

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JANAINA CARLOS PIRES**

**JOYCE VIEIRA PEDROSA**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO  
REFORÇADO UTILIZANDO TALISCAS DE BAMBU COMO  
SUBSTITUTO DO AÇO**

**ANÁPOLIS / GO  
2019**

**JANAÍNA CARLOS PIRES  
JOYCE VIEIRA PEDROSA**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO  
REFORÇADO UTILIZANDO TALISCAS DE BAMBU COMO  
SUBSTITUTO DO AÇO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA M. GODOI QUARESMA**

**ANÁPOLIS / GO  
2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PIRES, JANAINA CARLOS/ PEDROSA, JOYCE VIEIRA

Estudo da resistência mecânica do concreto reforçado utilizando taliscas de bambu como substituto do aço.

65P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto

3. Esforços mecânicos

I. ENC/UNI

2. Bambu

4. Características físicas

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIRES, Janaína Carlos; PEDROSA, Joyce Vieira. Estudo do Concreto Reforçado utilizando taliscas de bambu como substituto do aço. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 65p. 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Janaína Carlos Pires e Joyce Vieira Pedrosa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo da resistência mecânica do Concreto Reforçado utilizando taliscas de bambu como substituto do aço. GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



---

Janaína Carlos Pires

E-mail: janaina\_najla@hotmail.com



---

Joyce Vieira Pedrosa

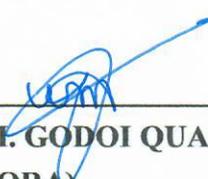
E-mail: joycevieirapedrosa@hotmail.com

**JANAÍNA CARLOS PIRES**  
**JOYCE VIEIRA PEDROSA**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO  
REFORÇADO UTILIZANDO TALISCAS DE BAMBU  
COMO SUBSTITUTO DO AÇO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
BACHAREL**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**WANESSA M. GODOI QUARESMA, Mestra (Uni Evangélica)**  
**(ORIENTADORA)**

  
\_\_\_\_\_  
**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (Uni Evangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**JOÃO SILVEIRA BELÉM JUNIOR, Mestre (Uni Evangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 04 de DEZEMBRO de 2019**

## **AGRADECIMENTOS**

Ter o privilégio de está se formando em uma profissão simplesmente magnífica não é para muitos, tendo a esperança de ser competente a levar todo o meu conhecimento para uma vida profissional de sucesso.

Agradecendo em primeiro de tudo a Deus, que me proporcionou a realizar este curso. Um agradecimento em especial ao meu pai Antonio, que me deu forças, coragem, apoio para que conseguisse realizar esse curso, pois sem ele nada aconteceria, devo tudo á ele. A minha mãe Geralda por todo carinho e conforto. Ao meu irmão Jefferson que me aconselhou a fazer um curso superior, pois sem estudo não somos nada.

Agradecer também aos professores que passaram todo os seus conhecimentos, em especial a Prof.º Wanessa Mesquita, uma pessoa incrível que ficará para sempre em nossos corações, que se dispôs a ser nossa orientadora, que nos ajudou em tudo em que precisamos, ela foi de grande importância nesse TCC.

Agradecer também minha parceira de TCC Joyce, que juntas conseguimos finalizar esse projeto de vida e este trabalho, com muita dificuldade, porém muito felizes.

Por fim, honrar a mim mesma, por ter suportado todo estresse sofrido no decorrer do melhor curso de ensino superior, o de Engenharia Civil.

Janaína Carlos Pires

## AGRADECIMENTOS

Chegar nesse período causa uma enorme mistura de sentimentos, felicidade por estar finalizando a graduação, esperança de ser um profissional admirável, amor por todos as amizades e conhecimentos adquiridos, dentre muitos, o maior é a gratidão.

Gratidão por eu ter a mãe mais incrível, amorosa, guerreira, forte, que enfrenta tudo por seus filhos, que tanto me apoia mesmo estando longe, acredita em mim, me inspira todos os dias a ser uma pessoa melhor e é o meu maior exemplo. Toda essa caminhada só tem sentido e só existe devido ao meu imenso amor e pela minha vontade de dar uma vida melhor para as três pessoas mais importantes da minha vida, minha mãe Simone e meus irmãos, Geovanna e Leonardo.

Agradeço ao meu pai, Jadson, que mesmo morando com Deus nunca me abandona, está sempre em meu coração e em meus pensamentos, foi e continua sendo minha inspiração, se sou alguém hoje, devo ao meu pai e minha mãe.

Agradeço também ao meu namorado/companheiro/amigo, Solon, por estar ao meu lado durante esses cinco anos, me incentivando, me trazendo calma e amor, e como engenheiro civil, me mostrando a quão fantástica é a nossa profissão.

Sou grata a minha parceira de TCC, Janaína, pela paciência, compreensão, companheirismo, por sempre estar ao meu lado. Gratidão pela nossa orientadora Wanessa, por toda dedicação, por fazer tudo com muito amor e com um brilho nos olhos que nos inspira e faz com que nossa admiração cresça sempre mais, somos fãs dessa pessoa incrível.

E acima de tudo agradeço a Deus por todas as bênçãos, por permitir que esse sonho se concretize, por ter colocado pessoas sensacionais na minha vida, por ter me dado força e coragem para enfrentar todas as adversidades. Obrigada Deus, por tudo!

Joyce Vieira Pedrosa

## **RESUMO**

O concreto armado é um material da construção civil mais utilizado nas últimas décadas. E como o concreto é um material mundialmente acessível, ele pode ser encontrado em diversas construções como casas de alvenaria, edifícios, rodovias, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e nucleares, obras de saneamento, entre outros. Com isso tem os olhares da ciência para melhorias sempre, dentre essas a sustentabilidade, pois além da construção ser uma área de atuação mais vista é uma das que mais poluem. Tendo assim a utilização da própria natureza para melhoria do concreto sem de certa forma atacar mais o meio ambiente. O bambu é um tipo de “material” que infelizmente ainda não é muito empregado em obras urbanas, onde é local que mais necessita de estudos. Para substituição total do aço em obras não é uma coisa fácil pelo fato dele ser um material extremamente resistente e com facilidade de ser encontrado, porém ele é muito agressivo ao meio ambiente. Com isso o início de estudo para a substituição dele por algo que tenha as mesmas características porém mais sustentável, é sempre um assunto a ser considerado e estudado com mais atenção.

### **PALAVRAS-CHAVES:**

Concreto. Bambu. Resistência. Características Físicas.

## **ABSTRACT**

Reinforced concrete is a construction material most used in recent decades. And because concrete is a worldwide accessible material, it can be found in various buildings such as brick houses, buildings, highways, cooling towers, hydroelectric and nuclear plants, sanitation works, among others. Thus, science always looks for improvements, among them sustainability, because besides construction being a more seen area of activity is one of the most polluting. Having thus the use of nature itself to improve the concrete without in some way attacking the environment more. Bambu is a type of “material” that unfortunately is not yet widely used in urban works, where it is the place that most needs studies. For the complete replacement of steel in construction is not an easy thing because it is an extremely resistant and easily found material, but it is very aggressive to the environment. Thus, the beginning of the study to replace it with something that has the same characteristic, but more sustainable, is always a subject to be considered and studied more carefully.

### **KEYWORDS:**

Concrete. Bambu. Resistance. Physical Characteristics.

## LISTA DE FIGURA

Figura 1 - (a) <i>opus incertum</i> ; (b) <i>opus reticulatum</i> ; (c) <i>opus testaceum</i> ; (d) <i>opus mixtum</i> .....	10
Figura 2 - Altes Museum, Alemanha; 1836 .....	11
Figura 3 - Crystal Palace, Londres, 1936 .....	12
Figura 4 - Primeiro prédio de concreto armado, São Paulo, 1907 .....	12
Figura 5 - Comportamento tensão-deformação do concreto e seus materiais .....	16
Figura 6 - Ilustração de fissuração do concreto quando submetido a um esforço de tração (a) e de compressão (b) .....	17
Figura 7 - Comportamento da fissuração em corpos-de-prova (a) sem restrição e (b) com restrição .....	18
Figura 8 - Curva de Gauss .....	19
Figura 9 - Arranjo esquemático do ensaio de tração por compressão diametral .....	21
Figura 10 – Ensaio na Flexão com carregamento nos terços (vista em perspectiva) .....	22
Figura 11 - Forro composto por bambu - Aeroporto Internacional de Barajás, Madri, Espanha .....	24
Figura 12 - Mausoléu Taj Mahal, Índia .....	25
Figura 13 - Uso do bambu na construção da Catedral de Pereira, Colômbia– Símon Velez ...	26
Figura 14 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações .....	27
Figura 15 - Bambuzal .....	35
Figura 16 - Bambu na estufa .....	36
Figura 17 - Cortes em taliscas .....	36
Figura 18 - Bambu sendo envernizado .....	37
Figura 19 - Imerso na mistura de cimento e água .....	37
Figura 20 - Moldes cilíndricos e prismáticos .....	38
Figura 21- Realização do slump test .....	39
Figura 22 - Armação de bambu .....	40
Figura 23 - Armação de aço .....	40
Figura 24 - Formas cilíndricas .....	41
Figura 25 - Formas prismáticas .....	41
Figura 26 - Corpos de provas .....	42
Figura 27 - Corpo de prova armado com aço rompido .....	45
Figura 28 - Corpo de prova armado com bambu rompido .....	46

## LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Classes de Resistencia do grupo I .....	20
Quadro 2 - Classes de Resistencia do grupo II.....	20
Quadro3 - Traço do concreto.....	39
Quadro 4 - Resultado Ensaio de Compressão Axial.....	43
Quadro 5 - Resultado Ensaio de Tração na Flexão .....	44

## LISTA DE ABREVEATURA DE SIGLA

A	Área da seção ( $\text{cm}^2$ )
F	Carga máxima aplicada (Kgf)
$\gamma_c$	Coefficiente de minoração
cp	Corpos-de-prova
S	Desvio padrão
MPa	Mega pascal (unidade de medida)
mm	Milímetros
fck	Resistência característica do concreto
fcd	Resistência de cálculo à compressão
fc	Resistência à compressão ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )
fcm	Resistência média do concreto à compressão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	7
1.2 OBJETIVOS .....	7
1.2.1 Objetivo geral .....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 METODOLOGIA .....	8
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	8
<b>2 CONCRETO .....</b>	<b>10</b>
2.1 HISTÓRICO .....	10
2.2 DEFINIÇÃO .....	13
2.3 CARACTERÍSTICA DO CONCRETO .....	13
2.3.1 Disponibilidade .....	13
2.3.2 Versatilidade.....	13
2.3.3 Hiperestaticidade .....	14
2.3.4 Facilidade de execução.....	14
2.3.5 Durabilidade .....	14
2.3.6 Custo.....	14
2.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO .....	15
2.4.1 Considerações Preliminares .....	15
2.4.2 Ensaios para determinação da Resistência Mecânica do Concreto.....	17
2.4.2.1 Resistência à compressão .....	17
2.4.2.2 Resistência à tração .....	20
2.4.2.2.1 Resistência à tração por compressão diametral .....	21
2.4.2.2.2 Resistência à tração na flexão.....	22
<b>3 BAMBU.....</b>	<b>24</b>
3.1 HISTÓRICO .....	24
3.2 CARACTERÍSTICAS .....	26
3.2.1 Cultivo.....	28
3.2.2 Extração.....	28
3.2.3 Secagem.....	28
3.2.4 Tratamento.....	29
3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO BAMBU.....	30

