



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETO REFORÇADO
COM FIBRAS DE BAMBU DA AMAZÔNIA GUADUA ANGUSTIFOLIA**

*STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF CONCRETE REINFORCED WITH
BAMBOO FIBERS FROM AMAZON GUADUA ANGUSTIFOLIA*

STEFANO GOMES CORRÊA
IFAM

Nota de esclarecimento:

Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o VIII SINGEP e a 8ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **01, 02 e 03 de outubro de 2020**.



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE BAMBU DA AMAZÔNIA GUADUA ANGUSTIFOLIA

Objetivo do estudo

O presente artigo tem como objetivo avaliar a influência de fibras de bambu *Guadua Angustifolia* na resistência à tração do concreto, na proporção de 4% em relação à massa de cimento, percentual este já consolidado em pesquisas atuais. Foram produzidos dois traços de concreto: concreto com 4% de fibras de bambu e concreto de referência (sem adição de fibras).

Relevância/originalidade

O concreto é um material amplamente utilizado no ramo da construção civil, possuindo elevada resistência a cargas compressivas. No entanto, a sua resistência à tração é baixa, da ordem de 10% da sua resistência à compressão, sendo necessária a inserção de outros elementos capazes de suprir esta deficiência. Pesquisas recentes mostram a versatilidade da aplicação do bambu para a construção civil, pelo fato deste possuir elevada resistência à tração pura. Neste viés, o bambu *Guadua Angustifolia*, espécie originária da Amazônia, vem mostrando relevante adaptabilidade ao clima e solo da região de Manaus.

Metodologia/abordagem

Foram confeccionados corpos de prova de 10x20cm e submetidos a ensaios de compressão e tração por compressão diametral, visando à análise das resistências, aos 7, 14, 21 e 28 dias.

Principais resultados

Os resultados comprovam a influência positiva da inserção de fibras de bambu no concreto, proporcionando incremento da sua resistência à tração nas primeiras idades.

Contribuições teóricas/metodológicas

Para este artigo, a metodologia de obtenção das fibras de bambu foi adaptada de um procedimento existente, destacando-se a produção das fibras com ferramentas acessíveis.

Contribuições sociais/para a gestão

O presente artigo propõe o uso de fibra de bambu objetivando o aumento da resistência à tração do concreto, e além disso, substitui uma fração da massa do cimento, contribuindo para a redução da emissão dos poluentes decorrentes da produção do cimento.

Palavras-chave: Concreto, Fibras de bambu, Resistência à tração



VIII SINGEP

Simposio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF CONCRETE REINFORCED WITH BAMBOO FIBERS FROM AMAZON GUADUA ANGUSTIFOLIA

Study purpose

The present research has the aim to evaluate the influence of Guadua Angustifolia bamboo fibers in the concrete resistance to traction, in the proportion of 4% in relation to the cement mass, as this percentage is already consolidated in current researches. Two concrete recipes were produced: one recipe with 4% of bamboo fibers and the reference concrete (without the addition of fibers)

Relevance / originality

The concrete is a widely used material in the civil construction sector, having high resistance to compressive loads. However, its resistance to traction is low, in the order of 10% of its resistance to compression, therefore it is necessary the insertion of other elements capable of addressing this shortcoming. Recent research shows the versatility of the application of the bamboo in the civil construction, because of its high resistance to pure traction. In this sense, the Guadua Angustifolia bamboo, original species from Amazon, has been showing relevant adaptability to the weather and the soil of the region of Manaus

Methodology / approach

It were made specimens of 10x20cm which were subjected to compression and traction by diametrical compression tests, with the aim of resistance analysis at 7, 14, 21 and 28 days

Main results

The results prove the positive influence of the insertion of bamboo fibers in the concrete, providing increase in its traction resistance in the first ages.

Theoretical / methodological contributions

For this research, the methodology for obtaining bamboo fibers was adapted from an existing procedure, highlighting the production of fibers with accessible tools.

Social / management contributions

This research proposes the use of bamboo fiber in order to increase the tensile strength of concrete, and in addition, it replaces a fraction of the cement mass, contributing to the reduction of pollutant emissions resulting from cement production.

Keywords: Concrete, Bamboo fibers, Resistance to traction



1 Introdução

O concreto é um compósito presente em quase todas as edificações do Brasil, sendo um material de boa trabalhabilidade, fácil produção e obtém considerável resistência quando se encontra em estado rígido. No entanto, estudos apontam que a resistência à tração do concreto corresponde, aproximadamente, de em 7% a 11% de sua resistência à compressão (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Geralmente, o concreto exibe um grande número de microfissuras (que podem ser causadas por segregação, retração ou expansão térmica da argamassa), principalmente na zona interfacial entre os agregados de maiores diâmetros e a argamassa, mesmo antes da aplicação de qualquer carregamento. Com o incremento de carregamentos de tração, principalmente devido à diferença de rigidez na interface agregado-argamassa, vazios de ar e lentes de água dispostas sobre os agregados, estas microfissuras tendem a se desenvolver, podendo ocorrer propagação da união das microfissuras, e por consequência, a evolução deste processo pode levar à falha do concreto (LÖGFREN, 2005).

A baixa capacidade de resistência à tração do concreto pode ser associada à sua grande dificuldade de interromper a propagação das fissuras quando é submetido tensões de tração. Logo, quando ocorre o crescimento de cada nova fissura, a área disponível de suporte de carga fica reduzida, gerando aumento das tensões presentes nas extremidades das fissuras, principalmente quando a direção de propagação das fissuras é transversal à direção principal de tensão (FIGUEIREDO 2011).

No entanto, pesquisas recentes indicam que tal deficiência do concreto pode ser minimizada com a adição de fibras no concreto, que agiriam como pontes de transferência de tensão, reduzindo a concentração de tensão nas extremidades das fissuras, em função de forças impeditivas causadas pela aderência das fibras na matriz cimentícia, sendo portanto, capazes de suportar maiores esforços de tração, maiores níveis de energia e de apresentarem melhor comportamento face à deformação, razão pela qual o uso do concretos reforçados com fibras têm crescido ultimamente (GARCEZ, 2005).

