UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

VITOR HUGO SILVA MARÇAL

ORIENTADOR: ANDRÉ LUIZ AQUERE DE CERQUEIRA E SOUZA CO-ORIENTADOR : LUCIANO MENDES BEZERRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA / DF: JANEIRO / 2011

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

VITOR HUGO SILVA MARÇAL

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:
André Luiz Aquere, Doutor (ENC - UnB) (ORIENTADOR)
Luciano Mendes Bezerra, Doutor (ENC-UnB) (CO-ORIENTADOR)
Cláudia Márcia Coutinho Gurjão, Doutora (ENC - UnB) (EXAMINADOR INTERNO)
Alexandre Florian da Costa, Doutor (UFL-UnB) (EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 31 de JANEIRO de 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

MARÇAL, VITOR HUGO SILVA

Uso do bambu na construção civil – Ensaio de corpos de prova a compressão da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus*, sistemas conectivos e patologias em estruturas de bambu. [Distrito Federal] 2011.

xii, 62 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2011)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Bambu 2. Dendrocalamus giganteus

3. Bamboo4. PatologiasI. ENC/FT/UnBII. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARÇAL, V.H. (2011). Uso do bambu na construção civil – Ensaio de corpos de prova a compressão da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus*. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-001/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 62 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Vitor Hugo Silva Marçal

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Uso do bambu na construção civil — Ensaio de corpos de prova a compressão da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2011

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Vitor Hugo Silva Marcal

Vitor Hugo Silva Marçal

71510-140 - Brasília/DF - Brasil

vitormarcal@projetobambu.com

RESUMO

Devido ao constante crescimento de um pensamento sustentável e uma aparente economia, a utilização de materiais não convencionais na construção civil se torna cada vez maior. Um grande número de construções vem sendo desenvolvidas com técnicas que utilizam elementos naturais com funções estruturais e arquitetônicas. Na maioria das vezes esses sistemas já são usados a muito mais tempo do que as "convencionais" formas de construção - que são relativamente novas para o tempo em que os seres humanos ocupam e estabelecem moradias fixas no planeta.

Contudo o uso do cimento e do aço recebeu uma grande atenção por parte dos pesquisadores e estudiosos durante essas últimas décadas. Por esse motivo, as características físico-mecânicas destes elementos podem ser facilmente estipuladas e manipuladas, de forma a oferecer maior segurança nas construções. Mesmo com tantas características positivas, não é difícil perceber que o processo de extração e beneficiamento destes materiais causa danos, muitas vezes irreparáveis ao meio ambiente. E até mesmo os materiais renováveis, como a madeira, se tornam cada vez mais caros e difíceis de conseguir.

O uso do bambu surge como uma possível solução para o desenvolvimento de "novos" sistemas estruturais, substituindo alguns elementos no processo construtivo atual. A utilização do bambu não é nenhuma idéia inovadora - o mesmo já foi utilizado por diferentes culturas antigas para produção de ferramentas, mobiliário, moradias, etc. Sua utilização atual é bastante significativa, sendo em alguns países utilizada de forma normatizada na construção civil. Outro fator importante é a industrialização do bambu que aumenta as possibilidades do seu uso, gerando produtos de excelente qualidade.

Existem alguns fatores que dificultam a utilização desta gramínea na construção civil. Podemos citar a falta de acesso à material de qualidade, falta de incentivo por parte do governo, falta de mão de obra especializada. Todavia um dos maiores problemas é a falta de parâmetros de cálculo para que essas obras possam ser regulamentadas e, desta forma, possam ser melhor projetadas e desenvolvidas pelos profissionais responsáveis.

O presente trabalho tenta demonstrar o potencial estrutural do bambu, reunindo informações sobre testes físico-mecânicos da espécie *Dendrocalamus giganteus*, como valores de compressão. Outro ponto importante se refere aos sistemas conectivos, alguns serão apresentados e testados.

As patologias encontradas em estruturas de bambu também serão abordadas, desta forma é possível observar alguns problemas ocorrentes e possíveis formas de evitá-los durante o processo construtivo. Para um melhor entendimento recomenda-se a leitura da <u>parte 1</u> do presente Projeto Final disponível no site <u>WWW.PROJETOBAMBU.COM</u>.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	9
1.1 – JUSTIFICATIVA	9
1.2 – REVISÃO DE LITERATURA	12
1.3 – MATERIAIS E MÉTODOS	
2. METODOLOGIA	10
2 - METODOLOGIA	19
2.1 – SELEÇÃO DE MATERIAL	19
2.2 – COLETA E PREPARO DO MATERIAL	19
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4 - SISTEMAS CONECTIVOS	39
5 - PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE BAMBU	48
	то
6 – CONCLUSÃO	61
0 - CONCLUSAO	01
7 DIDLIOCDATIA DECOMENDADA	(0
7 – BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	62
8 – ANEXOS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Norma Colombiana de construção com bambu	10
Figura 1.2. Colmos de Dendrocalamus giganteus	11
Figura 1.3. Touceira de Dendrocalamus giganteus	11
Figura 1.4. Desenho esquemático do crescimento de um broto de bambu (Hidalgo López, 2003)	13
Figura 1.5. Touceira de 12 anos	13
Figura 1.6. Touceira de 3 anos	13
Figura 1.7. Brotos de Dendrocalamus giganteus	15
Figura 1.8. Bainhas ou folhas caulinares	15
Figura 1.9. Aparência de colmos imaturos ou jovens	16
Figura 1.10. Copa de uma touceira de <i>Dendrocalamus giganteus</i> de 3 anos	16
Figura 1.11. Foto da parte basal da touceira extraída	17
Figura 1.12. Aparência de um colmo mais antigo	17
Figura 2.1. Varas selecionadas para os ensaios	19
Figura 2.2. Modelo do processo de confecção dos corpos de prova	20
Figura 2.3 . Lixadeira circular de bancada usada para acabamento dos corpos de prova	21
Figura 3.4. Máquina utilizada para os ensaios de compressão	22
Figura 2.5. Medidor de umidade Minipa	22
Figura 2.6. Paquímetro digital	23
Figura 2.7. Locais de medição de diâmetro e espessura nos corpos de prova	23
Figura 4.1 . Sistema de conexão boca de pescado.(LOPEZ, 1998)	39
Figura 4.2 . peça soldada a barra roscada (boca de pescado)	40
Figura 4.3 . Estrutura de 200 m² com conexões metálicas	41
Figura 4.4 .Vista interna da estrutura de bambu e conexões metálicas	41
Figura 4.5 . Conexões utilizadas na estrutura	42
Figura 4.6.Conexões mais usadas na estrutura	42
Figura 4.7. Gabarito e sistema de união da conexão ao bambu	43
Figura 4.8. Ripas de bambu usadas para acabamento das conexões	43
Figura 4.9. Acabamento com cola branca e serragem	43
Figura 4.10.Ensaio de tração na peça	44
Figuras 4.11. Aparência da peça após o ensaio	45
Figuras 4.12. Aparência da peça após o ensaio	45
Figura 4.13. Ferragens do lado que falhou da peça testada	45
Figura 4.14. Ferragens do lado que não falhou da peça testada	46
Figura 4.15. Bambu após o teste da peça	46
Figura 5.1. Esmagamento ou compressão perpendicular as fibras	49
Figura 5.2. Retração devido a perda de umidade	50
Figura 5.3. Fissura por acomodação entre peças.	50
Figura 5.4. Fissuras ocasionadas pelos orifícios feitos para o tratamento das varas de bambu	51