3.3.1	Vantagens .....	30
3.3.2	Desvantagens.....	31
3.4	APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	32
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>34</b>
4.1	MATERIAIS .....	34
4.1.1	Aço .....	34
4.1.2	Bambu .....	35
4.2	MOLDES .....	38
4.3	TRAÇO DO CONCRETO.....	39
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
5.1	ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL.....	43
5.2	ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	44
5.3	CONSIDERAÇÕES.....	44
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>

## **REFERÊNCIAS**

**APÊNDICE A - Definição do traço**

**APÊNDICE B - Definição do traço**

**APÊNDICE C - Traço do concreto**

**APÊNDICE D - Ensaio de compressão axial em cp cilíndricos**

**APÊNDICE E - Gráfico do resultado do ensaio em cp cilíndricos**

**APÊNDICE F - Ensaio de tração na flexão em cp prismáticos**

**APÊNDICE G - Gráfico do resultado do ensaio em cp prismáticos**

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material construtivo amplamente conhecido e utilizado, possui qualidades plásticas, ou seja, tem a capacidade de ser moldado enquanto fresco, possui uma ótima resistência a compressão, porém baixa resistência a tração. Em 1855, o francês Joseph-Louis Lambot incorporou o aço, que possui ótima resistência a tração, ao concreto quando construiu um pequeno barco em concreto armado, garantindo equilíbrio entre as resistências do material (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Como o concreto é um material mundialmente acessível, ele pode ser encontrado em diversas construções como casas de alvenaria, edifícios, rodovias, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e nucleares, obras de saneamento, entre outros.

A principal vantagem da utilização do concreto é a facilidade de encontrar seus componentes. Anualmente a sua utilização consegue ser avaliada em bilhões de toneladas, sendo que o seu consumo médio por habitante só é inferior apenas ao consumo médio de água (PEDROSO; 2009).

Com a influência que a sustentabilidade apresenta nos tempos atuais, começa a formar uma nova economia, trazendo da natureza uma abundância em fibras vegetais que podem ser adaptadas à construção civil. O concreto armado consome muito menos energia do que o alumínio, o aço, o vidro, e emite proporcionalmente menos gases e partículas poluentes, o que é benéfico ao meio ambiente (ALVES, 2006).

Substituir o aço utilizado na armação do concreto é de grande importância, pois a sua produção gera grande impacto ambiental. Portanto desde o início do século o bambu vem sendo estudado como reforço ao concreto, os resultados alcançados por trabalhos administrados em diversos países, comprova sua efetividade como material alternativo de construção (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Com a finalidade de fazer do concreto armado um material sustentável, tem-se a concepção de associá-lo a utilização do bambu substituindo o aço, porém atingindo o mesmo propósito. O bambu é facilmente encontrado, é um material sustentável, possui desenvolvimento consideravelmente rápido, extremamente resistente, possuindo assim uma enorme capacidade de tornar-se um substituto apropriado do aço.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A substituição do aço é algo extremamente relevante na atualidade, pois em consequência da busca incessante de se ter esse material em grande escala, é deixado de lado o tamanho da destruição do meio ambiente.

Apresentando o bambu como um substituto ideal, temos um material oferecido pela natureza, de fácil cultivo, rápido crescimento, baixo custo quando comparado ao aço, bem leve, e sua extração não ocasiona a degradação da natureza. Além dessas características também demonstra propriedades mecânicas que são bastante semelhantes às do aço, possuindo resistência às forças de tração e compressão altas, podendo utilizá-lo devidamente em seus ensaios.

Ao verificar os resultados obtidos da resistência a tração sobre o peso próprio do material em estudo, conclui-se que o bambu é capaz de sustentar uma carga semelhante ou até maior que o aço, viabilizando a substituição do aço por bambu.

Assim, este trabalho propõe o estudo da substituição do aço por bambu em estruturas de concreto armado.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste tópico serão apresentados os objetivos gerais e específicos desta pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa teve como objetivo geral estudar e realizar ensaios referentes as características mecânicas do concreto reforçado com bambu.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento teórico de utilização do bambu;
- Caracterizar o bambu para utilização no concreto como reforço estrutural;
- Montar um plano experimental de concreto reforçado com bambu;
- Analisar a resistência do concreto reforçado a compressão axial e tração na flexão;

- Tabular e analisar os resultados.

### 1.3 METODOLOGIA

A proposta do presente trabalho é apresentar uma alternativa para a armadura em barras de aço, substituindo-as por armaduras de bambu.

Assim serão realizadas análises de 10 corpos-de-prova submetidos à compressão axial, e 4 corpos de prova à tração na flexão. Os tratamentos serão:

- Corpo de prova controle confeccionado de concreto simples;
- Corpo de prova com aço, confeccionado de concreto com barra de aço;
- Corpo de prova com bambu, confeccionado de concreto com taliscas de bambu;
- Após a montagem do plano experimental e execução será coletado os dados e analisar os resultados.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

É apresentada no primeiro capítulo a introdução que mostra um pouco da história do concreto, sua utilização, e a facilidade que é administrá-lo, e sobre sua associação com o bambu. É abordada a importância dessa associação nos tempos atuais, onde se busca unir a sustentabilidade à construção civil.

O segundo capítulo aborda concreto como assunto principal, apresentando seu histórico, as definições como disponibilidade, versatilidade, durabilidade, custos, entre outros, e sua resistência mecânica, demonstrando sobre quais ensaios será submetido.

O conteúdo do terceiro capítulo é o bambu, mostra-se o seu histórico quanto a sua utilização desde os primórdios, as suas aplicabilidades principalmente ao que se referem à construção civil, características quanto ao cultivo, extração, secagem e tratamento do material, e suas vantagens e desvantagens.

No capítulo quatro é descrito o desenvolvimento dos experimentos que serão realizados de acordo com a norma para obtenção de resultados satisfatórios em torno do uso do bambu em substituição ao aço no concreto armado, onde são especificados passo a passo dos procedimentos adotados, assim como materiais utilizados, e ensaios aos quais serão sujeitos os corpos de prova.

No quinto capítulo serão demonstrados e analisados os resultados obtidos dos experimentos realizados no capítulo anterior.

As considerações finais estarão dispostas no sexto capítulo, onde serão apresentados os alcances da pesquisa, o desempenho atingido, formas de melhoria para a aplicabilidade dos materiais em estudo, entre outros.

## 2 CONCRETO

Este capítulo apresenta, um breve histórico sobre o concreto, as características físicas e mecânicas referentes para a utilização no decorrer do experimento.

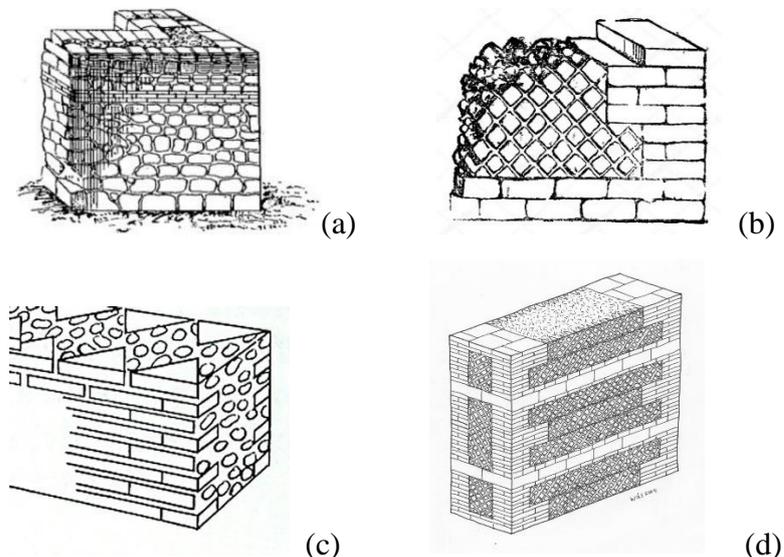
### 2.1 HISTÓRICO

O concreto é um material da construção civil muito antigo. Sua existência se inicia em Roma cerca de 2000 anos atrás, mais usado em suas estradas. Os romanos eram e são conhecidos por terem feito do concreto um material para a construção de suas estradas (YEGUL,2011).

Por causa do prosseguimento e ao uso do concreto, ao contrário dos gregos, os romanos frisaram na invenção de espaços mais amplos com abóbadas e cúpulas com um diâmetro largo e altura que ainda não havia sido construída. O concreto produzido pelos romanos (*opus caementicium ou concretus*), sendo assim o primeiro material a ser produzido e utilizado em obras de grande escala (YEGUL,2011).

Em estruturas de concreto simples, na Roma antiga, designavam-se conforme os materiais, eram posicionados nas faces das paredes. Pedacos de pedra desproporcional, intitulava-se de *opus incertum* (Figura 1a); caso as paredes faceadas por blocos de turfa, preparado diagonalmente, de *opus reticulatum*(Figura 1b); face protegida por tijolos, de *opus testaceum* (Figura 1c); e a mistura de todos, de *opus mixtum* (Figura 1d) (CECHELLA,2011).

**Figura 1 - (a) *opus incertum*; (b) *opus reticulatum*; (c) *opus testaceum*; (d) *opus mixtum***

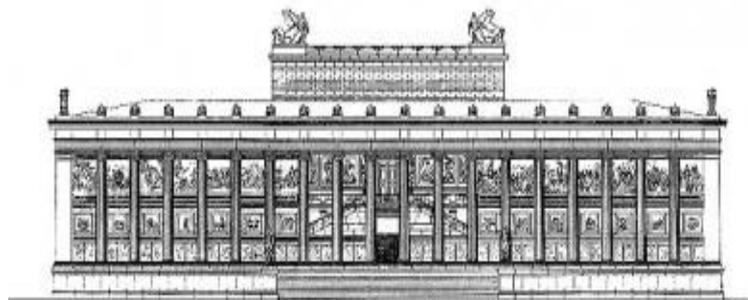


**Fonte: SCHRAM & PASSCHIER, 2011.**

A partir da mistura de cimento (mistura moída em partículas milimétricas em compostos inorgânicos), água e agregados tiveram a descoberta de um material plástico, que se consegue facilmente adquirir a forma desejada em seu estado líquido, e após seu endurecimento sendo capaz de resistir toneladas de quilogramas quando está adequadamente projetado.

Apesar de seu uso em (I a.C), o concreto teve seu primeiro teste de resistência a tração e a compressão, na Alemanha em 1836. Também foi descoberto o uso do aço, tornando-o um concreto armado e foi Joseph Monier quem inventou e começou a utilizar o concreto armado 13 (treze) anos após iniciarem os testes mecânicos, utilizando em cubas e tubos com o uso do aço (KAEFER,1998).