Para o caso do concretos simples, é comum que essa baixa resistência a esforços internos de tração deve ser aumentada com a inserção de materiais que supram essa deficiência, visando à estabilidade mecânica do corpo, como é o caso do concreto armado, cujo princípio consiste na inserção de barras de aço em seções onde existam esforços distensivos atuantes, evitando a ruptura da estrutura.

De acordo com SÁ RIBEIRO et al. (2014), o bambu da espécie *Guadua Angustifolia*, originária da Amazônia, além de ser adequado para construção, vem mostrando relevante adaptabilidade ao clima e solo da região de Manaus, observada pela sua propagação e pelo comportamento de sua touceira. Ademais, SÁ RIBEIRO et al. (2016) destacam que as fibras de bambu possuem características importantes como alta resistência, absorção de CO₂ e produção de O₂ três vezes maior, se comparadas a outras plantas, ratificando que a utilização de materiais com estes predicados, na construção civil, é importante na busca pela sustentabilidade.

Neste viés, pesquisas recentes mostram a versatilidade da aplicação do bambu para a construção civil, pelo fato deste possuir elevada resistência à tração pura, associando-se à sua notável disponibilidade em ambientes com condições favoráveis ao seu cultivo, como é o caso do Brasil, além de baixo custo agregado à sua produção, justificando assim, a sua utilização para confecção de compósitos de matriz cimentícia (CORREIA, 2011).

Diante deste contexto, busca-se um material alternativo que possa vir a aumentar a resistência à tração do concreto, utilizando-se um recurso renovável, com baixo peso específico



e propriedades de alta resistência, especialmente a resistência à tração, como é o caso do bambu (SÁ RIBEIRO et al., 2017).

O presente artigo tem como objetivo geral estudar a influência da inserção de fibras de bambu *Guadua Angustifolia* em matriz cimentícia, esperando-se que estas resultem em aumento na resistência à tração do concreto.

E como objetivos específicos:

- Definir as resistências à tração de concreto reforçado com fibras de bambu *Guadua Angustifolia*, para as idades de 7, 14, 21 e 28 dias, comparando-as com as resistências à tração do concreto de referência;

- Definir procedimentos acessíveis para a obtenção de fibras bambu.

2. Referencial Teórico

2.1 Bambu *Guadua Angustifolia* e sua anatomia

De acordo com Sá Ribeiro et al. (2016), o bambu da espécie *Guadua Angustifolia* é originário da Amazônia e, além de possuir vasta ocorrência e utilização na Colômbia e no Equador, também tem se mostrado favorável ao clima e solo da cidade de Manaus.

De modo geral, a estrutura anatômica da seção transversal do colmo do bambu *Guadua Angustifolia* é composta, externamente, por uma superfície exterior dura e lustrosa e mais internamente por células de parênquima, fibras (esclerênquima) e feixes vasculares, cujas proporções médias valem, respectivamente, 51%, 40% e 9% (LONDOÑO et al, 2002). Quimicamente, os principais constituintes do bambu são em torno de 60 % em peso de celulose, 32% em peso de lignina e 8% em peso de hemicelulose (SÁ RIBEIRO et al, 2017). Logo, a grosso modo, a estrutura do bambu pode ser encarada como o conjunto de fibras de celulose imersas em uma matriz de lignina (parênquima) (GHAVAMI & RODRIGUES, 2000).

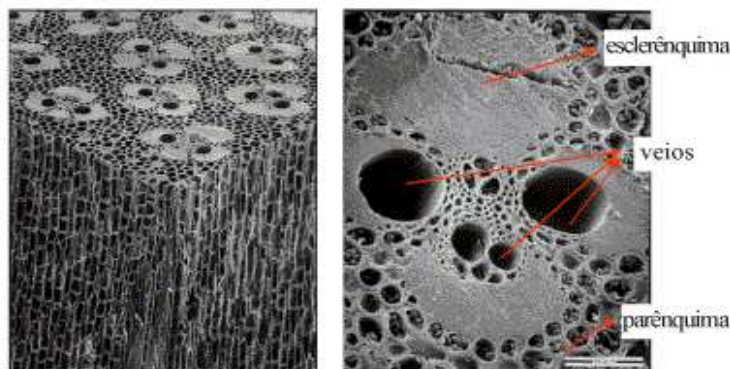


Figura 1. Anatomia do Bambu: Parênquima, Esclerênquima e Feixes Vasculares

Fonte: (GHAVAMI & MARINHO, 2005).

A parênquima é o tecido lignificado que envolve os feixes fibrovasculares e contém substâncias como amido, proteínas e carboidratos solúveis, essenciais para a manutenção da planta (MARINHO, 2012).

Os feixes vasculares condutores (veios) são os tecidos responsáveis pelo transporte de substâncias (seivas) no interior da planta, desde a raiz até às suas demais partes. Conforme é



observado na Figura 1, os veios são reforçados pelo tecido esclerenquimático, que lhes confere resistência. (GHAVAMI & MARINHO, 2005).

As fibras constituem o tecido esclerenquimático, que por ser rígido e conter celulose, é responsável pela resistência mecânica dos colmos, representando cerca de 40 a 50% do tecido total do colmo e 60 a 70% do seu peso (LIESE, 1998). Ghavami & Marinho (2005) afirmam que a estrutura e composição das fibras (principalmente a celulose) conferem às mesmas a capacidade de resistir a esforços axiais de tração.

As células do tecido esclerenquimático também estão ligadas à presença de células com paredes lignificadas, ou seja, a celulose presente na parede celular da fibra, principal responsável pela resistência do colmo, é revestida por lignina, que por sua vez, é extremamente reagente em ambientes alcalinos. (MARINHO, 2012).

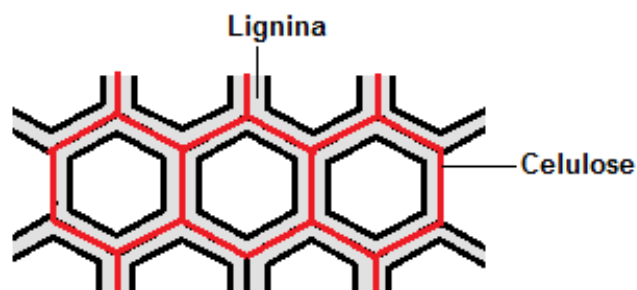


Figura 2. Tecido Esclerenquimático (ilustração própria).