Figura 5.5. Pó produzido pelo ataque de insetos <i>Dinoderus minutos</i> ao bambu	52
Figura 5.6. Ataque de insetos ao bambu	52
Figura 5.7. Ataque de insetos Dinoderus minutos	53
Figura 5.8. Ataque de insetos Dinoderus minutos	53
Figura 5.9. Patologia causada pela incidência solar e umidade	54
Figura 5.10. Patologias causadas pela incidência solar e umidade	55
Figura 5.11. Patologias causadas pela incidência solar e umidade	55
Figura 5.12. Comparação entre bambu protegido e exposto a intempéries	55
Figura 5.13. Patologias causadas na ligação bambu – fundação	56
Figura 5.14. Patologias causadas na ligação bambu – fundação	56
Figura 5.15. Patologias causadas na ligação bambu – fundação	57
Figura 5.16. Patologias causadas na ligação bambu – fundação	57
Figura 5.17. Deformação das peças de telhado por flexão	58
Figura 5.18. Flecha causada pelo peso do telhado	58
Figura 5.19. Folga do sistema conectivo.	59
Figura 5.20. Patologia no sistema conectivo	59
Figura 5.21. Patologias no sistema conectivo	59
Figura 5.22. Mofo e manchas em esterilhas de bambu	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Verde / 0 – 3 anos)	26
Gráfico 3.2. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Azul / 3 – 6 anos)	26
Gráfico 3.3. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Amarelo / 6 – 9 anos)	27
Gráfico 3.4. Posição em relação ao colmo X Carga máxima	28
Gráfico 3.5. Posição em relação ao colmo X Áreas úteis	29
Gráfico 3.6. Posição em relação ao colmo X Tensão máxima	30
Gráfico 3.7. Posição em relação ao colmo X Teor de umidade	32
Gráfico 3.8. Posição em relação ao colmo X Densidade	33
Gráfico 3.9. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Verde com nó / 0 – 3 anos)	34
Gráfico 3.10. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Azul com nó / 3 – 6 anos)	34
Gráfico 3.11. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Amarelo com nó / 6 – 9 anos)	35
Gráfico 3.12. Posição em relação ao colmo X Carga máxima (corpos de prova com nó)	35
Gráfico 3.13. Posição em relação ao colmo X Áreas úteis (corpos de prova com nó)	36
Gráfico 3.14. Posição em relação ao colmo X Tensão máxima (corpos de prova com nó)	36
Gráfico 3.15. Posição em relação ao colmo X Teor de umidade (corpos de prova com nó)	37
Gráfico 3.16. Posição em relação ao colmo X Densidade (corpos de prova com nó)	37

1 – INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Desde que comecei o curso de engenharia civil na Universidade de Brasília senti falta de um aprofundamento em conceitos mais "naturais", ou seja, não tinha contato com técnicas não convencionais de construção. Todo o aprendizado é focado na utilização de materiais que são a "fundação" da construção civil atual - concreto e aço. Não nego que os mesmos sejam imprescindíveis para o desenvolvimento dos processos atuais de construção, mas isto não impede que o ensinamento de conceitos como sustentabilidade na construção e o aproveitamento de recursos renováveis sejam considerados matérias pertinentes ao currículo dos profissionais de engenharia civil. E por mais que tentasse continuar minha formação somente com o currículo oferecido ainda tinha um vazio interior que me deixava perdido no contexto geral.

Ao fazer uma pesquisa sobre artesanatos de bambu na internet tive meu primeiro contato com uma estrutura de bambu, muito rústica porém imensamente interessante, a partir deste momento comecei uma intensa busca por informações sobre bambu. E para minha surpresa existia sim muita informação sobre ele, como planta e como material de construção. Informações sobre os processos de extração, beneficiamento, características físico-mecânicas, tudo ali disponível para quem tivesse interesse em aprender. Claro que algumas não tinham aprofundamento técnico, mas mostravam de forma clara o potencial deste material. Com o passar dos anos fui observando que mais pessoas estavam desenvolvendo seus projetos finais, teses de mestrado e doutorado sobre bambu, e mesmo assim nada se ouvia na universidade. Tive o prazer de fazer alguns cursos no Brasil e na Colômbia sobre a utilização do bambu na construção e desta forma pude entender o porquê.

Por mais crescente que fosse o conhecimento sobre o bambu, o processo para transformá-lo em material de construção depende de muitos fatores como: sistemas de plantio comerciais, um adequado sistema de beneficiamento que garanta as propriedades desejadas, desenvolvimento de normas que regulamentem a utilização deste recurso altamente renovável, entre outros. E sem estes processos desenvolvidos não há interesse por difundir sua utilização. Contudo já existe um mercado para este sistema construtivo, e a falta de conhecimento faz com que muitas estruturas sejam desenvolvidas com bambus imaturos, cortados e utilizados de forma equivocada. Trazendo uma falsa idéia de que estruturas de bambu não podem ser consideradas sistemas de construção, e que não possuem durabilidade e resistência para serem usados com função estrutural.

Como citei anteriormente, passei algum tempo na Colômbia e durante 21 dias estive cursando na Universidade tecnológica de Pereira um diplomado em gestão integrada de *Guadua angustifolia* — espécie de bambu nativo colombiano. E durante este tempo pude observar que nosso conhecimento sobre as características e potencial do bambu é pouco explorado. Lá existem pesquisas e testes sendo realizados por universidades, empresas particulares e órgãos governamentais para comprovar que o bambu possui características para ser considerado material de construção. A forma mais clara de provar isto é citando a nova norma NSR — 10, que normatiza construções que possuam bambu com função estrutural na Colômbia.