**Figura 2 - Altes Museum, Alemanha; 1836**

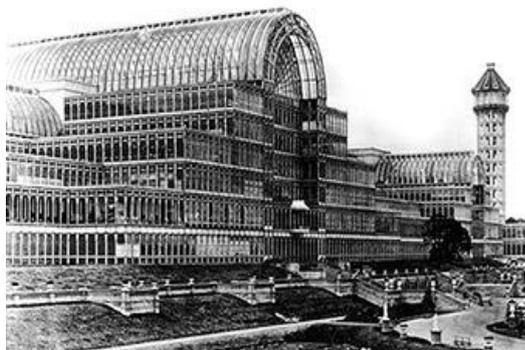


**Fonte: ROCHA,2016.**

A combinação de concreto e aço teve sua patente concretizada apenas em 1867, sendo assim, começando a ser utilizado pelo mundo todo no decorrer dos anos até os dias atuais.

Inicializando essa demanda em 1886 na Inglaterra, que teve o primeiro forno rotatório para a produção do cimento. Em 1920 o concreto foi amplamente inserido nas construções de estradas, casas, entre outros. Tendo também as primeiras barragens construídas em 1936 (KAEFER,1998).

**Figura 3 - Crystal Palace, Londres,1936**



**Fonte: JOSEPH PAXTON, 1954.**

Na América do Sul, mais especialmente no Brasil, teve o contato com o concreto armado alguns anos após Alemanha ter seus primeiros testes mecânicos realizados no concreto. A utilização do concreto no país, foi primordial ao Lambert Riedlinger, engenheiro alemão que encaminhou essa tecnologia da Europa para o Brasil. O primeiro prédio a ser construído de concreto armado no país, foi em São Paulo, entre 1907 e 1908, localizado na rua São Bento, Praça do patriarca (Figura 4). Previamente já havia sido construído diferentes obras de menor porte, situada nas cidades do Rio de Janeiro, Santos e Belo Horizonte, a partir de 1904 (VASCONCELOS, 1985).

**Figura 4 - Primeiro prédio de concreto armado, São Paulo,1907**



**Fonte: VASCONCELOS, 1985.**

Conhecido como o material mais resistente para construção, gerando então um mercado de trabalho com novas empresas, e assim ampliando o emprego em edifícios, rodovias, entre outros tipos de edificação.

## 2.2 DEFINIÇÃO

Concreto sendo simples ou armado é um material utilizado na construção a partir da hibridação do cimento, com agregado miúdo e graúdo, sendo misturados assim com água e com traço exato e bem definido.

Com a modernização do tempo atual, tem a utilização de um componente para melhorar ou conferir suas particularidades, assim chamados de “aditivos” (BAUMGART, 1928).

Após essa mistura, obtém-se uma pasta chamada “concreto fresco”, sendo assim um material com uma textura mais ou menos plástica, permitindo então sua moldagem.

Com o passar do tempo o concreto endurece e sua resistência a compressão é elevada, conivente a uma baixa resistência à tração. A resistência à tração tem uma comparação à compressão de 1/10 (BAUMGART, 1928).

## 2.3 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

Um das principais qualidades do concreto armado é a resistência mecânica de um conjunto chamado concreto-aço. O trabalho realizado por este conjunto concede uma boa resistência á esforços de flexão, um valor grande de vãos livres, com suas vigas retas ou curvas, capaz de ser aumentado quando for utilizar o concreto protendido (CECHELLA,2011).

### 2.3.1 Disponibilidade

A matéria-prima utilizada para a fabricação do concreto é composta por materiais de valores financeiros parcialmente baixos. Em sua composição os 5 (cinco) elementos químicos mais numerosos existentes no planeta, concluindo 89% da massa da crosta terrestre, e com mais de 90% da massa do cimento Portland e de seus agregados contém todos esses 5 (cinco) elementos (PEDROSO, 2009).

### 2.3.2 Versatilidade

Pelo fato do concreto em seu estado fresco ser um material plástico, podendo assim ser moldado com toda liberdade. O projetista dimensiona de acordo com sua vontade. Sua

geometria pode ser ajustada aos esforços solicitantes com a conformidade do delineamento estético sugerido no projeto. Sendo assim uma das vantagens do concreto, pois tem a união de uma função estrutural com a forma estética desejada (CECHELLA,2011).

### **2.3.3 Hiperestaticidade**

As peças fabricadas de concreto são associadas entre si, tendo assim uma rigidez almejada pelo monolitismo dos nós. Suas ligações rígidas viabilizam o engastamento, resultando em hiperestaticidade estrutural, possibilitando seções mais esbeltas visando a economia, resistência a esforços anormais com mais segurança e assim formas estruturais podendo desempenhar funções simultâneas, vigas em formato T (ISAIA,2011)

### **2.3.4 Facilidade de execução**

Apesar do concreto possuir materiais simples de serem encontrados e de fácil manuseio, sua função é de extrema importância e responsabilidade. A mão-de-obra não necessita de uma especialização tão apurada, seus equipamentos são bem simples para obras correntes ou mais sofisticadas para uma de grande porte. Podendo assim a qualquer construtora simples em ter acesso a construções e assim podendo ter a entrada no mercado de trabalho, hoje existente (CECHELLA,2011).

### **2.3.5 Durabilidade**

Uma estrutura (independente de qual seja), quando é bem projetada, dosada e executada, o concreto possui uma durabilidade muito bem adequada a agentes agressivos internos ou externos.

Tem um bom desempenho ao fogo quando se compara com o aço. Sua camada que é coberta, serve como protetor contra corrosão da armadura de aço e aos demais agentes agressivos (ISAIA,2011).

### **2.3.6 Custo**

A variabilidade e as vantagens do concreto verificam seu segundo lugar dos materiais mais consumidos pelo ser humano, sendo ultrapassado assim somente pela água. A

relação deste consumo de qualidade e custo coloca o concreto como material estrutural a custo competitivo, comprovando que economicamente ele tem fator decisivo, junto com o técnico, para ser empregado em larga escala (PEDROSO, 2009).

## 2.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA DO CONCRETO

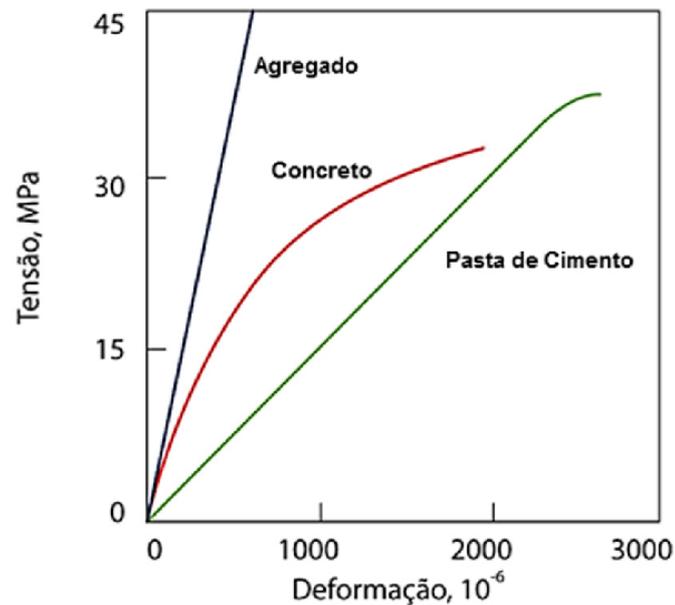
Em se tratando de concreto, sua resistência mecânica é o parâmetro que mais se emprega, para analisar sua qualidade. Para determinar suas aplicações, outras características são evidenciadas, como, a durabilidade à ação de agentes agressivos e módulo de elasticidade são de extrema importância.

Um moderno conceito de resistência deve levar em consideração não somente sua resistência à mecânica, mas também a outras propriedades que possam ter influência de interesse na Engenharia Civil, como seus mecanismos de transporte, sua dureza, resistência á impacto, deformabilidade, energia de fratura, entre várias outras (OLIVEIRA ANDRADE,2011).

### 2.4.1 Considerações Preliminares

Com relação á concreto, sua resistência mecânica tem a capacidade de suportar cargas aplicadas nele, sem que esteja em ruínas. Em uma forma prática, pode considerar a resistência do concreto como carga máxima aplicada sobre seu corpo-de-prova.

Concreto quando endurecido é constituído por uma pasta de cimento Portland hidratada e por seus agregados, que apresenta um comportamento de tensão-deformação diferente quando comparado ao do concreto (Figura 5), que representa o comportamento de concretos em níveis convencionais de resistência e tal que seu comportamento para os tipos de concreto existentes deve ser muito cauteloso (OLIVEIRA ANDRADE,2011).

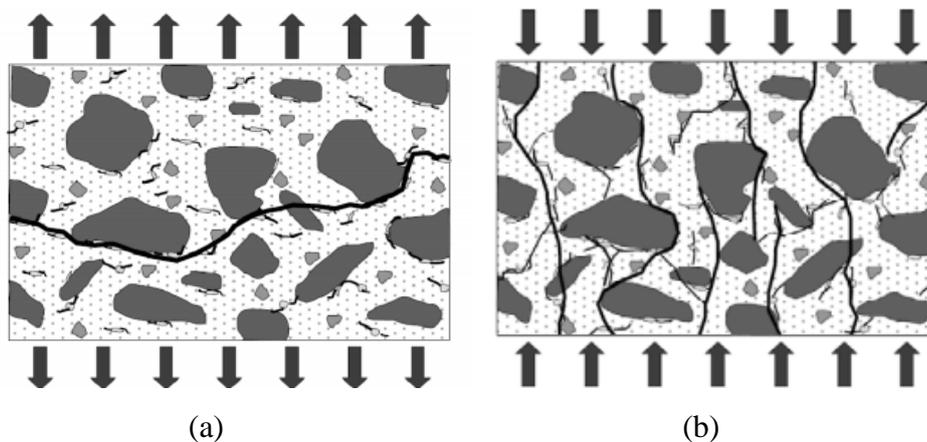
**Figura 5 - Comportamento tensão-deformação do concreto e seus materiais**

Fonte: MEHTA & MONTEIRO, 2014.

Além do comportamento tensão-deformação, tem que considerar a existência da zona de transição do material, formada pelos fenômenos relacionados com o transporte da água no lançamento e adensamento do concreto. A zona de transição se caracteriza pelo fato de apresentar uma quantidade grande de vazios, quando se submete o concreto a diferentes tipos de esforços (OLIVEIRA ANDRADE, 2011).

Quando o concreto é submetido a um esforço de tração, há um defeito genético qualquer em sua pasta, causando assim um enfraquecimento localizado no material. À medida que vai aumentando as tensões aplicadas um incremento do tamanho da falha, levando ao concreto a propagação de microfissuras. Quando o concreto é submetido a compressão, a ruptura acontece por tração indireta. Na zona de transição é mais intensa, causando a ruptura do concreto (Figura 6a) e (Figura 6b).

**Figura 6 - Ilustração de fissuração do concreto quando submetido a um esforço de tração (a) e de compressão (b)**



Fonte: HANAI, 2005.

Aproximadamente 50% da carga de uma ruptura, a fissuração na pasta não é significativa, ficando evidente a carga de ruptura entre 50% e 75%. Atingindo seus 75% da carga de ruptura, um aumento claro da fissura da matriz e da zona de transição entre 75% e 80% de sua carga máxima, rompendo assim o concreto com um carregamento constante (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

## 2.4.2 Ensaios para determinação da Resistência Mecânica do Concreto

Para a determinação da resistência do concreto, são operados 2 (dois) métodos, os destrutivos e não destrutivos.

