propriedades foi obtido quando utilizada a mistura com 1% de fibra de coco cuja a diferença de resistência dos concretos é de aproximadamente 5%.

Pode-se verificar que valores elevados de adição não são comumente empregados ficando as adições de 2 e 3% no comumente utilizado para adição de fibras pelos demais autores.

De acordo com Orban et al. (2018) as principais razões para a melhoria das propriedades da argamassa devem-se à influência das fibras no comportamento pós-fissuração dos compósitos.

O comportamento pós fissuração também foi comprovado por Salgado (2019) que ao avaliar o comportamento mecânico de placas de concreto celular autoclavado adicionado de fibras de curauá verificou que após a ruptura a energia não foi perdida abruptamente, mas sim liberada gradualmente o que não ocorreu com as placas sem a adição de fibras.

Esse comportamento pós fissuração em compósitos autoclavados tendem a ser ainda melhores devido o menor teor de água absorvido pela fibra o que gera um menor efeito de inchamento do material que com a perda de umidade geraria vazios no material.

Segundo Dias (2017) compósitos curados em autoclave logo após serem retirados são mais homogêneos e atingem mais rápido sua resistência esperada.

Tonoli (2009) o desempenho da autoclavagem em compósitos adicionados de fibra de bambu, comprovou que a hidratação mais intensa do cimento devido as condições da autoclavagem permitem obter ligações mais eficientes entre a fibra e a matriz cimentícia, auxiliando a não mineralização das fibras.

Como o compósito foi ensaiado aos 14 dias de cura o comportamento de resistência aos primeiros dias levando-se em conta a natureza do cimento empregado já era esperada, idades mais avançadas não foram ensaiadas.

## 6. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi possível verificar a influência do tratamento hidrotérmico em autoclave sob a propriedade mecânica dos compósitos cimentícios adicionados de fibra de caroá.

Quanto a resistência à tração da fibra de caroá, foi possível verificar valores que vão de encontro aos demais trabalhos com fibras vegetais o que potencializa seu uso como adição. A absorção de água por parte da fibra pode representar um fator limitante a depender da empregabilidade do compósito.

A autoclavagem apresentou resultados significativos ao nível de 1% de probabilidade em comparação a cura convencional o que pode evidenciar a menor presença de vazios no compósito.

As argamassas com teor de 2 % de fibra (C2 E CA2) mostraram-se inferiores a testemunha para ambos os tipos de cura

As argamassas com teor de 3% de fibra (C3 e CA3) apresentaram resultados significativos ficando acima dos resultados da testemunha para ambos os tipos de cura

Portanto, pode-se concluir que a autoclavagem do material, sem que haja um tratamento da fibra, visando melhorar a interface fibra - matriz cimentícia, irá influenciar diretamente na resistência do compósito.

## REFERÊNCIAS

- Abbas, Y. M.; Khan, M. I. Fiber-matrix interactions in fiber-reinforced concrete: A review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v.41, p.1183-1198, 2016.
- ABNT. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro 2009.
- ABNT. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.
- Akhavan, A.; Catchmark, J.; Rajabipour, F. Ductility enhancement of autoclaved cellulose fiber reinforced cement boards manufactured using a laboratory method simulating the Hatschek process. *Construction and Building Materials*, v.135, p.251-259, 2017.
- Ali, M.; Liu, A.; Sou, H.; Chouw, N. Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, v.30, p.814-825, 2012.
- Andrade, T. C. C. Avaliação do tipo de cura nas propriedades de concretos de pós reativos. Curitiba: UFPR, 2015. 102f. Dissertação Mestrado.
- Ardanuy, M.; Claramunt, J.; Toledo Filho, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and building materials*, v.79, p.115-128, 2015.
- Ballesteros, J. E. M.; Mármol, G.; Filomeno, R.; Rodier, L.; Savastano Junior.; Fiorelli, J. Synergic effect of fiber and matrix treatments for vegetable fiber reinforced cement of improved performance. *Construction and Building Materials*, v. 205, p. 52-60, 2019.
- Carvalho, M. J. C.; Gomes, I. S.; Rocha, T. O. S.; Silva, D. S.; Vilhena, E. S.; Nascimento, A. S.; Fujiyama, R. T. Bending characteristics of cementitious matrix composite reinforced with natural fibers of piaçava (*Attalea funifera*). *Brazilian Applied Science Review*, v.3, p.791-803, 2018.
- De Andrade Tanobe, Érico Shooji Oliveira et al. Avaliação mecânica de concretos com adição de fibras de açaí e curauá. *Revista Técnico-Científica*, n. 21, 2019.
- Delannoy, G.; Marceau, S.; Glé, P.; Gourlay, E.; Guéguen-Minerbe, M.; Diafia, D.; IssamNour, I.; Amziane, S.; Farcas, F. Aging of hemp shiv used for concrete. *Materials & Design*, v.160, p.752-762, 2018.
- Dias, R. O. N. Desenvolvimento de um autoclave para cura de materiais compósitos. Brasília: UnB, 2017. 112f. Trabalho de Conclusão de Curso.
- Echer, F.; Roselem, C. A.; Raphael, J. P. A. Manual de Qualidade da Fibra – Parte 4: Produzir uma fibra de qualidade - (Desenvolvimento da planta e qualidade da fibra). AMPA - IMAmt – Instituto Mato-grossense do Algodão, 2018.