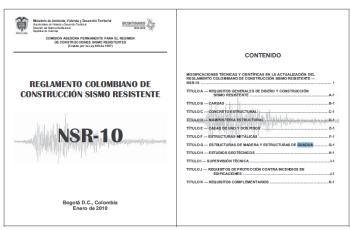


Figura 1.1. Norma Colombiana de construção com bambu

Outro ponto importante sobre esta viagem que gostaria de citar foi a presença maciça de estruturas que possuíam bambu com função estrutural espalhadas por todo pais. Elas variavam desde pequenas estruturas de quiosques, coberturas e garagens até construções residenciais de mais de dois pavimentos. Na maior parte das estruturas que tive acesso observei e procurei por patologias aparentes, as quais citarei posteriormente, e na grande maioria não observei danos irreparáveis ou patologias estruturais graves. Pude observar estruturas recém produzidas e estruturas de quase 100 anos de idade, muitas estavam situadas em uma região na qual há 10 anos havia ocorrido um terremoto que causou uma destruição quase que total das construções ali presentes. Contudo essas estruturas de bambu haviam apenas perdido as telhas cerâmicas e desenvolvido fissuras em algumas peças, que foram reparadas ou substituídas pelos proprietários. Não posso afirmar que todas as estruturas de bambu ficaram de pé, porém todas as que tive o prazer de conhecer e conversar como os proprietários foram facilmente recuperadas. Outro ponto importante foi a reconstrução dessas casas que tiveram em muitos casos a utilização de bambu como elemento estrutural principal e estavam até minha visita muito bem estabelecidas.

Um dos maiores problemas encontrados por quem trabalha com bambu no Brasil é a falta de fornecedores de material de qualidade. A maioria das obras é realizada com bambus recém cortados e muitas vezes sem tratamentos corretos ou processos de secagem adequados. O tratamento é primordial para garantir uma vida útil da estrutura contra fungos e insetos. Já um adequado processo de secagem evita o aparecimento de fissuras, pois grande parte delas ocorre pela perda de umidade durante a secagem. Como em qualquer madeira o percentual de umidade do bambu deve ser reduzido de forma progressiva e controlada até um valor ideal, desta forma, grande parte da água presente no material é extraída, permitindo que o bambu possa ser comercializado e exportado sem sofrer de forma comprometedora durante a troca de ambiente. Para desenvolver uma tecnologia que permita realizar este processo de beneficiamento é necessário um grande investimento por parte dos produtores, que acarreta em um aumento do valor do bambu no mercado. Acredito que novas leis de incentivo ao plantio e ao beneficiamento do bambu possam tornar possível este desenvolvimento e finalmente tornar real o comércio de bambus de qualidade no Brasil.

1.2 Revisão de literatura

Existem hoje mais de 1250 espécies de bambu identificados, cada qual com características próprias, sendo que algumas possuem potencial para serem utilizadas na construção civil. No presente trabalho a espécie utilizada é a *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante), bambu originário do sudeste da Ásia, com alturas máximas de colmo de 30 metros e diâmetros máximos de 30 cm. No centro-oeste a época de rebrota acontece no começo do ano entre Janeiro e Abril.



Figura 1.2. Colmos de Dendrocalamus giganteus



Figura 1.3. Touceira de Dendrocalamus giganteus

O sistema de crescimento do bambu desde o plantio de uma muda pode ser representado, "resumidamente", da seguinte forma:

Após o plantio a muda necessita de um tempo de adaptação ao solo e ao local, durante este processo há desenvolvimento do sistema radicular (raízes) e aparecimento de mais folhas e galhos. Anualmente, em cada época de rebrota, surgem novos brotos do chão que em curto espaço de tempo (até 12 meses) crescem até a altura total do colmo de bambu e posteriormente vão desenvolvendo galhos e folhas. Os diâmetros e a altura vão aumentando a cada ano, até a touceira atingir propriedades da planta adulta (Pereira, 2003), modificando pouco o diâmetro dos novos brotos, que podem variar um pouco de acordo com a quantidade de chuva e sol disponível durante o ano. Vale comentar também que ao sair do solo o broto de bambu já possui diâmetro bem próximo ao máximo diâmetro que aquele colmo irá apresentar, já que o crescimento do bambu ocorre de forma "telescópica", como uma antena. Podemos fazer uma analogia ao lançamento de um foguete, em que tudo é preparado e estocado e de uma hora pra outra ocorre um progressivo aumento de altura. O desenvolvimento dos galhos ocorre da mesma forma, as gemas presentes em cada nó possuem propriedade de produzir um novo "broto" que crescerá da mesma forma telescópica e dará origem a um galho, que terá o mesmo ciclo e dará origem a um galho secundário ou folhas. Podemos concluir que a cada ano que passa maior é a produção da touceira.

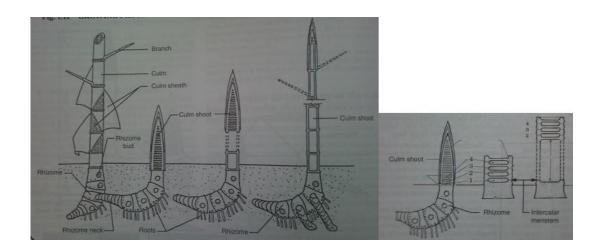


Figura 1.4. Desenho esquemático do crescimento de um broto de bambu (Hidalgo López, 2003)

Existem algumas características que podem nos auxiliar a estipular a idade de um colmo:

• Presença de proteção caulinar ou bainha caulinar – Para tornar possível o sistema de crescimento tão rápido do bambu o mesmo possui uma proteção durante os primeiros meses de vida, que aparenta uma folha protetora em torno de todo colmo, servindo como uma armadura, dura e cheia de pequenos "pêlos" urticantes (Figuras 1.7 e 1.8). A mesma é descartada quando o bambu já possui propriedades físicas para suportar os esforços por si só. Na touceira em questão existiam poucos bambus com estas características.



Figura 1.7. Brotos de *Dendrocalamus giganteus*



Figura 1.8. Bainhas ou folhas caulinares

• Após a queda da proteção caulinar o bambu ainda está bastante imaturo e necessita de proteções contra possíveis predadores, por esta razão a textura do mesmo ainda é áspera (figura 1.9), como se estivesse coberto por "pêlos". Que como os da proteção anterior também são urticantes. A tonalidade de bambus imaturos também é bastante singular, uma tonalidade mais viva, brilhante, como se o bambu fora recentemente limpo e encerado.