Geralmente os destrutivos são de maior escala, para verificar sua propriedade. Os não destrutivos são aplicados em investigação de estruturas acabadas, quando tem sinais de comprometimento em suas estruturas em função da resistência (TUTIKIAN, 2011).

Além deles, 3 (três) principais tipos na Engenharia Civil são os esforços de compressão, tração e tração na flexão.

### 2.4.2.1 Resistência à compressão

Compressão axial é bastante estudada por pesquisadores, uma vez associada diretamente ou indiretamente com outras propriedades do concreto.

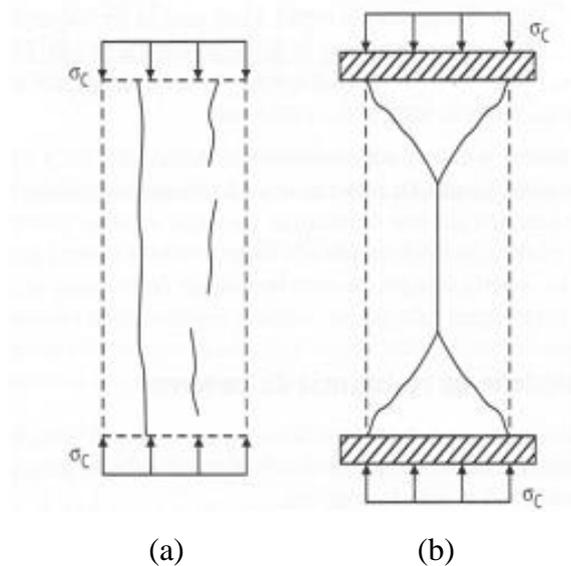
Não é difícil de se encontrar dois ou mais corpos-de-prova irmãos (mesma massa) apresentando resultados diferentes para a resistência, levando em conta a mesma idade.

Ocorrendo assim pequenas diferenças em seu processo de moldagem, cura e ensaios. Há 2 (dois) tipos de moldes que podem ser utilizados para determinar a resistência do concreto, tendo um formato cilíndrico, para compressão axial, e prismático, para tração na flexão, descrito no tópico 2.4.2.3 (NBR 5738, 2015).

Um corpo-de-prova padrão para realizar ensaio de resistência à compressão, possui o formato cilíndrico, e tem altura que equivale ao dobro do diâmetro. As dimensões básicas de diâmetro são de: 100 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm e 450 mm. Para ensaios à compressão é mais comum o molde com 100 mm por 200 mm (NBR 5738, 2015).

Um corpo-de-prova posicionado adequadamente no ensaio, ocorre um efeito de atrito entre os pratos de sua prensa, que modificam eventualmente as tensões, nas faces dos exemplares (Figura 7).

**Figura 7 - Comportamento dá fissuração em corpos-de-prova (a) sem restrição e (b) com restrição**



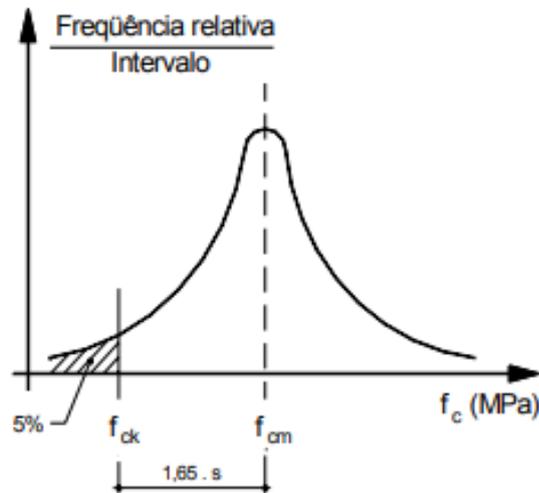
**Fonte: EDITORA PINI, 2008.**

Nessa condição observa-se que quando não há restrições dos pratos, o concreto tende a apresentar fissuras com uma configuração de tração. Para a determinação de resistência do concreto, o contato do corpo-de-prova com pratos, modifica a configuração das fissuras. A resistência à compressão é calculada a partir da Equação 1, que se refere à resistência à compressão do concreto, destinado pela força ( $F$ ) sobre a área da seção ( $A$ ).

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Quando números grandes de corpos-de-prova são ensaiados, pode-se obter um histograma representando a distribuição da resistência à compressão do concreto (Figura 8).

**Figura 8 - Curva de Gauss**



Fonte: HELENE, 1984

Importantes parâmetros podem ser observados na (Figura 8) como resistência média à compressão ( $f_{cm}$ ) e a resistência característica ( $f_{ck}$ ). Os valores encontrados para  $f_{cm}$  podem ser encontrados pela média dos corpos-de-prova ensaiados, por isso, estruturalmente pode apresentar uma resistência abaixo do esperado. (OLIVEIRA ANDRADE & TUTIKIAN, 2011).

Por esse fator, estabeleceu um valor de  $f_{ck}$ , correspondendo a uma resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado nos ensaios. Inspirado nesse valor, estabeleceu a resistência de cálculo à compressão ( $f_{cd}$ ), que possui um coeficiente de minoração de ( $\gamma_c = 1,4$ ). A relação entre  $f_{cm}$  e  $f_{ck}$  pode ser representada pela Equação 2.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 \cdot s \quad (2)$$

Com ( $s$ ) correspondendo ao desvio padrão, que varia de 20 (vinte) ou mais resultados obtidos consecutivos em ensaios, com o intervalo de 30 (trinta) dias. De nenhuma forma o valor de ( $s$ ) pode chegar a ser inferior à 2MPa. (NBR 12655, 2015).

Em estruturas de concreto podem ser classificados por dois tipos de grupo, quando se diz respeito à compressão mais utilizados, grupo I conforme Quadro 1 (NBR 8953, 2015).

**Quadro 1 - Classes de Resistencia do grupo I**

<b>Grupo I</b>	<b>F<sub>ck</sub> (MPa)</b>
<b>C20</b>	20
<b>C25</b>	25
<b>C30</b>	30
<b>C35</b>	35
<b>C40</b>	40
<b>C45</b>	45
<b>C50</b>	50

Fonte: ABNT NBR 8953:2015.

Já os que são menos utilizados em ensaios são do grupo II conforme Quadro 2 (NBR 8953, 2015).

**Quadro 2 - Classes de Resistencia do grupo II**

<b>Grupo II</b>	<b>F<sub>ck</sub> (MPa)</b>
<b>C55</b>	55
<b>C60</b>	60
<b>C70</b>	70
<b>C80</b>	80
<b>C90</b>	90
<b>C100</b>	100

Fonte: ABNT NBR 8953:2015.

O engenheiro que projetar a estrutura deve especificar o valor de  $f_{ck}$  em função da agressividade ambiental em que a estrutura estará sujeita. No caso de o grupo II serem empregados em estruturas, devem apresentar critérios diferentes no projeto, pois as estruturas são projetadas com concretos das classes C20 a C50. (NBR 6118, 2014).

#### 2.4.2.2 Resistência à tração

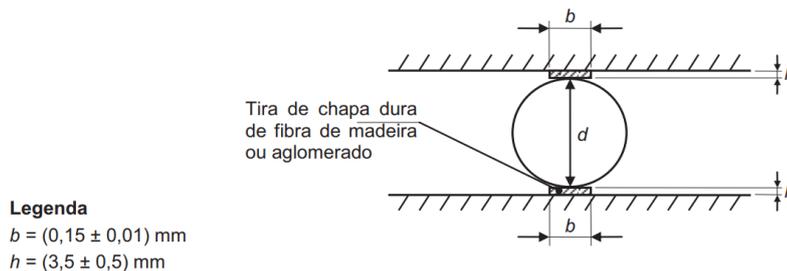
A resistência de uma pasta de cimento hidratada, usualmente é menor que a teórica calculada, tendo assim como base as forças de atração molecular.

Existem 3 (três) maneiras que se pode determinar a resistência à tração do concreto, como tração por compressão diametral, tração na flexão, e tração direta. O ensaio à tração direta no meio de construção civil, raramente é executada, pois a fixação de corpos-de-prova induz surgimento de tensões secundárias, podendo não ser consideradas. Sendo assim considerado apenas os 2 (dois) ensaios mais utilizados (MEHTA& MONTEIRO, 2014).

#### 2.4.2.2.1 Resistência à tração por compressão diametral

Para que possa realizar o ensaio de resistência à tração por compressão diametral é necessário requerer corpos-de-prova cilíndricos (15cm x 30cm) que foi descoberta por Lobo Carneiro. O corpo de prova é colocado em uma geratriz de modo que consiga ficar em repouso, situado sobre um prato pertencente à prensa hidráulica, como mostrado na (Figura 9). (NBR 7222:2010).

**Figura 9 - Arranjo esquemático do ensaio de tração por compressão diametral**



**Fonte: ABNT NBR 7222, 2010.**

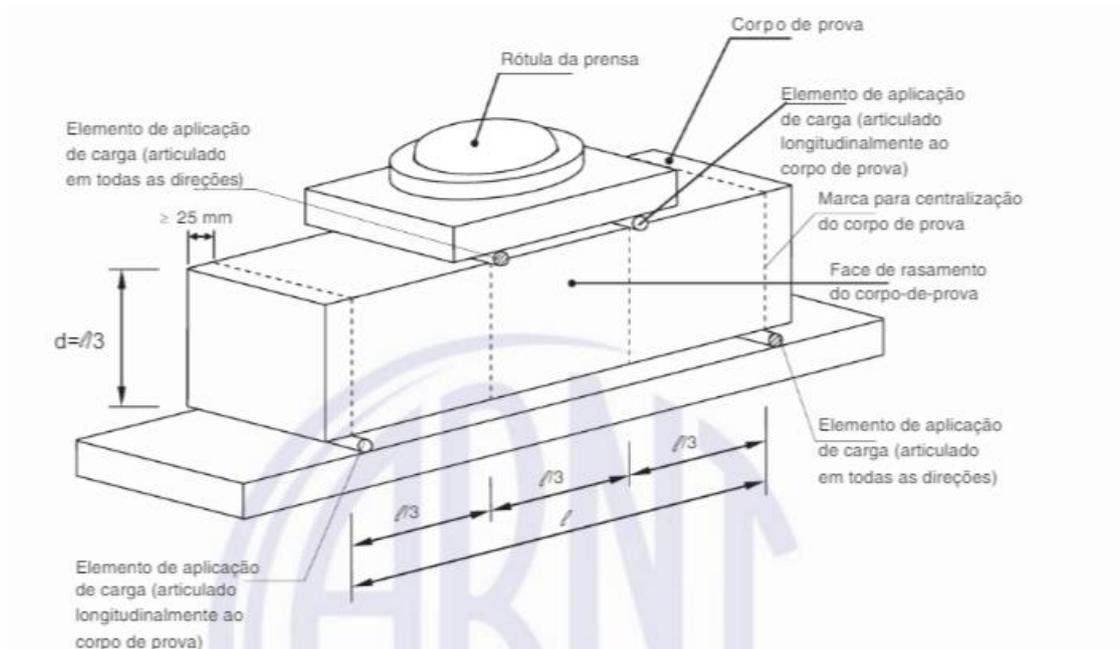
Quando se conclui o ensaio, a resistência é calculada pela equação 3, que se entende por duas vezes a força aplicada (F) sobre a multiplicação do diâmetro do corpo-de-prova (d), comprimento (L) e coeficiente ( $\mu$ ), que seria o valor de  $\pi$ .

$$f_{ct, sp} = \frac{2F}{\mu d L} \quad (3)$$

#### 2.4.2.2.2 Resistência à tração na flexão

No Brasil, o ensaio é realizado sobre corpos-de-prova com formato prismático, submetendo-os á flexão com um carregamento por 2 (duas) seções simétricas (NBR 12142, 2010).