Fonte: Autor.

2.2 Fibras na matriz cimentícia: função e interação.

Antes mesmo de ser submetido a carregamentos, o concreto normalmente possui um grande número de microfissuras, especialmente na zona de transição entre a matriz e os agregados graúdos, sendo necessária pouca energia para que ocorra o aumento e união destas microfissuras, justificando a razão pela qual o concreto possui baixa resistência à tração (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

As origens destas microfissuras são causadas, basicamente, por segregação, retração ou expansão térmica da argamassa, que podem formar vazios, lentes d'água sobre os agregados graúdos, dentre outros pontos de fraqueza estrutural, tendo forte contribuição para a minoração da resistência à tração do concreto. Além disso, geralmente a interface argamassa-agregado constitui o elo mais fraco do sistema, principalmente devido à diferença de rigidez entre os agregados e argamassa e, por esta razão, as microfissuras pré-existent tendem a se desenvolver durante o carregamento trativo, cuja propagação destas microtrincas leva à união destas, culminando na ruptura do compósito, caso o carregamento seja mantido e/ou aumentado. (LOFGREN, 2005).

Uma das principais dificuldades existentes na avaliação da aderência entre a fibra e a matriz é a grande variação na forma e na área da seção transversal, que variam de uma fibra para outra e mesmo ao longo da mesma fibra. Do ponto de vista mecânico, o concreto é frequentemente visto como um material compósito de três fases, que consiste no agregado, na pasta de cimento endurecida (a matriz) e na interface entre essas duas fases (a zona de transição interfacial) (LOFGREN, 2005).



Conforme Arif (2014), a microestrutura da zona de transição da matriz cimentícia com fibras é rica em Hidróxido de Cálcio CH e geralmente tem contato direto com a superfície da fibra, sendo bastante porosa, tornando-se diferente da zona de transição da matriz cimentícia com agregados (sem as fibras). A zona interfacial é, geralmente, constituída por duas camadas, como se segue (Figura 3):

- Filme duplex (contendo cristais de CH e gel C-S-H);
- Camada de CH (contendo gel C-S-H e grandes cristais de CH com várias orientações).

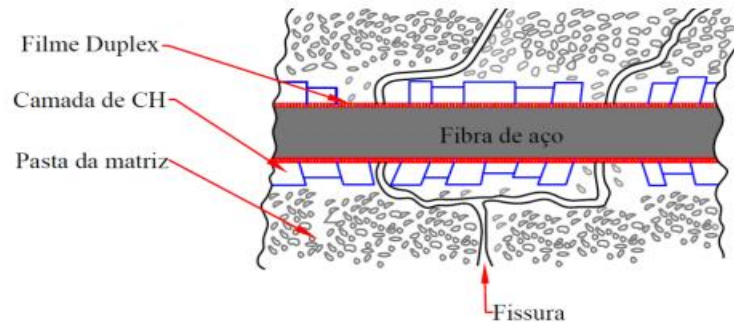


Figura 3. Representação esquemática da Zona de Transição (Interfacial).

Fonte: ARIF, 2014.

No que se refere à utilização de fibras de origem vegetal, como é o caso do bambu, há de se ter em mente dois fatores determinantes para a durabilidade das fibras no meio cimentício: o ataque alcalino às fibras e a incompatibilidade física entre fibras e matrizes. No entanto, há algumas ações que podem controlar este fator de degradação, quais sejam: emprego de cimento com baixa alcalinidade, proteção e tratamento das fibras com soluções redutores de lignina (que tem alta reatividade em meios alcalinos), impermeabilização da matriz, dentro outros (SAVASTANO, 2004).

Quando determinada peça de concreto é submetida a cargas de tração, os esforços distribuídos ao longo da seção transversal geram linhas de tensão que são propagadas no sentido longitudinal da peça. Caso haja fissura na estrutura, a propagação de tensões de tração é concentrada na seção contínua, já que a abertura funciona como uma espécie de barreira à propagação das tensões, conforme representação da Figura 4. Evidente que esse desvio das linhas de tensão irá gerar um acúmulo de tensão na extremidade da fissura, podendo ocorrer a ruptura frágil do material, caso a tensão aplicada supere o valor da tensão crítica. Logo, no instante em que a fissura atinge uma abertura crítica, ocorre a ruptura abrupta do material e a partir daí a estrutura perde a capacidade resistente residual à tração. (FIGUEIREDO, 2011).

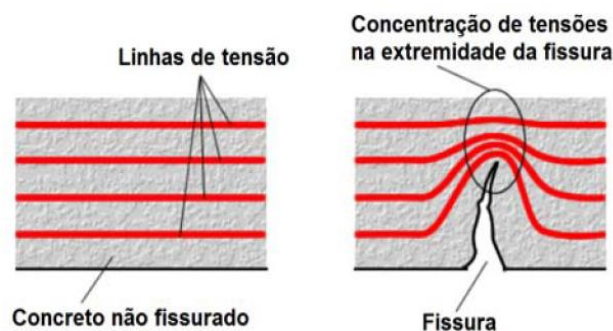


Figura 4. Concentração de linhas de tensão em concreto sem fibras.

Fonte: Abreu e Oliveira, 2015.



No entanto, Garcez (2005) afirma que quando o concreto é reforçado com fibras de boa resistência à tração, em teores apropriados e com módulo de elasticidade relativamente alto, o concreto deixa de ter características frágeis, já que a fibra passa a atuar como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, reduzindo assim a concentração de tensões nas extremidades das fibras e, com isso, gera uma distribuição equilibrada de tensões, pela seção transversal da estrutura, conforme ilustrado na Figura 7. Essa importante função da fibra, de servir como pontes de tensão, contribui diretamente para a redução da propagação e abertura das fissuras, proporcionando à estrutura, inclusive, certa resistência à tração mesmo com a abertura de fissuras. O controle da abertura das fissuras pode ser visualizado comparando as figuras 4 e 5.