Figura 1.9. Aparência de colmos imaturos ou jovens

• Bambus mais novos podem ser caracterizados pela pouca presença de galhos, já que os mesmos se desenvolvem com passar do tempo (Figura 1.10). Ou seja, uma boa maneira de estipular a idade de um bambu seria pela quantidade de galhos secundários. Vale lembrar que bambus muito antigos também podem apresentar poucos galhos, já que os mesmos podem ter caído pela ação do vento, contudo é possível perceber as marcas deixadas onde existia a gema originária dos galhos.



Figura 1.10. Copa de uma touceira de Dendrocalamus giganteus de 3 anos

• Em uma touceira existem vários colmos de bambus, e quanto maior o tempo que um colmo esta na touceira maior é a presença de fungos, manchas, marcas deixadas pelo atrito com outras varas e manchas de incidência de chuva e sol (figura 1.12). Podemos presumir que quanto mais "suja" ou cheia de manchas for a vara maior é sua idade.



Figura 1.11. Foto da parte basal da touceira extraída



Figura 1.12 . Aparência de um colmo mais antigo.

1.3 Materiais e métodos

A escolha da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* se deve a alguns fatores; é o bambu mais usado no centro – oeste brasileiro, já que existem várias touceiras espalhadas por diversas propriedades rurais locais. Suas propriedades físico-mecânicas são muito boas - possibilitando seu uso como pilar, vigas e peças de cobertura, além de possuir diâmetro e espessura de parede que possibilitam o uso de peças individuais em estruturas de maior porte. Outra característica importante é o fato de possuir sistema de rizoma paquimorfo, ou seja, cresce em touceiras, facilmente controladas e delimitadas. Somado a uma alta produção de biomassa estas características acima citadas fazem deste um excelente bambu para produção comercial.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas varas colhidas durante o

mês de Maio de 2010, próximo a região de Luziânia - Goiás. Por decisão do proprietário do terreno foi feito um corte raso, ou extração total, das varas em um dos bambuzais que se situava entre duas casas, e oferecia riscos aos moradores. Para o desenvolvimento deste processo foram usados moto-serra, sistemas de polia e muita corda. O bambuzal em questão possuía em torno de 12 anos desde plantado, pelo dono do terreno, e todos os brotos do ano de 2010 haviam sido impedidos de progredir seu crescimento. Observando alguns bambuzais próximos que haviam sido plantados em torno de três anos antes da data em que ocorreu o corte, e as mudas haviam sido retiradas do mesmo bambuzal anteriormente especificado. Observou-se que as varas possuíam diâmetros bem próximos aos menores diâmetros dos bambus presentes na touceira a ser cortada. Logo podemos pensar que os bambus que seriam cortados possuíam idade máxima de até nove anos, e idade mínima de 1 ano. Em conversa com o caseiro do terreno foi verificado que a touceira recebia frequentes manejos para limpeza, corte de varas maduras e produção de novas mudas.

Para tornar o processo mais sustentável, foram produzidos durante a extração vários subprodutos como: Varas de bambu com 6 metros de comprimento, sendo cada colmo dividido em pelos menos duas varas. Produção de mudas com as galhadas presentes no 1/3 final superior de cada colmo, limpeza e separação da parte de cada galhada que não foi utilizada para o desenvolvimento da muda e um volume muito grande de folhas que caiam ou eram separadas das galhadas.



Figura 1.5. Touceira de 12 anos



Figura 1.6. Touceira de 3 anos

As varas foram estocadas próximas ao local de extração e ali ficaram por 20 dias, esperando o transporte. No final de cada dia trabalhado uma solução de óleo queimado de motor e octoborato tetrahidratado dissódico era pincelado nas pontas recém cortadas, o intuito de tal procedimento era dificultar ou tornar menos agradável a presença de insetos nessas pontas, que juntamente com os nós são os locais de maior introdução desses possíveis agentes patológicos. Cada entre nó foi furado com uma broca fina, e introduzido uma solução de DDVP, Cipermetrina e Octoborato tetrahidratado dissódico com o uso de uma bomba disponível em casas agropecuárias. O bambu foi então rotacionado para que a solução impregnasse toda a parte interna. Finalmente as peças foram transportadas e estocadas em local coberto e bem ventilado.

Essas varas foram então separadas em 3 grupos usando como referência as características que foram citadas anteriormente:

- Varas com idade estimadas entre 0 3 anos
- Varas com idade estimadas entre 3 6 anos
- Varas com idade estimadas entre 6 9 anos

2 - METODOLOGIA

2.1 Seleção do material

Foram selecionadas três varas de 6 metros da parte basal do bambu *Dendrocalamus* giganteus (bambu gigante) de forma que os mesmos fossem divididos em 3 grupos:

- 1 Vara com idade estipulada entre 0 3 anos (verde)
- 1 Vara com idade estipulada entre 3 6 anos (Azul)
- 1 Vara com idade estipulada entre 6 9 anos (Amarelo)



Figura 2.1. Varas selecionadas para os ensaios.

2.2 Coleta e preparo do material

Cada uma dessas varas foi numerada desde o primeiro entrenó até o último e pintadas com uma pequena mancha de cores diferentes para uma melhor diferenciação. Os corpos de prova foram retirados seguindo recomendação da norma colombiana NTC5525, possuindo altura próxima a duas vezes o diâmetro externo. Como a altura do entrenó aumenta desde a base até o topo das varas ensaiadas de bambu, os corpos de prova dos primeiros entrenós possuíam altura menor que a recomendada. Durante a retirada dos corpos de provas dos entrenós superiores foi possível também confeccionar corpos de prova que possuíam um nó próximo a parte central do mesmo (figura 2.2).

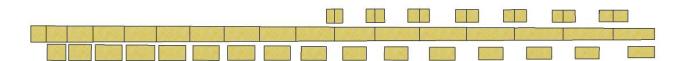


Figura 2.2. Modelo do processo de confecção dos corpos de prova.

O primeiro processo de corte foi feito com o uso de usa serra circular de mão, resultando em peças com tamanho médio, que foram acabadas no laboratório do CPAB/ UnB (Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais).

Para o acabamento dos corpos de provas foi necessário o uso dos seguintes equipamentos:

- Serra fita de bancada.
- Lixa circular de bancada (figura 2.3)
- Prumo para garantir um correto paralelismo entre as faces.

Durante o corte dos corpos de prova na serra fita não foi possível fazer com que as faces tivessem paralelismo satisfatório. Por esta razão foi necessário lixar essas faces com uma lixadeira circular de bancada, para obter um paralelismo mais adequado ao estipulado pela norma NTC5525, que normatiza que as faces devem ser planas com um desvio máximo de 0,2 mm.