Ferreira, S. R.; Lima, P. R. L.; Silva, F. A.; Toledo Filho, R. D. Influência de Ciclos de Molhagem-Secagem em Fibras de Sisal Sobre a Aderência Com Matrizes de Cimento Portland. *Revista Matéria*, v.17, p.1024-1034, 2012.

Gonçalves, D. F. C. Hidrólise enzimática de fibra de Caroá (*Neoglaziovia variegata*) visando à produção de nanocelulose e etanol. Botucatu: UNESP, 2016. 34f. Tese Doutorado.

Kammoun, Z.; Trabelsi, A. Development of lightweight concrete using prickly pear fibres. *Construction and Building Materials*, v.210, p.269-277, 2019.

Knuth, F. A.; Gonçalves, M. R. F.; Gatto, D. A.; Knuth, R. D. Feixes de fibras Lignocelulósicas refinadas mecanicamente em compósitos cimentícios para avaliação da resistência à tração. *Tecno-Lógica*, v.21, p.46-50, 2017.

Komuraiah, A.; Kumar, N. S.; Prasad, B. D. Chemical composition of natural fibers and its influence on their mechanical properties. *Mechanics of composite materials*, v.50, p.359-376, 2014.

Lemos, A. M.; Frendenberg, F. C. Estudo da utilização de fibra de coco em vigas de concreto. *Engineering Sciences*, v.7, p.1-8, 2019.

Lima, D. O. Desenvolvimento e caracterização física e mecânica de compósitos cimentícios reforçados com tecido têxtil de fibras de algodão. Manaus: UFAM, 2019. 108f. Tese Doutorado.

Livi, C. N.; Repette, W. L. Pastas de ultra-alto desempenho submetidas a cura sob pressão. *Ambiente Construído*, v.19, p.83-98, 2019.

LOPES, Fernanda Fernandes de Melo et al. Desempenho e durabilidade de fibras vegetais modificadas superficialmente e submetidas a meios ácido e alcalino. 2009. Tese Doutorado.

Magalhães, M. S.; Toledo Filho, R. D.; Fairbairn, E. M. R. Influence of local raw materials on the mechanical behavior and fracture process of PVA-SHCC. *Materials Research*, v.17, p.146-156, 2014.

Masri, T.; Ounis, H.; Sedira, L.; Kaci, A.; Benchabane, A. Characterization of new composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes. *Construction and Building Materials*, v.164, p.410-418, 2018.

Mercedes, L.; Gil, L.; Bernat-Maso, E. Mechanical performance of vegetal fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) composites. *Construction and Building Materials*, v.175, p.161-173, 2018.

Mohamad, G.; Neto, A. D. S.; Pelisser, F.; Lourenço, P.; Roman, H. Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural-previsão e modo de ruptura. *Matéria*, v.14, p.824-844, 2009.

Nóbrega, M. M. S. Compósitos de matriz poliéster com fibras de caroá Neoglaziovia variegata: caracterização mecânica e sorção de água. Campina Grande: UFCG, 2007, 122f. Tese Doutorado.

Orban, Y. A.; Manea, D. L.; Aciu, C.; Mustea, A. Virtual manufacturing and mechanical properties of synthetic fiber-reinforced mortars. *Procedia Manufacturing*, v.22, p.262-267, 2018.

Ozerkan, N. G.; Ahsan, B.; Mansour, S.; Iyengar, S. R. Mechanical performance and durability of treated palm fiber reinforced mortars. *International Journal of Sustainable Built Environment*, v.2, p.131-142, 2013.

Paiva, A. E. M.; Sousa Junior, P. A.; Politi, F. S.; Silva, K. R. C. Efeito da Fibra de Buriti nas Propriedades Físicas de Argamassas de Cimento Portland. *Revista Tecnológica*, v. 25, n. 1, p. 91-102, 2016.

Pederneiras, C. M.; Veiga, M. R.; Brito, J. Desempenho de argamassas com incorporação de fibras naturais: contribuição para o comportamento à fissuração. In: 3º SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO, ITeCons – Coimbra. CD-Rom, **Anais...** 2018.

Pimentel, M. G.; Borges, J. P. C.; Picanco, M. S.; Ghavami, K. Resposta à flexão e análise de tenacidade de argamassas reforçadas com fibra de Curauá. *Revista Matéria*, v.21, p.18-26, 2016.

Pinto, M. V. S. Estudo higrotérmico de compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais juta/algodão manufaturado por RTM: caracterização mecânica e sorção de água. Campina Grande: UFCG, 2018. 129f. Tese Doutorado.