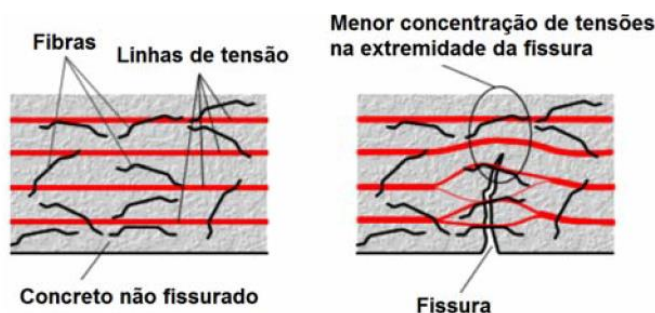


Figura 5. Concentração de linhas de tensão em concreto com fibras.
Fonte: Abreu e Oliveira, 2015.

3. Metodologia

Os procedimentos de composição dos corpos de prova e dos ensaios mencionados acima foram realizados nos laboratórios de Resistência dos Materiais, do Instituto Federal do Amazonas-IFAM, Campus Manaus-Centro.

3.1 Caracterização dos agregados

Foi realizada a caracterização granulométrica da areia, de acordo com a NBR 7181. A brita 0 não foi caracterizada pelo fato de seu intervalo ser bem definido: 4,8 a 9,5 mm.

3.1.1 Caracterização dos agregados miúdos (areia)

A massa total de 1 kg de areia foi caracterizada, obtendo-se a Dimensão Característica Máxima (DCM) = 2,38 mm e o Módulo de Finura = 4,10, sendo classificada como areia grossa,

Tabela 1:
Caracterização granulométrica da Areia.

Peneiras	Peneiras (mm)	Massa retida (g)	Respostas (%)	
			(%) Massa retida	(%) Massa retida acumulada
n.4	4,75	0,9	0,09%	0,09%
n. 8	2,38	9,4	0,94%	1,03%



VIII SINGEP

Simposio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



n.16	1,19	51,3	5,14%	6,17%
n.30	0,59	167,6	16,79%	22,97%
n. 40	0,42	156,4	15,67%	38,64%
n.50	0,30	190,1	19,05%	57,69%
n.100	0,15	337,5	33,82%	91,50%
n.100	0,15	61,5	6,16%	97,67%
n<100	Fundo	23,3	2,33%	93,84%
Totais		998	100%	

Fonte: Autor.

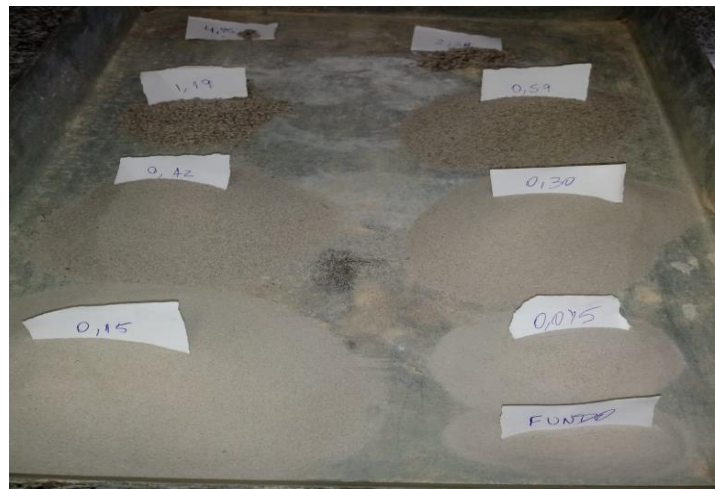


Foto 1. Agregados retidos por diâmetro de peneira.

Fonte: Autor

De acordo com a tabela 01, segue a Curva de Caracterização Granulométrica da areia.

Curva de Caracterização Granulométrica da Areia

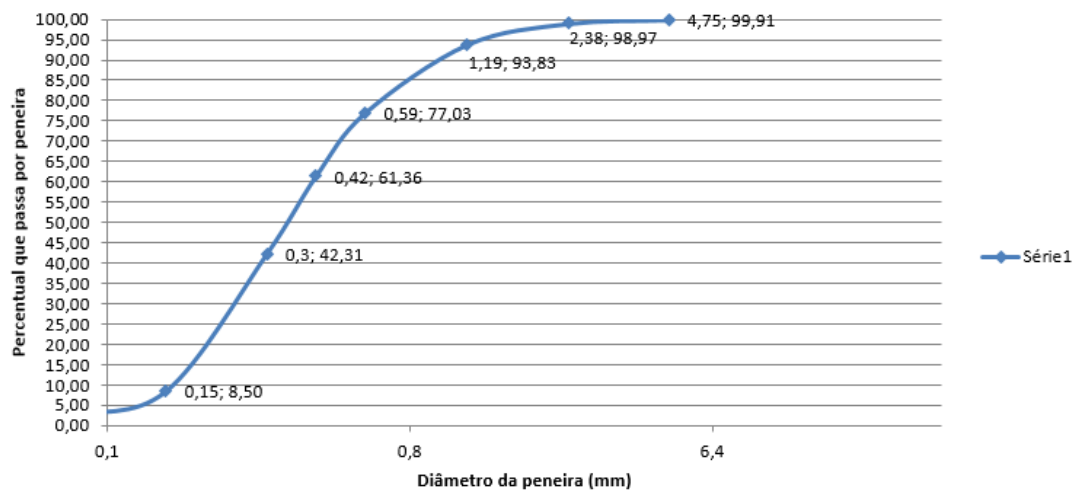


Gráfico 1. Curva de Caracterização Granulométrica da Areia.

Fonte: Autor.



3.2 Metodologia para a obtenção das fibras

A metodologia abaixo foi adaptada de Azzini et al., 1998:

Os colmos de bambu *Guadua Angustifolia* foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, previamente tratados e ainda naturalmente úmidos. Sabendo da heterogeneidade das características das fibras de bambu no decorrer do seu colmo, foram escolhidos fragmentos de regiões da base, intermediária e topo, para a produção de fibras com propriedades mais homogêneas.



Foto 2. Fragmentos de colmos de trecho basal, intermediário e topo.

Fonte: Autor.

A partir da Foto 3., é possível observar as diferenças diamétrais do bambu, em função do trecho.



Foto 3. Diâmetro de colmos de trecho basal, intermediário e topo.

Fonte: Autor.

Após os colmos ficarem imersos por 24 horas na água, com o auxílio de motosserra de mão, foram extraídos 03 (três) internós das amostras de bambu *Guadua Angustifolia*, de cada trecho, conforme procedimento ilustrado na Foto 4.