Figura 2.3. Lixadeira circular de bancada usada para acabamento dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram divididos em três grupos, o intuito era que os mesmo fossem confeccionados no máximo um dia antes de serem ensaiados. Os corpos de prova foram guardados em sacos plásticos, desta forma a perda de umidade foi amenizada. Alguns corpos de provas estavam rachados ou acabaram rachando pela perda de umidade e fissuras menores pré existentes que acabaram aumentando. Por esta razão alguns deles foram descartados.

Os ensaios de compressão foram realizados no laboratório de tecnologia da madeira do departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. Os seguintes equipamentos foram utilizados para medição, pesagem e ensaio à compressão dos corpos de prova.

 Máquina para ensaio à compressão utilizada foi uma EMIC - DR 3000 com capacidade máxima de 300 KN (figura 3.4).



Figura 3.4. Máquina utilizada para os ensaios de compressão.

 Para a medição do percentual de umidade foi utilizado um medidor de umidade de madeira da marca Minipa, modelo MWD – 14 (figura 2.5)



Figura 2.5. Medidor de umidade Minipa.

- Para a pesagem dos corpos de prova foi utilizada uma balança digital Marconi As
 2000c. Peso máximo = 2000g e mínimo = 0,5g, erro = 0,1 g.
- Para a medição dos diâmetros e espessura dos corpos de prova foi utilizado um paquímetro digital 6 (figura 2.6).



Figura 2.6. Paquímetro digital.

Como a maior parte dos corpos de prova possuía forma e espessuras irregulares (figura 2.7), foi utilizada uma forma de cálculo sugerida pela norma NTC5525. Os diâmetros externos foram medidos duas vezes em direções perpendiculares entre si, sendo usado o valor médio dessas medidas. A espessura foi medida quatro vezes, nos mesmos lugares onde foram feitas as medidas de diâmetro, sendo usado o valor médio entre elas para cálculo do diâmetro interno.



Figura 2.7. Locais de medição de diâmetro e espessura nos corpos de prova.

O diâmetro interno foi calculado pela seguinte expressão:

DI = Diâmetro externo – (2 X espessura média)

A área usada para o cálculo de tensões foi calculada pela seguinte expressão:

Área útil = Área do circulo com diâmetro externo – Área do circulo com diâmetro interno

Área útil = $(3,14 \text{ x (raio externo})^2)$ - $(3,14 \text{ x (raio interno })^2)$

Os corpos de prova foram ensaiados individualmente. O equipamento de medição de deformação foi instalado e posteriormente o CP foi levado para a máquina de ensaio. Inicialmente foi aplicado a força de 1 KN para acomodação do corpo de prova. O equipamento foi ajustado para que a parte móvel da máquina se movimentasse com velocidade de 0,01 mm/s durante o ensaio. O ensaio foi realizado até o rompimento do corpo de prova ou até o limite de carga ao qual a máquina podia exercer (300 KN).

Foi utilizado o software Tesc versão 3.04 durante os ensaios, desta forma os valores foram facilmente armazenados e calculados diretamente pelo computador durante o tempo em que foi realizado o ensaio. Foram gerados gráficos e tabelas que facilitaram uma melhor interpretação dos resultados obtidos.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como a máquina utilizada para os ensaios tinha limite de 300 KN de carga aplicável, alguns corpos de prova não chegaram a romper. Por esta razão alguns valores reais não foram atingidos. Os resultados encontrados serão demonstrados e analisados de forma a uma melhor interpretação dos dados.

Inicialmente serão apresentados gráficos separados por idade que relacionam a posição do corpo de prova no colmo utilizado e valores obtidos durante os testes: Carga máxima, área e tensão máxima.

Desta forma foi possível visualizar algumas características do colmo de bambu como:

- Aumento de área útil desde o topo até a base do colmo.
- "Carga máxima" de ruptura de cada corpo de prova.
- Tensão máxima "calculada" de cada corpo de prova.

Os valores encontrados para as tensões em cada corpo de prova podem expressar resultados errôneos, já que em alguns casos o valor máximo aplicado não coincide com o valor máximo ao qual o corpo de prova resistiria. Desta forma os valores de carga são quase que constantes e as áreas variaram, causando uma diminuição dos valores encontrados em alguns corpos de prova mais próximos da base e com maiores áreas. Contudo estes valores, se calculados com a carga máxima real, seriam maiores que os encontrados. Nos casos em que os valores estavam muito afastados da média foi usado o bom senso para descartá-los em análises de máximo e mínimo.

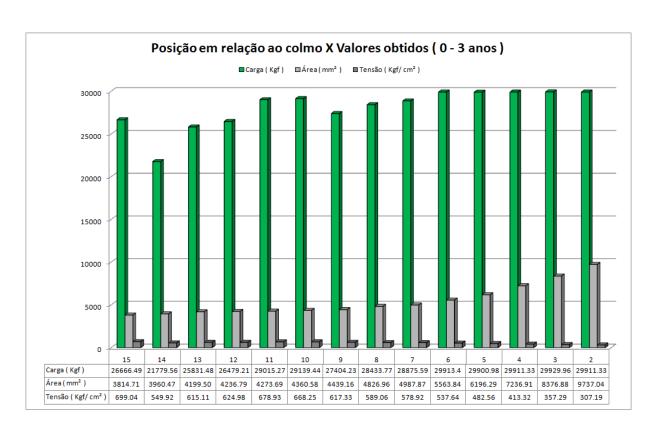


Gráfico 3.1. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Verde / 0 – 3 anos)

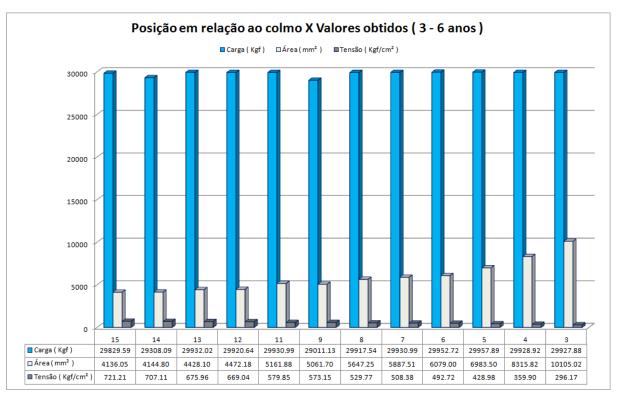


Gráfico 3.2. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Azul / 3 - 6 anos)