Pires, C. Tratamento termomecânico e higro-termomecânico de fibras de bucha vegetal para aplicação em compósitos cimentícios. Uberlândia: UFU, 2017. 132f. Dissertação Mestrado.

Salgado, I. Avaliação do Comportamento Mecânico de Painéis Sanduíche com Compósitos Laminados Reforçados com Fibra de Curauá e Núcleo de Concreto Celular Autoclavado. Rio de Janeiro: PUC, 2019. 171f. Tese Doutorado.

Santana, P. N. A. Estudo de matriz cimentícia reforçada com fibra de curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius*) e submetida à cura em atmosfera com excesso de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Pirassununga: USP, 2016. 127f. Tese Doutorado.

Santiago, P. V. T. Estudo das propriedades das fibras de coco modificadas com sistemas microemulsionados. Natal: UFRN, 2018. 65f. Trabalho de Conclusão de Curso.

Silva, E. J.; Silva, P. D.; Marques, M. L.; Fornari Junior, C. C. M.; Garcia, F. C.; Luzardo, F. H. M. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.1268-1273, 2014.



Silveira, D. G.; Amorim, E. P.; Jesus, O. N.; Souza F. V. D.; Pestana, K. N.; Santos, V. J.; Santana, J. R. F. Variabilidade genética de populações naturais de caroá por meio de marcadores RAPD. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.283-290, 2009.

Soltan, D. G.; Neves, P.; Olvera, A.; Savastano Junior, H.; Li, V. C. Introducing a curauá fiber reinforced cement-based composite with strain-hardening behavior. *Industrial crops and products*, v.103, p.1-12, 2017.

Sood, M.; Dwivedi, G. Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. *Egyptian journal of petroleum*, v.27, p.775-783, 2018.

Souza, J. D. G. T.; Motta, L. A. C.; Pasquini, D.; Vieira, J. G. Pires, C. Modificação química superficial de fibras de bucha vegetal visando à compatibilização e aplicação como reforço em matriz cimentícia. *Ambiente Construído*, v.17, p.269-283, 2017.

Tonioli, S. E. Efeitos da Carbonatação Acelerada em Compósitos do tipo Engineered Cementitious Composites. *E&S Engineering and Science*, v.8, p.50-61, 2019.

Tonoli, G. H. D. Fibras curtas de eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento. São Carlos: USP, 2009. 150f. Tese Doutorado.

Vantadori, S.; Carpinteri, A.; Zanichelli, A. Lightweight construction materials: Mortar reinforced with date-palm mesh fibres. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, v.100, p.39-45, 2019.

Xue, Y. Veazie, D.R.; Glinsey, C.; Horstemeyer, M. F.; Rowell, R.M. Environmental effects on the mechanical and thermomechanical properties of aspen fiber–polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, v.38, p.152-158, 2007.

Zukowski, B.; Santos, E. R. F.; Mendonça, Y. G. S.; Silva, F. A.; Toledo Filho, R. D. The durability of SHCC with alkali treated curauá fiber exposed to natural weathering. *Cement and Concrete Composites*, v.94, p.116-125, 2018.

## **ANEXOS**

FABRICA: Caapora

MARCA: CP V ARI

CP V ARI, Exp G  
(NBR 16697/18)  
Estocagem



BOLETIM DE ANÁLISES DE  
CIMENTO

novembro de 2019

LafargeHolcim

#### ENSAIOS QUÍMICOS

ENSAIOS	NBR Nº	UNIDADE	Média	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/18
FF 950C	NM1813	%	5,17	≤4,50
SO3	NM1812	%	3,63	≤4,50
RI	NM2204	%	0,68	≤0,50
CaO	NM1313	%	1,80	não aplicável
Cl	NBR	%	0,18	não aplicável
MgO	NM1412	%	2,44	≤0,50

#### ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS

ENSAIOS	NBR Nº	UNIDADE	Média	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/18
Dens	NM7515	cm <sup>3</sup> /g	4740	≥300
Ret. 75mc	1157913	%	0,4	≤0,5
Ret. 48mc	1202514	%	1,8	não aplicável
IP	NM5503	min.	138	≥80

#### RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) - NBR 7215/96

ENSAIOS	NBR Nº	UNIDADE	Desvio	Média	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697/18
Resist. Comp. 1D (NBR)	NBR 7215/09	MPa	0,85	28,1	≥14,0
Resist. Comp. 3D (NBR)	NBR 7215/09	MPa	1,05	38,0	≥24,0
Resist. Comp. 7D (NBR)	NBR 7215/09	MPa	1,35	40,3	≥34,0
Resist. Comp. 28D (NBR)	NBR 7215/09	MPa	1,35	48,2	não aplicável

Observações:



Alan Brinc de Silva  
R.L. 029019 - 1ª Região PB  
Engenharia de Processos S.

Atualizado em: 05/01/2020 13:08:30