Foto 4. A) Remoção dos nós com auxílio de motosserra B) Internó de bambu *Guadua Angustifolia*.

Fonte: Autor.



Dos internós selecionados, com o auxílio de uma faca comum, inicialmente a superfície exterior (casca) dos internós foi removida. Após isso, foram retirados cavacos com espessura e comprimentos, aproximados de, 0,5 mm e 40 mm*.

*Obs: Para que a fibra pudesse ser eficiente, esta deveria ter comprimento medindo cerca de duas vezes a dimensão máxima da brita 0 (9,5 mm). Logo, como os cavacos ainda passariam por duas etapas de processamento mecânico, e por conseguinte, teriam seus tamanhos reduzidos, após vários testes de processamento, concluiu-se que os cavacos deveriam ser cortados com comprimento de 40 mm, objetivando medir aproximadamente 20 mm (~2x9,5mm), após o fim do processamento. Ou seja, a cada processamento, as fibras tiveram o seu comprimento reduzido em 10 mm.

A tabela 2 mostra a massa úmida de cada internó com casca, sem casca e a massa dos cavacos obtidos (em gramas e em representação percentual), refletindo a perda total entre os processos:

Tabela 2:

Massa dos internós e cavacos – úmidos.

Região do internó	Massa do internó com casca (g)	Massa do internó sem casca (g)	Massa de Cavacos (g)	Perda total (g)
BASE	240,00	202,00	196,00	44,00
INTERMEDIÁRIO	230,00	177,12	172,32	57,68
TOPO	204,80	157,60	149,20	55,60
TOTAL.....	674,80 (100,00%)	536,72 (79,54%)	517,52 (76,69%)	157,28 (23,31%)

Fonte: Autor

Incide ressaltar que, posterior à obtenção dos cavacos, os mesmos foram imersos novamente na água por 24 horas, conforme Foto 5.

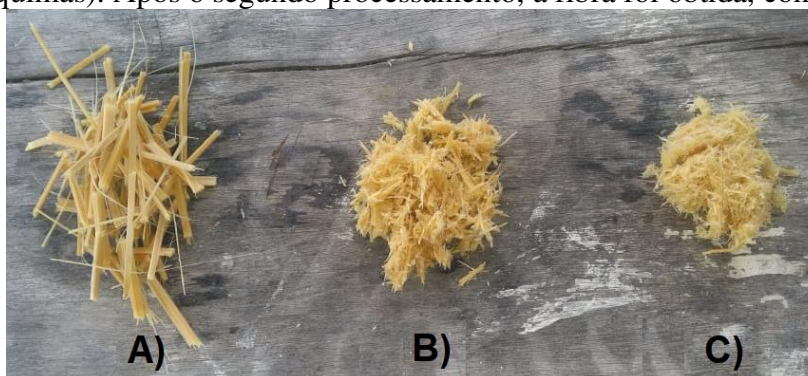


Foto 5 – Cavacos de bambu *Guadua Angustifolia* imersos em água.

Fonte: Autor.



Após o período de imersão, os cavacos (517,52 gramas) foram submetidos ao desfibramento mecânico em um liquidificador comum, por 60 segundos, com relação entre a massa de cavacos e a quantidade de água, na razão de 1:33. O processo é realizado por duas vezes, visando à retirada de amido do tecido parenquimático e obtenção das frações fibrosas (fibras e parênquimas). Após o segundo processamento, a fibra foi obtida, conforme Foto 6.



**Foto 6 – A) Cavaco úmido (comprimento ~4cm);
B) Produto do 1º processamento (comprimento ~3cm);
C) Produto do 2º processamento (comprimento ~2cm).**

Fonte: Autor.

Entre os processamentos, houve perda de massa de aproximadamente 8,00 g. Sendo assim, o total de 509,52 g de fibras foi submetido à estufa, por um período de 24 horas, restando 364,00 g de fibra de bambu para a composição dos corpos de prova, de acordo com a tabela 06:

Tabela 3:

Produto final: Fibra de bambu *Guadua Angustifolia*.

Cavacos (g)	Perda total após 1º e 2º processamentos (g)	Fibra Úmida (g)	Água (g)	Fibra Seca (g)
517,52	8,00	509,52	145,52	364,00

Fonte: Autor

As fibras de bambu *Guadua Angustifolia* apresentaram teor de umidade (M) = 28,56%, conforme equação (A):

$$M (\%) = [(M_i - M_f) / M_i] \times 100 = [(509,52 - 364,00) / 509,52] = 28,56\% - \text{Eq (A), onde:}$$

- M (%) = teor de umidade percentual;
- M_i = massa úmida (g);
- M_f = massa seca (g), medida após 24 horas.



3.3 Metodologia para a composição dos corpos de prova e ensaios de tração por compressão diametral e compressão

Após a obtenção das fibras do bambu *Guadua Angustifolia*, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos (10x20cm), quais sejam: de referência (concreto comum) e reforçados com as fibras de bambu.

O cimento utilizado para a composição dos corpos de prova foi o CP II E, pelo fato deste possuir menor teor de hidróxido de cálcio e, por conseguinte, reduzir a alcalinidade da matriz cimentícia, com vistas a minimizar o ataque químico à lignina, presente nas fibras de bambu, evitando comprometer a durabilidade e resistência das fibras, presentes no compósito (VIEIRA et al., 2016).

O traço dos corpos de prova embasou-se no traço 1:2:2,5:0,5 (cimento: areia: brita 0:água), expresso em massa.

Os corpos de prova foram agrupados em dois grupos:

- Grupo 1 (4% de fibra) – Tração por compressão diametral: Dezesesseis corpos de prova (CP) de concreto reforçados com 4% da massa de fibras em relação à massa do cimento, com o traço: (1:2:2,5:0,04:0,55) (cimento: areia: brita 0: fibra: água), sendo os ensaios realizados par a par, em 7,14, 21 e 28 dias, considerando-se como resultados válidos a média dos valores obtidos;

- Grupo 2 (Referência) – Tração por compressão diametral: Dezesesseis corpos de prova (CP) de concreto com o traço: (1:2:2,5:0,55) (cimento: areia: brita 0:água), sendo os ensaios realizados par a par, em 7,14, 21 e 28 dias, considerando-se como resultados válidos a média dos valores obtidos.