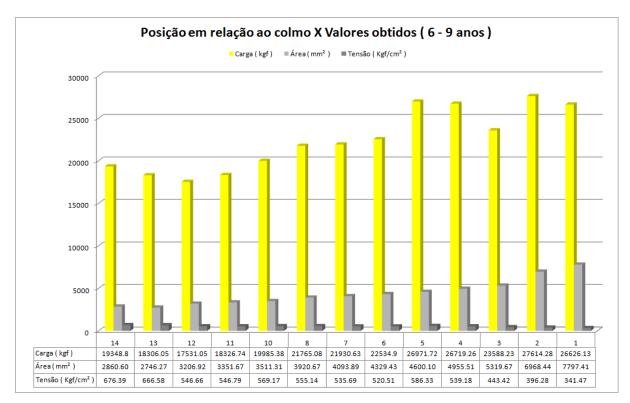


Gráfico 3.3. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Amarelo / 6 – 9 anos)

Uma primeira análise que poderíamos fazer seriam as cargas máximas obtidas em corpos de prova de diferentes idades, localizados em entrenós similares. Esta poderia ser uma forma de observarmos como a idade e localização influenciam na resistência do bambu e quais os valores máximos de carga obtidos em todos os ensaios.

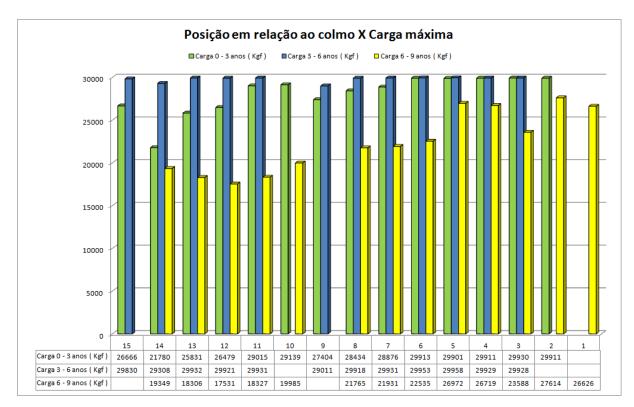


Gráfico 3.4. Posição em relação ao colmo X Carga máxima

Ao observarmos os resultados notamos que os valores para os corpos de prova mais antigos apresentam um resultado menor. Em um primeiro momento poderíamos pensar que as resistências diminuem com o passar do tempo ou que as partes localizadas mais longe do chão são menos resistentes. Porém a carga máxima esta diretamente relacionada a um fator muito importante que não é levado em consideração neste gráfico, a área útil dos corpos de prova. Quanto maior for a área útil do corpo de prova, teoricamente, maior é a carga a qual ele irá resistir. O gráfico abaixo representa as áreas úteis de corpos de prova de idades diferentes, localizados em entrenós similares.

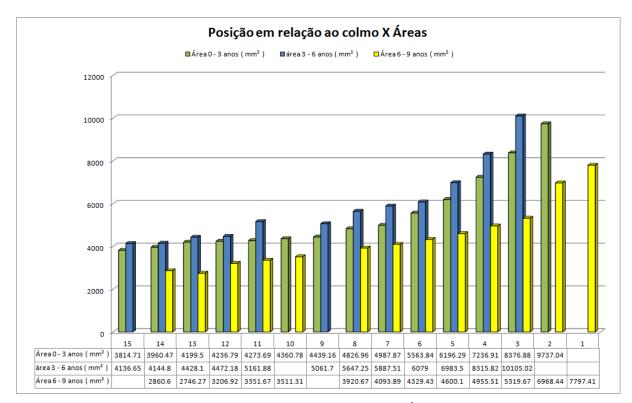


Gráfico 3.5. Posição em relação ao colmo X Áreas úteis

Ao observarmos as áreas dos corpos de prova utilizados é notável a diferença entre elas. Por esta razão os valores de carga máxima não podem ser utilizados como parâmetro para compararmos as resistências em relação a idade ou localização no colmo. O gráfico 3.5 também demonstra como as áreas sofrem alterações em cada entrenó, podendo em alguns casos não seguir a tendência de diminuição desde a base até o topo. Por exemplo, no caso do corpo de prova azul 11 que apresenta uma área maior que o corpo de prova posterior e anterior a ele.

Uma boa forma de comparar os resultados obtidos seria pela tensão máxima que cada corpo de prova resistiu. Este valor é calculado pelo produto da carga máxima pela área de cada corpo de prova.

Tensão máxima = (Carga máxima / área útil)

Desta forma todos os valores seriam levados a um mesmo "parâmetro", que correlacionaria as cargas e as áreas. Podendo desta forma comparar os resultados entre diferentes corpos de prova com diferentes características. O gráfico abaixo representa as tensões calculadas para corpos de prova de idades diferentes, localizados em entrenós similares.

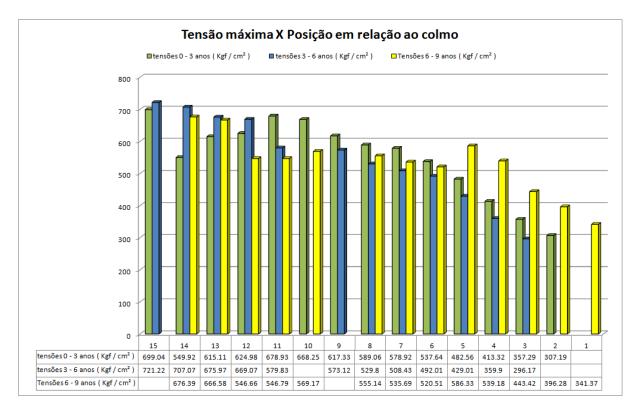


Gráfico 3.6. Posição em relação ao colmo X Tensão máxima

Este gráfico pode nos fornecer muitas informações importantes, porém é necessário analisá-lo com cautela. Por esta razão iremos separar esta análise por idades, utilizando todas as informações obtidas nos gráficos anteriormente citados.

• Grupo Verde (0-3 anos)

Se olharmos com atenção o gráfico 3.1 iremos reparar que os corpo de prova até o sexto entrenó atingiram a carga máxima da máquina e não romperam. Desta forma os resultados obtidos para o cálculo de tensão máxima são menores do que realmente seriam. Esses resultados ainda são afetados pelo aumento de área dos corpos de prova anteriormente citados à medida que os mesmo se aproximam do primeiro entrenó.

Logo podemos estimar que os resultados das tensões até o sexto corpo de prova do grupo verde sofreriam um aumento de valores, já que a área tende a ser maior a medida que o CP esta mais próximo a base e a carga máxima que a máquina exerce sobre os CPs permanece quase a mesma.