**Figura10 – Ensaio na Flexão com carregamento nos terços (vista em perspectiva)**



Fonte: ABNT NBR 12142, 2010.

Para a consideração do momento fletor e esforço cortante tender à zero, deve corresponder ao terço médio do corpo-de-prova. Quando ocorrer ruptura no terço médio da distância do terço, a flexão é calculada através da equação 3 de tração na flexão, onde  $b$  é a largura e  $h$  é a altura média do corpo-de-prova (NBR 12142, 2010).

$$f_{ct}, f = \frac{F l}{b h^2} \quad (4)$$

Se a ruptura ocasionar fora do terço médio, na seção transversal entre o plano de aplicação de uma de suas forças e plano contendo a seção de um dos apoios, porém não ultrapassando 5% do comprimento total do vão, a flexão é calculada pela equação 4 de tração na flexão (NBR 12142, 2010).

$$f_{et}, f = \frac{3 F a}{b h^2} \quad (5)$$

A presença de fibras no concreto influencia diretamente na flexão, pois normalmente fibras de aço e polipropileno são adicionadas justamente para aumentar a resistência à tração do concreto (NBR 12142, 2010).

### 3 BAMBU

O bambu possui amplas aplicabilidades, e nos países asiáticos são exploradas em todas as suas formas, apresentando grande eficiência. A aceitação ao seu uso pode e deve abranger todos os continentes, de forma a auxiliar na sustentabilidade que vem sendo um assunto tão importante, e que deve ser considerado em todos os âmbitos, inclusive na construção civil.

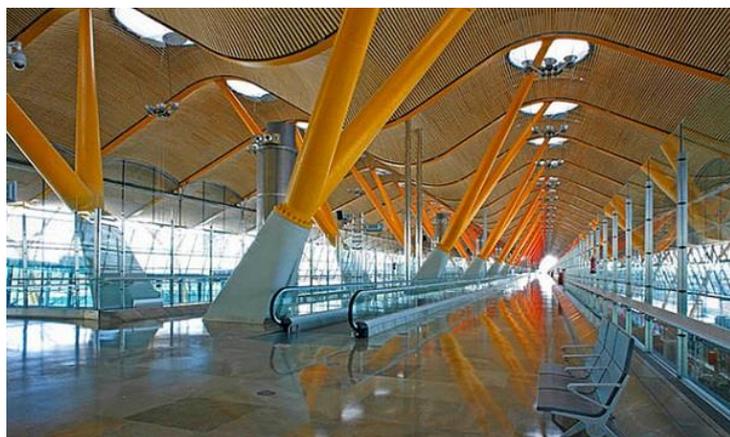
#### 3.1 HISTÓRICO

Pouco a pouco o ser humano foi conhecendo e descobrindo que na amplitude da beleza da natureza, existe uma capacidade indescritível de se beneficiar do que é ofertado, levando a uma exploração desenfreada, sem um conhecimento prévio dos acréscimos que cada material retirado pode apresentar.

Utilizado pelo homem desde a pré-história, vem se expandindo nos tempos atuais o interesse por aprimorar e incentivar o uso do bambu, buscar novos caminhos e utilidade para ele, almejando a sustentabilidade, a economia, obtendo resultados satisfatórios.

Sua utilização abrange as mais diversas áreas como instrumentos musicais, roupas, alimento, fabricação de papel e móveis, utensílios domésticos, transporte, construção civil, entre outros, um exemplo é o demonstrado na figura 11, o forro do Aeroporto Internacional de Barajás em Madri na Espanha constituído de bambu. A principal influência de uso do bambu vem da China, onde existe uma verdadeira adoração a tudo que pode ser oferecido, possui catalogada cerca 1.500 aplicações para a planta (ALVES, 2006).

**Figura 11 - Forro composto por bambu - Aeroporto Internacional de Barajás, Madri, Espanha**



**Fonte: ZAFFARI, 2012.**

Com o passar do tempo às experiências asiáticas foram se espalhando pelo mundo, fazendo com que o bambu ocupasse espaços, substituindo materiais tradicionais, tanto na decoração como de forma estrutural. Um exemplo é na Índia, no famoso monumento localizado na cidade de Agra, o mausoléu Taj Mahal (Figura 12), construído pelo imperador muçulmano ShahJahan, entre os anos de 1631 e 1652, uma das sete maravilhas do mundo moderno, possui sua cúpula em estrutura de bambu (construção original) (RIBAS, 2010).

**Figura 12 - Mausoléu Taj Mahal, Índia**



**Fonte: INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2018.**

O mesmo autor diz que nos anos de 1906, na cidade de Paris o brasileiro Alberto Santos Dumont dava seu primeiro voo a bordo de seu avião 14-bis, onde sua estrutura era constituída por bambu.

Outra forte influência é a Colômbia, tendo como propagador da ideia o Arquiteto SímonVelez que é uma referência mundial na utilização do bambu em construções e uma de suas obras está localizada em Pereira na Colômbia e é a Catedral de Pereira (Figura 13) que possui sua estrutura feita de bambu. O uso desse material se alastrou de forma mais intensa após o país ser atingido por um terremoto em 1999 (DAVID *et al.*, 2012).

**Figura 13 - Uso do bambu na construção da Catedral de Pereira, Colômbia– Símon Velez**



**Fonte: ECOEFICIENTES, 2014.**

Buscando pelo histórico de utilização do bambu, podemos concluir que com o passar do tempo foram perdidas muitas de suas aplicabilidades, que hoje poderia agregar de forma bastante satisfatória. A necessidade de se buscar materiais alternativos para a construção civil fez com que em diversos estudos o bambu fosse inserido como material fundamental devido suas características, que é um material com bastante abundância em nosso país, auxilia em um assunto tão discutido como preservação do meio ambiente, além de resultarna redução do custo total de obra.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS

São encontrados na natureza uma imensidão de opções de fibras vegetais que podem ser utilizadas na construção civil, por exemplo: bambu, sisal, casca de bananeira, piaçava, bagaço de cana, entre outros. Vem sendo executados diversos estudos relacionados às mesmas, que vem aumentando gradativamente o interesse em suas aplicações. As fibras de coco e piaçava não interferem nas reações do cimento, podendo ser utilizadas para produção de concreto, já as fibras de sisal não são indicadas, pois interferem na hidratação dele. (ALVES, 2006).

O bambu, instrumento de estudo desse trabalho, possui diversas características que faz dele um ótimo aliado à construção civil. Essa planta é constituída de fibras dispostas paralelamente ao longo da direção longitudinal ao colmo, aspecto o qual faz dele

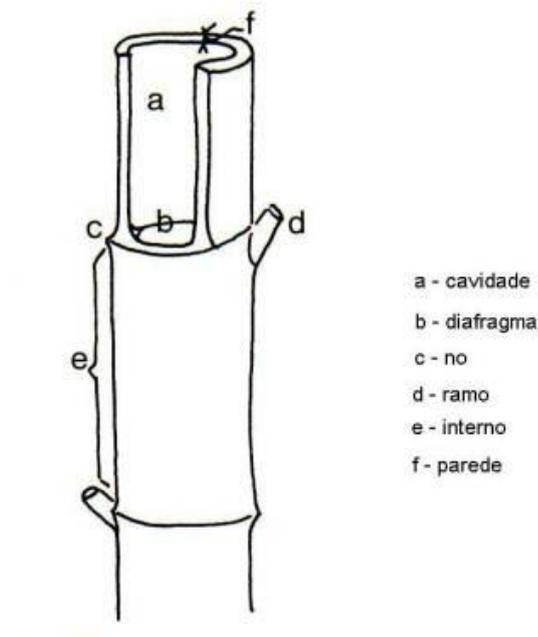
extremamente resistente a tração, conseqüentemente podendo substituir o aço no concreto armado (SOUZA, 2002).

A parte subterrânea do bambu é composta por rizoma e raízes, que se desenvolvem e se deslocam horizontalmente, expandindo a área de alimentação e o próprio vegetal. Anualmente surgem novos brotos nos rizomas, ampliando seu tamanho (RIBAS, 2010).

A parte externa denominada como colmo possui características que a definem como uma planta lenhosa, monocotiledônea pertencente ao grupo das angiospermas. O colmo consiste no tronco da planta, em sua maioria oca, a idade e o grau de amadurecimento do mesmo é o que determina sua resistência mecânica e seu grau de dureza (ALVES, 2006).

O colmo é bastante característico por possuir forma cilíndrica, e em toda sua estrutura existem entrenós ocos, que consiste em uma região entre um nó e outro. São nesses nós ou diafragmas que nascem os galhos e folhas, e são eles os responsáveis por garantir ao bambu maior rigidez, flexibilidade e resistência aos colmos (PEREIRA, 2001). Na figura 14, está representada a seção de um colmo, assim como suas denominações.

**Figura 14 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações**



**Fonte: PEREIRA, 2001.**

As fibras do colmo são constituídas de lignina e silício. As moléculas de lignina atribuem ao bambu rigidez, impermeabilidade, flexibilidade e resistência contra ataques biológicos. Já o silício, que é o segundo elemento químico mais encontrado na Terra, oferece resistência mecânica ao material (SOUZA, 2002).

O bambu mesmo exposto a um ambiente de desordem consegue se restaurar rapidamente, devido a sua boa resistência. Um bom exemplo, é que depois da devastação ocorrida em Hiroshima ao ser atacada pelas bombas atômicas, a primeira vegetação a aparecer em meio ao caos pós-guerra, foi o bambu (SOUZA, 2002).

### **3.2.1 Cultivo**

Cultivar o bambu requer métodos simples, tomando o cuidado de não deixar as mudas próximas, umas da outra. Pode ser por sementes ou mudas, pois possuem pouca folhagem (BARBOZA *et al.*, 2008).

A época essencial para se cultivar é no período de chuvas. O seu desenvolvimento se adapta em diversos climas, sendo mais favorável em áreas quentes e com chuvas, pois a umidade é de grande importância. Não há exigência quanto solo, há alguns que devem ser evitados, como os ácidos e argilosos (SOUZA, 2002).

### **3.2.2 Extração**

É recomendado por profissionais da área que a extração seja realizada nos meses mais secos do ano, entre maio e agosto, e segundo crenças na lua minguante, uma vez que os colmos terão menos líquidos, fazendo com que fique mais leve, facilitando o transporte, e com a diminuição da seiva o material já não se torna mais atrativo para insetos, cupim, caruncho (ALVES, 2006).

O bambu para abate deve ter entre 3 a 6 anos, caso contrário há uma diminuição da sua vida útil. E é recomendado que sejam retirados os bambus afastados do bambuzal, por serem mais resistentes. O corte do colmo deve ser feito com material apropriado para não danificar, e com distâncias de 20 a 30 cm do solo, é indicado que ele seja feito perto do nó, evitando que acumule água e insetos. Os galhos presentes devem ser retirados com serracegueta, para que não afete a estrutura (SOUZA, 2002).