Tabela 4:

Grupos de corpo de prova para ensaios de tração e compressão.

Grupo	Propriedade Estudada	Corpos de Prova			
		1º ensaio: 7 dias	1º ensaio: 14 dias	1º ensaio: 21 dias	2º ensaio: 28 dias
Grupo 1: concreto reforçado com fibra (4%)	Resistência à tração por compressão diametral	2	2	2	2
Grupo 2: concreto de referência		2	2	2	2
Grupo 1: concreto reforçado com fibra (4%)	Resistência à compressão	2	2	2	2
Grupo 2: concreto de referência		2	2	2	2
TOTAL.....		8	8	8	8

Fonte: Autor.



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE

CYRUS Institute of Knowledge
MAKE A DIFFERENCE

Para a confecção dos corpos de prova, os agregados e fibras foram devidamente submetidos à estufa.

A moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos foram regidos pela NBR 5738/15.



Foto 7 – Parte dos corpos de prova moldados.

Fonte: Autor.

Os ensaios de tração por compressão diametral e compressão foram realizados, respectivamente, consoante a NBR 7222/2011 (ABNT, 1994) e NBR 5739/18 (ABNT, 2018).

A Foto 8 mostra trechos do ensaio de tração por compressão diametral realizado para todos os grupos e idades, sendo o principal ensaio para análise e discussão de resultados.



Foto 8 – Ensaio de compressão diametral para determinação de tração.

Fonte: Autor.

4 Análise dos resultados

Considerando que todos os CP's têm diâmetro (D) = 10cm e comprimento (L) = 20cm, após a realização dos ensaios, os dados abaixo foram obtidos:

Tabela 5:

Resultados dos ensaios de tração e compressão.



Propriedade estudada	Idade (dias)	Corpo de Prova	Carga de Ruptura (kN)	Seção (m ²)	Tensão Ruptura (MPa)	Tensão Média Ruptura (MPa)
Tração	7	Grupo 1: fibra (4%)	0,098	0,0628	3,120	3,170
			0,101	0,0628	3,220	
		Grupo 2: referência	0,065	0,0628	2,080	1,995
			0,060	0,0628	1,910	
Compressão	7	Grupo 1: fibra (4%)	0,176	0,0079	22,435	22,415
			0,176	0,0079	22,395	
		Grupo 2: referência	0,193	0,0079	24,586	24,794
			0,196	0,0079	25,001	
Tração	14	Grupo 1: fibra (4%)	0,089	0,0628	2,840	2,805
			0,087	0,0628	2,770	
		Grupo 2: referência	0,071	0,0628	2,260	2,220
			0,069	0,0628	2,180	
Compressão	14	Grupo 1: fibra (4%)	0,212	0,0079	26,951	26,315
			0,202	0,0079	25,679	
		Grupo 2: referência	0,215	0,0079	27,312	27,594
			0,219	0,0079	27,875	
Tração	21	Grupo 1: fibra (4%)	0,087	0,0628	2,770	2,740
			0,085	0,0628	2,710	
		Grupo 2: referência	0,067	0,0628	2,120	2,475
			0,064	0,0628	2,830	
Compressão	21	Grupo 1: fibra (4%)	0,216	0,0079	27,489	27,234
			0,212	0,0079	26,978	
		Grupo 2: referência	0,237	0,0079	30,213	29,863
			0,232	0,0079	29,512	
Tração	28	Grupo 1: fibra (4%)	0,084	0,0628	2,680	2,695
			0,085	0,0628	2,710	
		Grupo 2: referência	0,093	0,0628	2,950	2,890
			0,079	0,0628	2,830	
Compressão	28	Grupo 1: fibra (4%)	0,236	0,0079	30,100	30,330
			0,240	0,0079	30,560	
		Grupo 2: referência	0,252	0,0079	32,100	32,200
			0,254	0,0079	32,300	

Fonte: Autor

Para melhor visualização, os valores de resistência à tração e à compressão são mostrados nos gráficos 02 e 03, respectivamente, para as idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

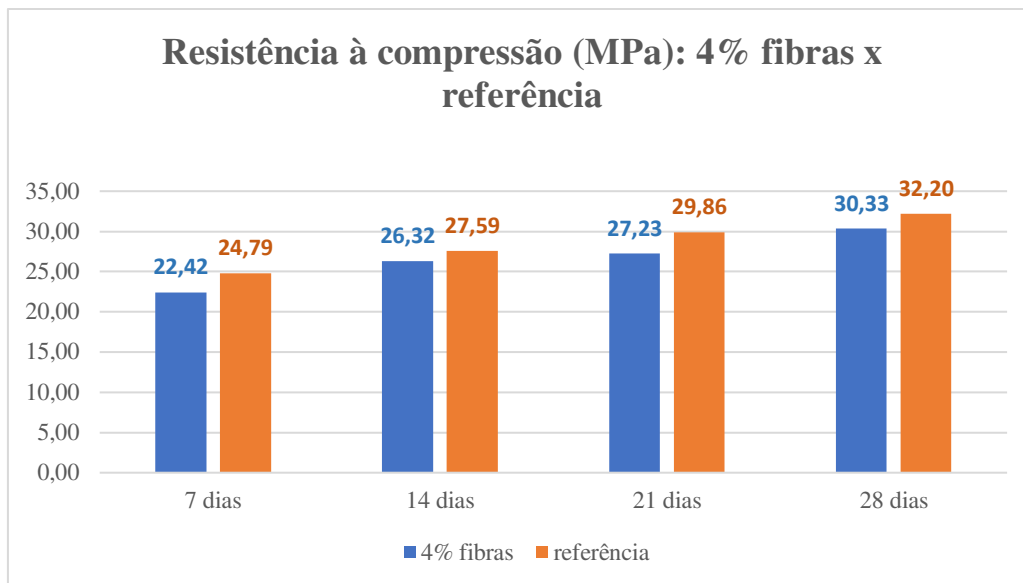


Gráfico 2. Resistência à compressão: concreto reforçado com fibra 4% e concreto de referência.
Fonte: Autor.