• Grupo Azul (3 – 6 anos)

Se olharmos com atenção o gráfico 3.2 iremos reparar que apenas os corpos de prova 9 (que apresentava fissura antes do ensaio) e 14 romperam, os demais atingiram a carga máxima. Desta forma os resultados obtidos para o cálculo de tensão máxima são menores do que realmente seriam. Esses resultados ainda são afetados pelo aumento da área á medida que os mesmos se aproximam do primeiro entrenó. Outro ponto que merece atenção são as áreas do grupo azul, que são as maiores entre os corpos de prova. Desta forma como a variação de carga máxima é pequena as tensões deste grupo acabam sendo menores em relação aos outros dois grupos em alguns casos.

Logo podemos estimar que os resultados das tensões - com exceção dos corpos de prova 9 e 14 - sofreriam um aumento de valores, já que a área tende a ser maior a medida que o CP esta mais próximo a base e a carga máxima que a máquina exerce sobre os CPs permanece quase a mesma.

• Grupo Amarelo (6 – 9 anos)

Se olharmos com atenção o gráfico 3.3 iremos reparar que todos os corpos de prova romperam antes de atingir a carga máxima. Os valores encontrados neste caso podem ser utilizados sem maiores problemas.

Com os resultados obtidos e as informações coletadas é possível estimar que os valores de tensões máximas foram crescentes do grupo verde para o azul e a taxa de crescimento dos valores de tensão foi menor e em alguns casos decrescente do grupo azul para o amarelo.

Estas informações nos mostram que os valores à compressão do bambu já são bem interessantes em idades precoces, tendo em vista que o menor valor calculado corretamente do grupo verde foi de 549,92 Kgf/cm². E tendem a aumentar até uma idade onde o mesmo está maduro e com propriedades excelentes, tendo em vista que o menor valor calculado corretamente para o grupo azul foi de 573,15 Kgf/cm² - em uma peça que apresentava fissura anterior ao ensaio. Podendo perder estas propriedades por um processo de "deterioração", quando a mesmo já esta "sobre maduro" ou muito maduro, tendo em vista que o menor valor calculado para o grupo amarelo foi de 341,77 Kgf/cm².

Podemos também observar - mesmo que de uma forma induzida - já que os valores da

parte basal não foram realmente calculados em alguns casos, que as tensões são maiores nos entrenós superiores. Isto pode estar relacionado ao fato de que com áreas menores, maior é a proporção de fibra em relação a parênquima (matéria orgânica) nas paredes do bambu. Aumentando a resistência e diminuindo a área, fazendo com que as tensões aumentem.

O tecido básico ou fundamental é denominado parênquima e representa 40 a 60 % da composição do colmo. Esse tecido, embora envolva fibras e vasos, não é distribuído igualmente, ou seja, 60% se encontram na parte basal e 40 % se encontram na parte apical do colmo. Também é maior sua proporção na camada interna, e sua função é a de estocar nutrientes e água. A umidade contida no parênquima decresce a medida que o colmo envelhece. (Pereira A.R; Beraldo A.L, 2008)

Alguns parâmetros foram medidos no decorrer do presente trabalho. Cada corpo de prova teve seu teor de umidade medido e os resultados são representados no Gráfico 3.7.

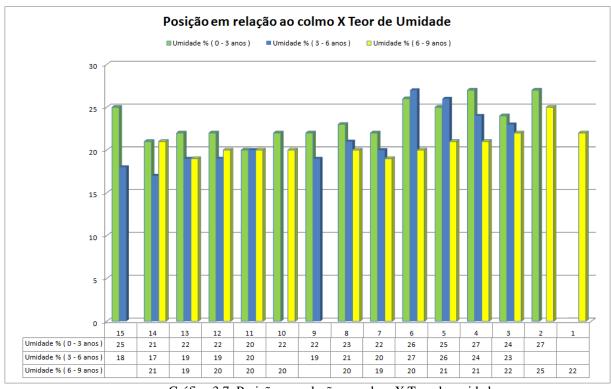


Gráfico 3.7. Posição em relação ao colmo X Teor de umidade

Os valores são simplesmente demonstrativos já que o equipamento utilizado não é tão preciso e as medições foram efetuadas em horários e dias aleatórios. Contudo é possível observar o teor de umidade de peças estocadas em ambiente aberto e ventilado em época do ano de chuvas (Janeiro) na região central do país (Brasília).

O Gráfico 3.7 mostra que com o aumento da idade ocorre uma redução no teor de umidade das amostras.

Cada corpo de prova foi individualmente pesado com umidade "natural". Desta forma foi gerado um gráfico que relaciona o peso pelo volume de cada corpo de prova, a intenção é representar a "densidade" dos corpo de prova de diferentes idades e localizações no colmo.

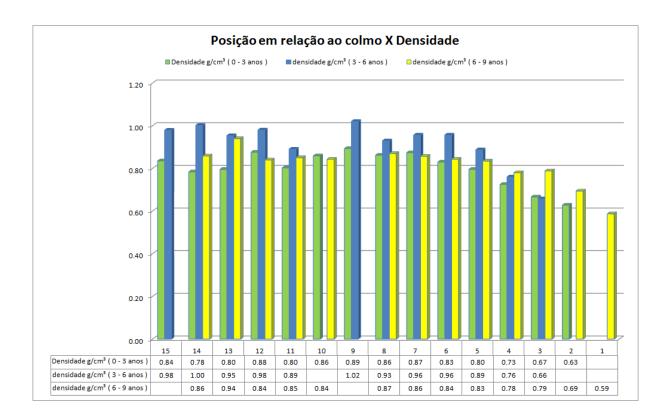


Gráfico 3.8. Posição em relação ao colmo X Densidade

As maiores densidades foram encontradas para o grupo azul e acorre uma perda de densidade no grupo amarelo.

Os mesmos ensaios foram realizados em corpos de prova que continham um nó na parte média e foram extraídos dos mesmos colmos separados por grupos anteriormente citados. Os gráficos a seguir representam os resultados obtidos nesses ensaios.