### **3.2.3 Secagem**

O método de secagem aperfeiçoa as características físicas e mecânicas, atingindo a umidade de 15%. Segue exemplos de secagem:

- Secagem ao fogo: o colmo é exposto ao fogo, normalmente maçarico, com uma distância de 50 cm, girando-o, até ser atingida a cor café clara, ou seja, uma cor levemente amarronzada ou bege;
- Secagem ao ar: os bambus são dispostos horizontalmente, de forma que seja evitada a flexão, protegido da umidade e em local com ventilação, a uma distância de 50 cm do solo, por um período entre 15 e 60 dias;
- Secagem em estufa: na estufa a umidade relativa, temperatura e velocidade do ar podem ser monitoradas, por isso esse se torna o processo mais adequado e eficiente.

### 3.2.4 Tratamento

O tratamento das varas de bambu é feito com o intuito de preservar a mesma, pode ser feito de modo natural ou químico. O químico é mais eficiente, e aumenta a vida útil por 15 anos.

Exemplos de tratamentos naturais:

- Cura na própria mata: após ser extraída, a vara de bambu é deixada na touceira na posição vertical, com seus galhos e folhas, sem contato com o solo, entre 4 a 8 semanas.
- Cura por aquecimento: o bambu é exposto ao fogo, em sua maioria é usado o maçarico, assim consegue matar insetos, retirar água e amido. Esse método só é indicado para colmos de até 0,5 cm de espessura;
- Cura por imersão: o colmo é mergulhado na água entre 3 a 90 dias. Esse método aumenta a resistência contra insetos, porém não tem tanta eficácia, pois pode ocasionar rachaduras e manchas na estrutura.

Exemplos de tratamentos químicos:

- “Boucherie”: Consiste na remoção da seiva do colmo por pressão, logo após injetando produto químico;
- Transpiração das folhas: Depois do corte, o colmo juntamente com galhos e folhas é colocado na posição vertical em um recipiente com produto químico, após o escoamento da seiva, esse produto é sugado pelo corte. O período de execução desse método consiste em 2 a 4 dias, após o procedimento é exposto à secagem por 40 dias;

- Tratamento por imersão: Os colmos são imersos em um recipiente com produto químico, por 12 horas.

### 3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DO BAMBU

Assim como outros materiais, o uso do bambu na construção civil está propenso a vantagens e desvantagens. Sua utilização vem sendo estudada com a expectativa de que sejam diminuídas as suas desvantagens, fazendo com que o seu emprego seja mais difundido.

Suas vantagens se sobressaem, conforme está disposto no próximo item, mas ainda há uma resistência para a sua inserção de forma mais ampla no mercado.

A grande expectativa é que essa resistência seja vencida, e que abram as portas para sua aplicação, e seja evidenciada a sua eficácia.

#### 3.3.1 Vantagens

A utilização do bambu na construção civil reflete evidentemente na sustentabilidade que é um dos assuntos mais discutidos atualmente, é um desafio que vem sendo enfrentado pelo setor de construção e está tomando seu devido espaço.

Os maiores responsáveis pela construção no Brasil vêm tomando consciência da necessidade em se adequar e buscar uma forma que ocasione a melhoria das condições de vida no planeta sem que tire a qualidade do serviço prestado. A preocupação aumenta de forma constante no mundo inteiro, devido a isso estão sendo estudados com mais empenho formas de se diminuir o impacto da construção no meio ambiente (SIMÃO, 2014).

O mercado está diante de uma situação que estão tendo que lidar com a restrição de recursos naturais, anteriormente sendo sua única opção mais viável, em decorrência iniciou uma procura por meios que não agredam o ambiente ou no mínimo diminua o impacto gerado por eles. A busca por materiais alternativos está tomando grandes proporções, abrindo caminhos para a sustentabilidade na construção civil (TEIXEIRA, 2006).

O padrão a ser alcançado tem o foco no desenvolvimento humano, revolução tecnológica e do uso e reuso dos recursos disponíveis. Essa transformação depende de alteração em termos de mercado, regulamentação, de avaliação e estudo de produtos, mudanças essas que serão enfrentadas quando o foco deixar de ser os custos, e se tornar as oportunidades (SIMÃO, 2014).

No Brasil, a maioria das famílias recebem pouco ou são desempregadas, a adoção de materiais sustentáveis na construção traz uma enorme vantagem para essa população, pois diminui os custos, alcançando mesmos resultados, sem implicar em conforto, durabilidade e na qualidade (TEIXEIRA, 2006).

São nessas oportunidades que se intensificou o estudo do bambu, comprovando sua eficácia em vários seguimentos, podendo substituir um material bastante usado, que é o aço, competindo de forma equivalente, conseguindo mesmo resultados, com a vantagem de ser um material renovável (ALVES, 2006).

Uma das mais importantes características do bambu, sendo também uma grande vantagem na construção civil é sua elevada resistência a tração, podendo chegar a 370 MPa em determinadas espécies, ela se torna maior que a compressão devido suas fibras que estão dispostas no sentido longitudinal. Esse material também é um excelente isolante térmico e acústico (SOUZA, 2002).

As vantagens do seu uso na construção são incontestáveis, o bambu é um material que se tem em grande abundância na natureza, é altamente renovável possuindo rápido crescimento, não possui exigências em relação ao clima ou solo sendo de fácil adaptação. Em consequência possui baixo custo, e economia (RIBAS, 2010).

O bambu possui seu colmo oco, sendo leve e possuindo baixo peso específico, facilitando transporte e armazenamento. Não tem a necessidade de ser replantado após sua extração, visto que é autossustentável, e tem a capacidade de se regenerar, gera cerca de 20 toneladas por hectare (SOUZA, 2002).

Essa planta também auxilia no controle de erosões reduzindo o contato da chuva no solo, tem a capacidade de conter de encostas que tenham um grau de inclinação elevado, é bastante conhecido como “quebra-vento”, que consiste em bloquear a passagem do vento (MEIRELLE *Set al.*, 2010)

### **3.3.2 Desvantagens**

O emprego do bambu enfrenta várias etapas para enfim se fazer concreta, uma delas é a normatização. Diferentemente de outros materiais, para ele ainda não existem especificações técnicas para sua utilização na construção civil, dificultando o trabalho de projetistas e construtoras.

Quando em contato direto com a umidade o bambu tende a apodrecer, e por conter em sua parte interna uma quantidade concentrada de amido, torna-se atrativo, estando propenso a ataques de insetos, cupim, caruncho, que leva a sua degradação (SOUZA, 2004).

O bambu não possui padrão, devido a sua origem natural, há alteração quanto as dimensões do seu diâmetro, comprimento, espessura de sua parede, em sua maioria não lineares (TATIBANA *et al.*, 2016).

Esse material quando exposto a secagem excessiva se torna consideravelmente inflamável. Tende a rachar, ter fissuras e sofrer esmagamento, pode também contrair-se quando usado no concreto armado (SOUZA, 2002).

Exatamente para combater essas desvantagens que são feitos diversos estudos para que possa superar as mesmas, e fazer do bambu um perfeito aliado na construção civil. Em sua maioria, encontram-se soluções fáceis de serem aplicadas, como os tratamentos já referidos nesse capítulo, que possuem a finalidade de aumentar a qualidade do bambu.

Uma das principais barreiras que devem ser rompidas para efetivar a ideia de trazer o bambu para a construção civil no Brasil é o preconceito, conseqüentemente uma das piores desvantagens.

Diferente de diversos países, inclusive países vizinhos, o Brasil ainda não teve iniciativa para plantação em grande proporção, não se abriu para novas perspectivas e para os benefícios que sua utilização traria para um país que possui esse produto em abundância.

### 3.4 APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A aplicação de bambu na construção civil abrange várias áreas, como fôrmas de lajes, vigas, pilares, andaimes provisórios que já são muito usados em países asiáticos.

Podem ser usados também nas estruturas de telhado como tesouras, armaduras secundárias, material de cobertura, na construção de cúpulas (como exemplo o Taj Mahal, já citado anteriormente), pórticos, arcos. Chapas de compensado, placas decorativas de piso e parede, escadas com degraus, entre outras inúmeras opções nas quais o bambu e suas propriedades se enquadram.

E é de bastante proveito sua aplicação na parte estrutural da construção civil, que consiste na substituição do aço que é habitualmente usado, por bambu, alcançando os mesmos resultados (ALVES, 2006).

Alguns exemplos de bambu na estrutura são:

- Pilares e vigas com armaduras de bambu;

- Postes de concreto armado com tiras de bambu;
- Lajes de concreto armado com bambu.

O bambu pode ser empregado em sua forma inteira (roliça), que se adequa mais a parte de execução de tesouras, pilares, vigas, entre outros; na forma partida (talisca) quando utilizada como reforço do concreto; para execução de muros, parede, forros, é indicado a forma de régua, paredes, forros, assoalhos. Pode ser associado a outros materiais de construção como, solo-cimento, argamassa armada, concreto e gesso (ALVES, 2006).

## **4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Conforme apresentado, a utilização do bambu em substituição do aço é uma alternativa a ser estudada e desenvolvida, tendo como principais finalidades inicialmente estruturas de baixo pleito. O experimento realizado teve a finalidade de comparar concreto armado com bambu e concreto armado com aço.

### **4.1 MATERIAIS**

Para ser executado o experimento foi realizado no Centro Tecnológico da Faculdade UniEvangélica, em Anápolis.

A confecção do concreto foi realizada com o uso do cimento Portland CP-II E 32, sendo o mais empregado na construção civil. Já os agregados graúdos e miúdo utilizados foram respectivamente, brita e areia.

A definição do traço utilizado na produção do concreto foi de acordo com o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), que consiste em um método de dosagem que busca o equilíbrio e a economia dos materiais, sendo eles cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água.

#### **4.1.1 Aço**

Foram utilizados o aço CA 50 para as barras e CA 60 para estribos como armação dos corpos de prova convencionais, que atualmente são os mais aplicados na construção civil. Com a finalidade de compará-lo com armação feita de bambu, com a realização dos esforços mecânicos do concreto com o próprio aço, utilizando como referência informações apresentadas ao longo do curso e contidas na norma NBR 7480,2008.

As armações de aço foram confeccionadas na loja Cidade Ferragens, localizada na Rua quatro no bairro cidade jardim na cidade de Anápolis, GO.

#### 4.1.2 Bambu

Para a realização do experimento foi utilizado como protótipo uma monografia de graduação em Engenharia Civil da cidade de Chapecó, da Universidade Comunitária da região de Chapecó.

A extração do bambu foi feita conforme indicações expressas no capítulo 3.2.2, sendo no mês de julho que possui um clima considerado seco, e seu corte será com distâncias de 20 a 30 cm do solo.

A extração do bambu foi realizada conforme a figura 15, nas proximidades da GO 222, que liga a cidade de Anápolis á Nerópolis.

**Figura 15 - Bambuzal**



**Fonte: PRÓPRIA, 2019.**

Após a colheita do bambu, foi feita uma secagem em estufa a 100° C por 14 horas, conforme mostrado na figura 16.

**Figura 16 - Bambu na estufa**



**Fonte: PRÓPRIA, 2019.**

Após essa secagem o bambu foi direcionado aos cortes das taliscas, com auxílio de ferramentas apropriadas para a cortagem, figura 17.