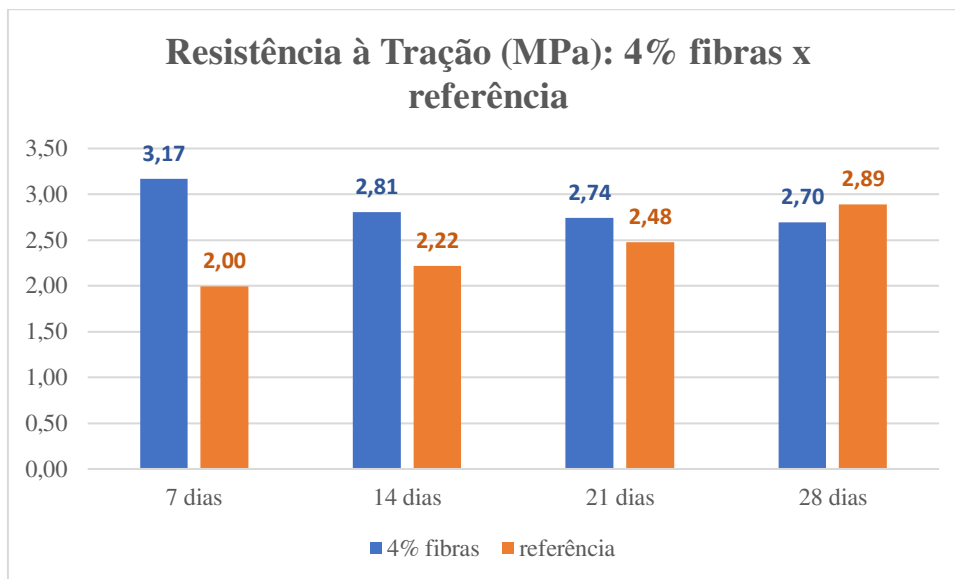


Gráfico 3. Resistência à tração: concreto reforçado com fibra 4% e concreto de referência.
Fonte: Autor.

Da análise do gráfico 2, percebe-se que a resistência à compressão (R_c) manteve certa proporcionalidade entre os tipos de concreto em função do tempo:

$$\Delta R_c (7 \text{ dias}) = R_c(\text{ref}) - R_c(4\%) = 24,79 - 22,42 = 2,38 \text{ MPa}$$

$$\Delta R_c (14 \text{ dias}) = R_c(\text{ref}) - R_c(4\%) = 27,59 - 26,32 = 1,28 \text{ MPa}$$

$$\Delta R_c (21 \text{ dias}) = R_c(\text{ref}) - R_c(4\%) = 29,86 - 27,23 = 2,63 \text{ MPa}$$

$$\Delta R_c (28 \text{ dias}) = R_c(\text{ref}) - R_c(4\%) = 32,20 - 30,33 = 1,87 \text{ MPa}$$



Sendo assim, a inserção das fibras não alterou de forma significativa o regime evolutivo da resistência à compressão de ambos os concretos ao longo das idades. No entanto, os valores de resistência à compressão do concreto reforçado com fibras ($R_c(4\%)$) mantiveram-se sempre menores dos que valores do concreto de referência ($R_c(\text{Ref})$). Com a inserção das fibras de bambu (material poroso), há redução de área útil de concreto no corpo de prova reforçado, causando pontos de fraqueza no interior do material e aumento de tensão em pontos isolados.

Aos 28 dias, a resistência à tração do concreto reforçado correspondeu a 8,98% da sua resistência à compressão, enquanto que o percentual para o concreto de referência foi de 8,89%. As relações acima são válidas, visto que estudos apontam que a resistência à tração do concreto corresponde, aproximadamente, de 7% a 11% de sua resistência à compressão, ao vigésimo oitavo dia.

Da análise do gráfico 3, concluiu-se que a inserção de fibras do bambu *Guadua Angustifolia*, na proporção de 4%, trouxe um aumento significativo de resistência à tração (R_t) aos 7 dias, que foi superior em 58,90% em relação ao concreto de referência. No entanto, esta superioridade foi sendo reduzida ao longo das idades, conforme pode ser observado abaixo:

- $\% (7 \text{ dias}) = R_t(4\%) / R_t(\text{ref}) - 1 = (3,17 / 2,00 - 1) = 58,90 \%$;
- $\% (14 \text{ dias}) = R_t(4\%) / R_t(\text{ref}) - 1 = (2,81 / 2,22 - 1) = 26,35 \%$;
- $\% (21 \text{ dias}) = R_t(4\%) / R_t(\text{ref}) - 1 = (2,74 / 2,48 - 1) = 10,71 \%$;
- $\% (28 \text{ dias}) = R_t(4\%) / R_t(\text{ref}) - 1 = (2,70 / 2,89 - 1) = -6,75 \%$.

As fibras trouxeram um aumento de resistência à tração graças à funcionalidade do processo de arrancamento das fibras da matriz cimentícia, já que há maior gasto energético com o descolamento da fibra, cujo aumento de resistência tratava-se de função do atrito lateral entre a fibra e a matriz cimentícia. Conforme pode-se observar na Foto 9, as fibras apresentam pontas para fora do plano de ruptura, confirmando o arrancamento. Observa-se que as fibras, em sua grande maioria, não foram rompidas em seu centro, fator não traz ganhos de resistência significativo.



Foto 9. Corpo de prova reforçado (4% de fibras) rompido aos 14 dias (autor).

Fonte: Autor

Outro fator importante para os resultados obtidos foi o fato de as fibras estarem orientadas de maneira aleatória e tridimensional, trazendo reforço à matriz cimentícia em vários planos. Conforme pode-se verificar na Foto 10, as fibras de bambu *Guadua Angustifolia* trouxeram robustez na interação fibra-matriz, reduzindo as trincas do concreto e servindo de pontes de tensão, atuando para o aumento da resistência à tração.



Foto 10. À esquerda, corpo de prova de referência e à direita, corpo de prova reforçado com fibras, ambos rompidos por compressão diametral aos 14 dias.

Fonte: Autor.

Para os resultados obtidos aos 28 dias, percebeu-se que a resistência à tração do concreto reforçado com fibras ($R_t(4\%)$) foi menor 6,75% em relação à tração do concreto de referência $R_t(\text{ref})$. Este decréscimo pode ser creditado ao possível início da decomposição das fibras no interior do concreto (meio alcalino), incorrendo na perda de capacidade de reforço das fibras, mesmo embora tenha sido utilizado, para a composição de ambos os concretos, uma aglomerante que proporcionasse menor alcalinidade.