**Figura 17 - Cortes em taliscas**



**Fonte: PRÓPRIA, 2019.**

Após o corte das taliscas, foi envernizado seguindo as orientações como descrito na embalagem do verniz utilizado da marca luztol, com duas demãos com um intervalo de 6Hrs, figura 18.

**Figura 18 - Bambu sendo envernizado**



Fonte: PRÓPRIA, 2019.

Após a envernização, o tratamento do bambu foi por imersão, onde os colmos foram imersos em um recipiente com uma mistura de cimento e água relativamente, com a relação de 1:50, por 4 horas. Após esse período ele passa novamente pela secagem, figura 19.

**Figura 19 - Imerso na mistura de cimento e água**



Fonte: PRÓPRIA, 2019.

A opção de secagem utilizada foi na estufa, pois ocorre em um curto período de tempo. De acordo com estudos para atingir um teor de umidade que melhore a eficácia quando usado junto de elementos cimentícios é necessário um período de 14 horas a uma temperatura de 100° C, antes dos tratamentos e depois, o que a torna essa alternativa mais atrativa para o experimento em questão (MOURA et al., 2016).

## 4.2 MOLDES

Foram utilizados dois tipos de moldes, para ensaios específicos. Os moldes cilíndricos no ensaio tração na compressão, e os moldes prismáticos para ensaio de tração na flexão.

Foram moldados 8 corpos de prova cilíndrico com 15cm de diâmetro e 30cm de altura, sendo 4 armados com aço e 4 armados com bambu. E conforme disponível no centro tecnológico, foram utilizados 4 corpos de prova prismáticos com dimensões de 15x15x50cm, sendo 2 armados com aço e 2 armados com bambu, conforme figura 20.

**Figura 20 - Moldes cilíndricos e prismáticos**



**Fonte: PRÓPRIA, 2019.**

### 4.3 TRAÇO DO CONCRETO

Para a massa foram utilizados os seguintes materiais: areia, brita, cimento e água, para o traço mostrado no quadro 03.

**Quadro3 - Traço do concreto**

Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (KG)	Água (L)
47	86,48	121,25	24,45

Fonte: PRÓPRIA, 2019.

Para a mistura da massa foi utilizado uma betoneira, após a mistura foi realizado o slump test para saber a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, medindo sua consistência e analisar se está apto para o uso que se destina.

**Figura 21- Realização do slump test.**



Fonte: PRÓPRIA, 2019.

Logo o resultado do slump test foi de 90 mm, com isso demos continuação ao experimento. Que consistia na armação do concreto com o bambu e aço. Ambas as armações foram realizadas por um profissional experiente, com descreve a figura 22 e 23.

**Figura 22 - Armação de bambu**



Fonte: PRÒPRIA, 2019.

**Figura 23 - Armação de aço**



Fonte: PRÒPRIA, 2019.

Após todas as armações e massa de concreto estarem prontas, foram produzidos os corpos de provas armados, sendo 6 armados com aço e 6 armados com bambu, figura 24 e 25.

**Figura 24 - Formas cilíndricas**



Fonte: PRÒPRIA, 2019.

**Figura 25 - Formas prismáticas**



Fonte: PRÒPRIA, 2019.

Após a montagem das formas, foi esperado 48Hrs para a retirada dos corpos de provas armados para serem levados a câmara fria, aguardando assim uma idade de 28 dias para o rompimento, figura 26.

**Figura 26 - Corpos de provas**



**Fonte: PRÒPRIA, 2019.**

Com isso foi realizado os testes para a comparação de armação feita com aço e armação feita de bambu. Os resultados serão apresentados nos capítulos 5 e 6.

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado os resultados obtidos após o teste de compressão axial e tração na flexão dos corpos de prova experimentados.

### 5.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Analisando o ensaio executado, de compressão axial, realizado com corpos de prova cilíndricos, obtivemos os seguintes resultados demonstrados no quadro 4 e demonstrado mais detalhado no apêndice D:

**Quadro 4 - Resultado Ensaio de Compressão Axial**

<b>RESULTADO - ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL</b>			
<b>CORPOS DE PROVA</b>	<b>IDADE (DIAS)</b>	<b>TENSÃO RUPTURA (MPa)</b>	<b>CARGA RUPTURA (kgf)</b>
CONCRETO 01	28	28,1	22.480
CONCRETO 02	28	26,1	20.880
AÇO 01	28	22,4	40.310
AÇO 02	28	21,7	39.100
AÇO 03	28	21,7	39.170
AÇO 04	28	21,8	39.350
BAMBU 01	28	18,3	33.060
BAMBU 02	28	22,8	41.110
BAMBU 03	28	14,9	26.830
BAMBU 04	28	13,3	23.930

Fonte: PRÓPRIA, 2019.

Como é possível observar, temos os ensaios feito apenas com o concreto com o objetivo de conhecer a sua tensão, feitos com armadura de aço e de bambu, temos as seguintes tensões de ruptura médias:

- Corpo de prova apenas com concreto: 27,10 MPa;
- Corpo de prova armado com aço: 21,90 MPa;
- Corpo de prova armado com bambu: 17,33 MPa.

Através desses resultados conseguimos concluir que a tensão de ruptura dos corpos de prova armado com bambu corresponde a 79% da tensão dos corpos de prova armado com

aço, alcançando uma boa resistência, tendo o aço sobressaindo apenas 21% em sua resistência.

É importante ressaltar que como o objetivo do trabalho era estudar o uso do bambu em substituição do aço, foi experimentado a armadura em corpo de prova cilíndrico para compressão axial, o que não é usual. O mesmo só foi realizado por que todos os estudos que utilizam o bambu como “armadura” são poste que se assemelham a pilares, que possuem o esforço principal, a compressão, assim, surgiu a curiosidade de conhecer os resultados deste teste.

## 5.2 ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Colocando em análise os resultados obtidos com o rompimento dos corpos de prova prismáticos temos os seguintes resultados conforme quadro 5 e demonstrado mais detalhado no apêndice F:

**Quadro 5 - Resultado Ensaio de Tração na Flexão**

<b>RESULTADO - ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO</b>			
<b>CORPOS DE PROVA</b>	<b>IDADE (DIAS)</b>	<b>TENSÃO RUPTURA (MPa)</b>	<b>CARGA RUPTURA (kgf)</b>
AÇO 01	28	1,1	7.580
AÇO 02	28	1,0	7.110
BAMBU 01	28	0,7	4.740
BAMBU 02	28	0,5	3.690

Fonte: PRÓPRIA, 2019.

Comparando a média dos resultados da tensão de ruptura, temos para corpos de prova de aço o valor de 1,05 MPa e para os corpos de prova feitos com bambu 0,6 MPa.

Com esses resultados, conseguimos afirmar que o concreto armado reforçado com bambu resiste a cerca de 57% da carga quando comparado ao concreto reforçado com aço, o aço ainda se sobressai suportando 43% a mais que o bambu.

## 5.3 CONSIDERAÇÕES:

Com base no analisado nos ensaios acima, evidenciou que o bambu teve uma boa eficácia, e seu comportamento foi melhor no ensaio de compressão quando comparado ao do aço.

Analisando o rompimento dos corpos de prova prismáticos conseguimos observar que os corpos armados com aço (figura 27), criou-se uma flecha na viga ao ser rompida, algo característico e que indica um bom aproveitamento do aço.

**Figura 27 - Corpo de prova armado com aço rompido**



**Fonte: PRÓPRIA, 2019.**

Já nos corpos de prova armados com bambu (figura 28), é possível ver que a fissura foi única, sem a criação de flecha, sendo assim temos que no resultado o bambu não teve seu aproveitamento máximo.

**Figura28 - Corpo de prova armado com bambu rompido**



**Fonte: PRÓPRIA, 2019.**

Temos alguns fatores que podem ter interferido diretamente nas resistências resultantes dos corpos de prova armados com bambu, como:

- O bambu mesmo colhido de um mesmo local, apresenta diferentes características em relação ao seu colmo;
- Pode ter ocorrido alguma falha em sua concretagem, que não seja visível;
- O posicionamento das taliscas, apesar do uso de espaçadores, executados com cautela, podem ter influenciado um esforço não intencional, ou inesperado dos colmos ou nós do bambu;
- A aderência das taliscas com o concreto também tem influência no resultado, pois o bambu não apresenta ranhuras;
- E o principal, sua impermeabilização. Foi seguido o processo de impermeabilização com verniz, e a forma de aplicação foi feita conforme instruções do fabricante, obedecendo intervalo de tempo e demãos necessárias, mesmo assim pode não ter sido o suficiente para o nosso experimento ter seu sucesso em absoluto.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS:

O trabalho apresentado, foi realizado tendo em base outros estudos referentes ao mesmo assunto citados ao longo do desenvolvimento, assim, os resultados complementaram nosso interesse e despertou várias dúvidas para pesquisas futuras. A execução experimental foi realizada com cuidado e rigor para que obtivesse um máximo aproveitamento, assim, despertando o interesse da continuação do estudo, visando dentre tantas vantagens, diminuir os impactos no ambiente decorrente a extração e fabricação do aço.

Os testes com o bambu obtiveram resistências consideráveis, o que torna essa substituição viável, com ressalva ao tipo de estrutura. O dimensionamento é semelhante ao do concreto armado, porém, considerando fatores de segurança mais elevados tais como os usados em estruturas de madeira, devido às características inconstantes de um elemento natural. Como utilizado no experimento apresentado no capítulo 4, onde foi considerado a mesma área dos componentes nos corpos de prova armados com bambu e aço, para que seu os ensaios fossem justos.

Outro aspecto importante, que deve ser ressaltado, é o tratamento do bambu, a impermeabilização das taliscas é de extrema importância para se obter bons resultados, além de materiais que auxiliem a aderência do material ao concreto.

Levando em consideração as observações citadas, a partir dos resultados obtidos nesse trabalho, interpretamos que a utilização do bambu em substituição ao aço em concreto armado é bastante válida para pequenas construções populares, obras rurais, devido ao baixo custo ou às vezes nenhum custo do material, fundações que necessita de um mínimo de 15 MPa para análises, o que agrega na economia do custo total de produção, algo que está sendo buscado constantemente.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas – procedimento: NBR8681.** 2004

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto– Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: NBR5738.** 2015

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland-Preparo, controle, recebimento e aceitação-Procedimento: NBR12655.** 2015

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto-Procedimento: NBR6118.** 2014

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos: NBR12142.** 2010

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência: NBR8953.** 2015

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto e argamassa – Determinação diametral de corpos de prova cilíndricos: NBR7222.** 2010

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado: NBR7480.** 2008.

ALVES, J.D. *Materiais Alternativos de Construção.* Goiânia: Editora UCG, 2006.

BARBOZA, A.S.R.; BARBIRATO, J.C.C.; SILVA, M.M.C.P. **Avaliação do uso de bambu como material alternativo para a execução de habitação de interesse social.** 2008. 15 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014.** 4ª edição. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

**Cidade da Índia mistura modernidade com arquitetura histórica.** 2018. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2018/12/11/cidade-da-india-mistura-modernidade-com-arquitetura-historica/>>. Acesso em: 28 maio 2019.