Fica evidenciado, portanto, que as fibras de bambu *Guadua Angustifolia* incrementaram a resistência à tração aos 7 dias, mantendo-se certa proporcionalidade na perda da capacidade resistente dos 14 aos 28 dias. Este aumento de resistência à tração nas primeiras idades pode ser bastante útil para evitar a propagação de abertura de trincas oriundas da retração ou do calor gerado pela hidratação do cimento, gerando um compósito menos sujeito a rachaduras, quando do início do carregamento do elemento estrutural. Além disso, a inserção de fibras não afetou significativamente a resistência à compressão do concreto, mantendo a eficiência desta principal propriedade mecânica.

Após a obtenção, análise e discussão dos resultados, notou-se que as fibras de bambu *Guadua Angustifolia* proporcionaram um incremento na resistência à do concreto nas primeiras idades, indicando parâmetros que otimizaram esta propriedade.

5. Conclusão/Considerações Finais

Este artigo demonstrou a versatilidade do bambu e a possibilidade de formação de compósito diferentes, utilizando-se o concreto convencional, comprovando a sua variabilidade. Portanto, foi possível concluir que há uma vasta gama de aplicabilidade de fibras naturais na confecção de concretos, sendo capazes de aumentar a resistência a um determinado esforço, sem perder eficiência em outro, mas principalmente atendendo às questões fundamentais de resistência das construções.



6. Referências

- ABNT. 1994. NBR 7222/94: **Concreto e Argamassa — determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Ano: 1994.
- ABNT. 2018. NBR 5739/18: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**.
- ARIF, M.A. **Avaliação da Medida da Tenacidade do Concreto Reforçado com Fibras De Aço**. Uberlândia, 2014. Universidade Federal de Uberlândia.
- AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ. R.N.A; ERISMANN N.M. **Desfibramento de Cavacos Laminados de Bambusa Vulgaris Schrad visando à Extração de Amido**. Campinas – 1998.
- CORREIA, V.C. **Produção e Caracterização de Polpa Organossolve de Bambu para Reforço de Matrizes Cimentícias**. Pirassunga: Universidade de São Paulo - 2011. Acesso em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-11052011-145742/pt-br.php>.
- CRUZ. M. L. S. **Caracterização Física e Mecânica de Colmos Inteiros do Bambu da Espécie Phyllostachys Aurea: Comportamento à Flambagem**. Rio de Janeiro – 2002.
- DE ABREU, R.V.S.; DE OLIVEIRA, H.C.P. **Concreto Reforçado com Fibras: Aperfeiçoamento das Propriedades Físicas e Mecânicas**. Manhuaçu: I Seminário Científico da FACIG – 29, 30 e 31 de Outubro de 2015. Acesso em: <http://pensaracademico.facig.edu.br/index.php/seminariocientifico/article/view/242>.
- DE FIGUEIREDO, A.D. **Concreto Reforçado com Fibras**. São Paulo: Universidade de São Paulo - 2011. Acesso em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/pt-br.php>.
- FARIAS, L.A.; LOPES, A.N.M.; STIVAL, M.L.; ANDRADE, M.A.S.; BITTENCOURT, R.M. **Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto**. 2008. Acesso em: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081127104112-209.pdf>.
- GHAVAMI K.; MARINHO A. **Propriedades Físicas e Mecânicas do Colmo Inteiro do Bambu da Espécie Guadua Angustifolia**. Campina Grande: 2005.
- GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C.S. **Engineering materials and components with plants**. In: **CIB-Symposium, Construction & Environment**, 2000, São Paulo. Proceedings...São Paulo: Global Seven Editor, 2000.
- LIESE, W. **The Anatomy Of Bamboo Culms**. Inbar. Technical Report, v. 18, p. 1-204, 1998.
- LONDOÑO, X.; CAMAYO, G.C.; RIAÑO, N.M.; LÓPDEZ, Y. **Characterization Of The Anatomy Of Guadua Angustifolia (Poaceae: Bambusoideae) Culms**. The Journal of the American Bamboo Society. 16(1):18-31. 2002.
- MARINHO, N.P. **Características das Fibras do Bambu (Dendrocalamus Giganteus) e Potencial de Aplicação Em Painéis de Fibra de Média Densidade (Mdf)**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – 2012.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- NAAMAN, A.E. **Engineered Steel Fibers With Optimal Properties For Reinforcement Of Cement Composites**, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 241-252. Ano: 2003.
- NUNES, L. N.; AGOPYAN, V. **A Influência do Fator de Forma da Fibra Na Tenacidade à Flexão do Concreto Reforçado Com Fibras de Aço**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998. Boletim Técnico.
- SÁ RIBEIRO, M. G.; SÁ RIBEIRO, R. A.; MIRANDA, P. A. **Sustainable School-Village, Key Engineering Materials** (Online), v. 600, 768-772. Ano: 2014.
- SÁ RIBEIRO, R. A.; SÁ RIBEIRO, M. G.; SANKAR, K.; KRIVEN, W. M. **Geopolymer-Bamboo Composite - A Novel Sustainable Construction Material**, *Construction And Building Materials*, v. 123, 501-507. Ano: 2016.
- SÁ RIBEIRO, R. A.; SÁ RIBEIRO, M. G.; MIRANDA, P. A. **Bending Strength And Nondestructive Evaluation Of Structural Bamboo**, *Construction And Building Materials*, v. 146, 38-42. Ano: 2017.
- SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à Base de Cimento Reforçado com Fibra Vegetal: Reciclagem de Resíduos para Construção de Baixo Custo**. São Paulo: Universidade de São Paulo - 2000. Acesso em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-08102007-155734/pt-br.php>.
- VIEIRA, A.J.T; MOURA, C.R; HERPICH M.R; CAMPOS N.; DE LUCA CAMPOS, G. **Aplicação da Fibra de Bambu aos Sistemas Industrializados para Desenvolvimento de placas de Concreto**. Revista eletrônica de Ciências Veredas - 2016. Acesso em: <http://veredas.favip.edu.br/ojs/index.php/veredas1/article/view/393>.