CECHELA, G. *A Evolução Do Concreto Estrutural.* São Paulo. Editora IBRACON, 2011

DAVID, P.L.D.; CAVERSAN, A.L.; PEREIRA, M.A.R. **Panorama da utilização do bambu na habitação.** 2012. 15 f. Monografia (Especialização) - Curso de Design, Unesp, Bauru, 2012.

KAEFER, Luiz Fernando. **Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos. A Evolução do Concreto Armado.** Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) USP, São Paulo, 1998.

LOSCHIAVO, R. **Simon Velez – Bambu.** 2014. Disponível em: <[http://www.ecoeficientes.com.br/simonvelezbambu/?fb\\_comment\\_id=521698857913874\\_675199142563844](http://www.ecoeficientes.com.br/simonvelezbambu/?fb_comment_id=521698857913874_675199142563844)>. Acesso em: 28 maio 2019.

MEIRELLES, C.R.M.; OSSE, V.C. **A utilização do bambu na arquitetura: as questões de conforto ambiental e estrutura.** 2010. 10 f.

MIRANDA, E. **Bambu é alternativa de renda na produção familiar.** 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34230725/bambu-e-alternativa-de-renda-na-producao-familiar>>. Acesso em: 28 maio 2019.

MOURA, C.R.; VALENTINA, L.V.O.D.; VIEIRA, A. **Processo de secagem de fibras de bambu para aplicação em reforço de matrizes.** In: 22ºCBECiMat- CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2016, Natal, p. 2730 - 2737.

PEREIRA, M.A.R. **Bambu: Características e Aplicações** UNESP, 2001, 58p.

RIBAS, R.P. **Bambu: Planta de Grande Potencial no Desenvolvimento Sustentável,** 2010, 16 f.

SIMÃO, P.S. **Desenvolvimento com sustentabilidade.** 2014. Disponível em: <[https://cbic.org.br/wpcontent/uploads/2017/11/Desenvolvimento\\_Com\\_Sustentabilidade\\_2014-1](https://cbic.org.br/wpcontent/uploads/2017/11/Desenvolvimento_Com_Sustentabilidade_2014-1)>. Acesso em: 10 abril 2019.

SOUZA, A.P.C.C. **Bambu na habitação de interesse social no Brasil.**2002. 29f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Puc Minas, Belo Horizonte, 2002.

VASCONCELOS, A.; ISAIA, G. C. Retrospectiva do concreto no Brasil. In: ISAIA, G. C. (Ed). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** V.1. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005. P. 45-74.

TATIBANA, R.M.; REIS, M.P.; BIANCHI, G. **Cidades Verdes: Bambu como matéria prima para construções sustentáveis.**Anap, v. 4, n. 10, 2016.

TEIXEIRA, A.A. **Painéis de bambu para habitações econômicas:Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa.**2006. 204 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília - Unb, Brasília, 2006.

ZAFFARI, V. **Arquitetura contemporânea em aeroportos.** 2012. Disponível em: <<http://verazaffari.com.br/blog/2012/06/arquitetura-contemporanea-em-aeroportos/>>. Acesso em: 20 maio 2019.

ROCHA, ANA. **Mestrado integrado em arquitetura**.2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/40369864-Mestrado-integrado-em-arquitetura-schinkel-e-o-desenho-da-cidade-de-berlim-ana-rita-forjaz-rocha-m2016.html>>. Acesso em 30 de maio de 2019.

## APÊNDICE A - Definição do traço

Cálculo de definição do traço de concreto.

Dados para a dosagem do concreto:

$F_{ck} = 20$  MPa       $Sd = 5,5$  MPa      abatimento  $90 \pm 10$  mm

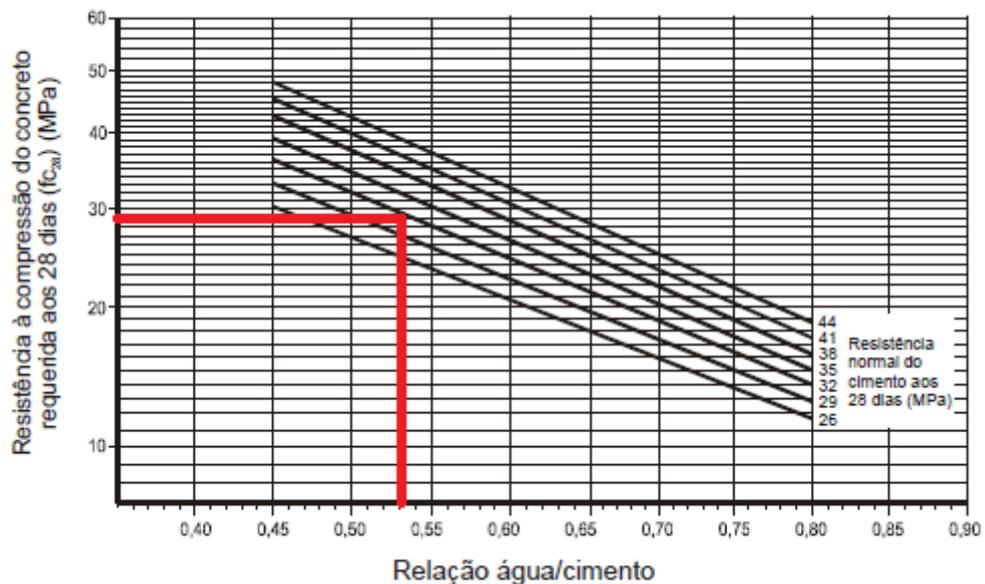
CP II E 32      MF = 2,62      diâmetro máximo da brita 0 = 9,5

	Cimento kg/m <sup>3</sup>	Areia kg/m <sup>3</sup>	Brita kg/m <sup>3</sup>
Massa específica	3100	2580	2810
Massa unitária	-	1510	1450

$$F_{cd} = F_{ck} + (1,65 * Sd)$$

$$F_{cd} = 20 + (1,65 * 5,5)$$

$$F_{cd} = 20,075 \text{ MPa}$$



Fixar  $a/c = 0,51$  – determinado pela relação entre  $F_{cd}$  e a resistência do cimento aos 28 dias.

Abatimento (mm)	Diâmetro máximo do agregado graúdo				
	9,50	19,00	25,00	32,00	38,00
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Água = 24 litros

## APÊNDICE B - Definição do traço

$$a/c = \frac{\text{água}}{\text{cimento}}$$

$$0,51 = \frac{24}{\text{cimento}}$$

$$\text{Cimento} = 47,05 \text{ kg}$$

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

$$\text{Massa brita} = 0,565 * \text{MU}$$

$$\text{Massa brita} = 0,565 * 1450$$

$$\text{Massa brita} = 819,25 \text{ kg}$$

$$\text{Massa areia} = 0,322 * \text{MU}$$

$$\text{Massa areia} = 0,322 * 2580$$

$$\text{Massa areia} = 830,76 \text{ kg}$$

$$\text{Areia} = 1 - \left( \frac{\text{massa cimento}}{\text{ME cimento}} + \frac{\text{massa areia}}{\text{ME areia}} + \frac{\text{massa água}}{\text{ME água}} \right)$$

$$\text{Areia} = 1 - \left( \frac{47,05}{3100} + \frac{864,45}{2810} + \frac{24}{1000} \right)$$

$$\text{Areia} = 0,347 \text{ m}^3$$

## APÊNDICE C - Traço do concreto

Resumo da quantidade:

Cimento: 47,05 kg

Areia: 830,76 kg

Brita: 819,25 kg

Água: 240 kg

Traço do concreto:

1:1,84:2,58:0,52

Cimento: 47 kg

Areia: 86,48 kg

Brita: 121,25 kg

Água: 24,45 L

## APÊNDICE D - Ensaio de compressão axial em cp cilíndricos



### NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** Concreto  
**Tipo de ensaio:** Compressão Axial  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 15/07/2019

#### Dados Complementares

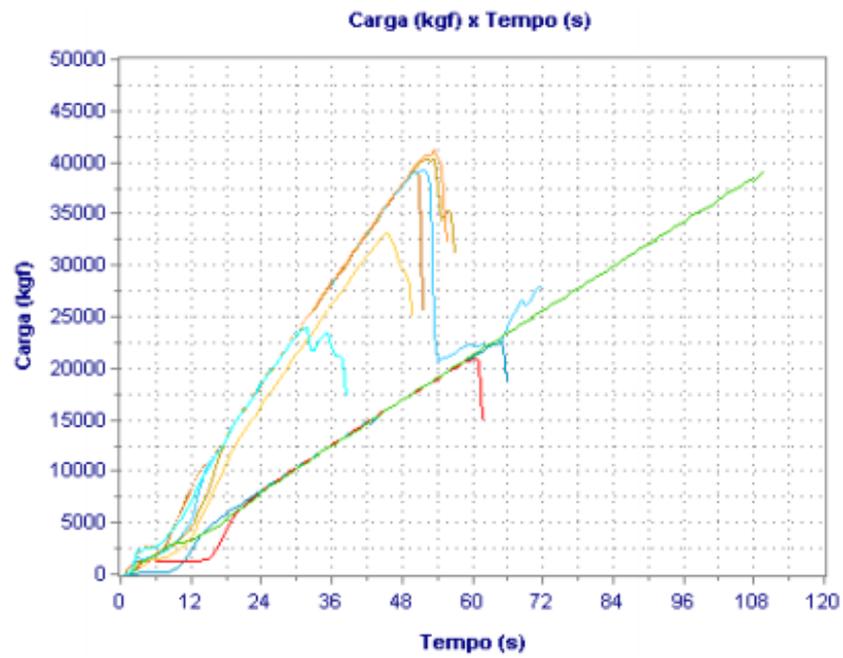
**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	28	28,1 (MPa)	22.480 (kgf)	
02	28	26,1 (MPa)	20.880 (kgf)	
Aço 01	28	22,4 (MPa)	40.310 (kgf)	
Aço 02	28	21,7 (MPa)	39.100 (kgf)	
Aço 03	28	21,7 (MPa)	39.170 (kgf)	
Aço 04	28	49,1 (MPa)	39.350 (kgf)	
Bambu 01	28	18,3 (MPa)	33.060 (kgf)	
Bambu 02	28	22,8 (MPa)	41.110 (kgf)	
Bambu 03	28	14,9 (MPa)	26.830 (kgf)	
Bambu 04	28	13,3 (MPa)	23.930 (kgf)	

## APÊNDICE E – Gráfico do resultado do ensaio em cp cilíndricos

## Gráfico dos Ensaio



## APÊNDICE F - Ensaio de tração na flexão em cp prismáticos



### NBR 12142 - Determinação da resistência à tração na flexão em cp prismático

#### Dados Cadastrais da Amostra

**Amostra:** Concreto/ Bambu  
**Tipo de ensaio:** Tração na Flexão - Prismático  
**Cliente:**  
**Responsável:**  
**Data de Moldagem:** 15/07/2019

#### Dados Complementares

**Tensão ruptura prevista:**  
**Distância fixação extensômetros:**

#### Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
Aço 01	28	1,1 (MPa)	7.580 (kgf)	
Aço 02	28	1,0 (MPa)	7.110 (kgf)	
Bambu 01	28	0,7 (MPa)	4.740 (kgf)	
Bambu 02	28	0,5 (MPa)	3.690 (kgf)	

## APÊNDICE G - Gráfico do resultado do ensaio em cp prismáticos

## Gráfico dos Ensaio