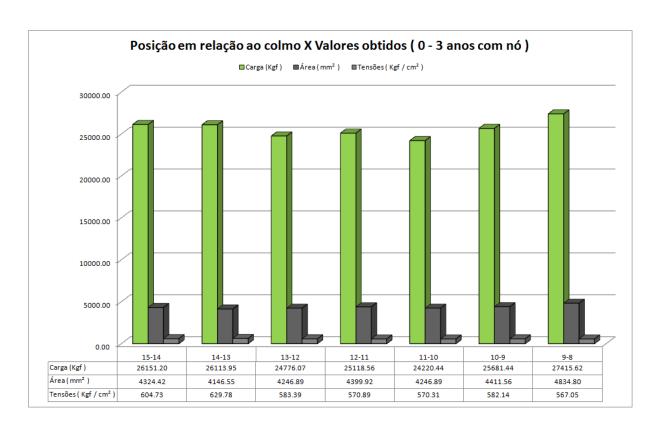


Gráfico 3.9. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Verde com nó / 0 – 3 anos)

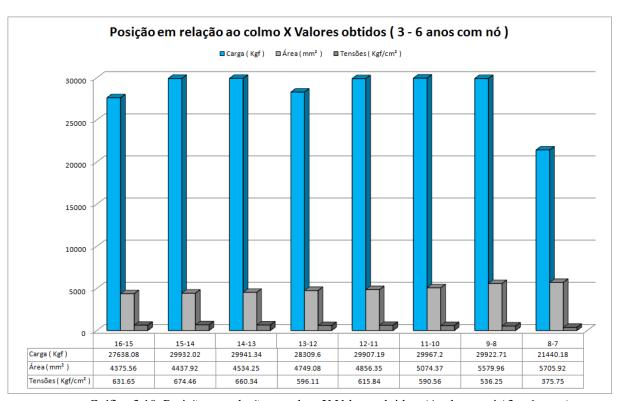


Gráfico 3.10. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Azul com nó / 3 – 6 anos)

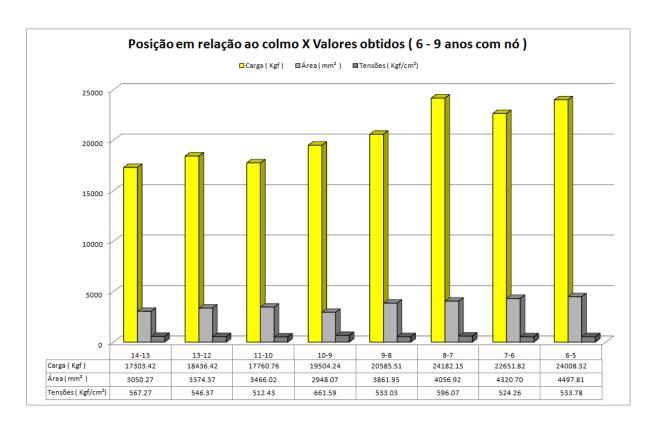


Gráfico 3.11. Posição em relação ao colmo X Valores obtidos (Amarelo com nó / 6 – 9 anos)

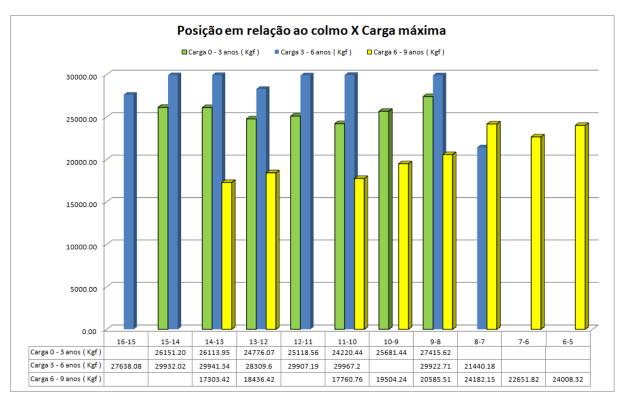


Gráfico 3.12. Posição em relação ao colmo X Carga máxima (corpos de prova com nó)

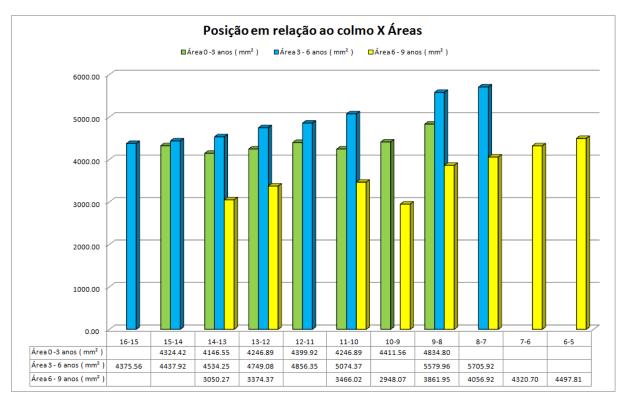


Gráfico 3.13. Posição em relação ao colmo X Áreas úteis (corpos de prova com nó)

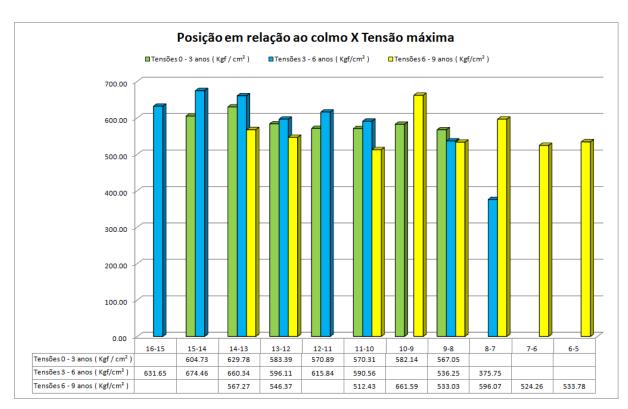


Gráfico 3.14. Posição em relação ao colmo X Tensão máxima (corpos de prova com nó)

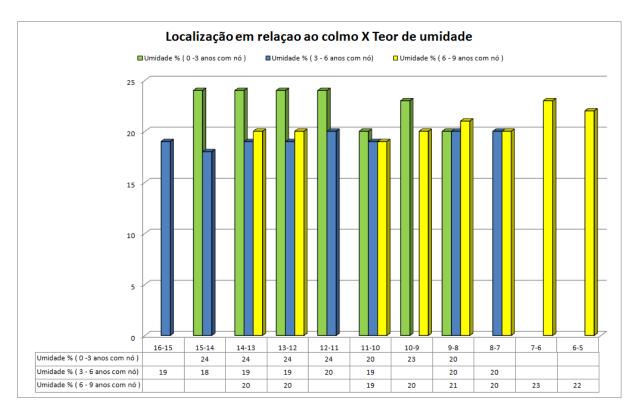


Gráfico 3.15. Posição em relação ao colmo X Teor de umidade (corpos de prova com nó)

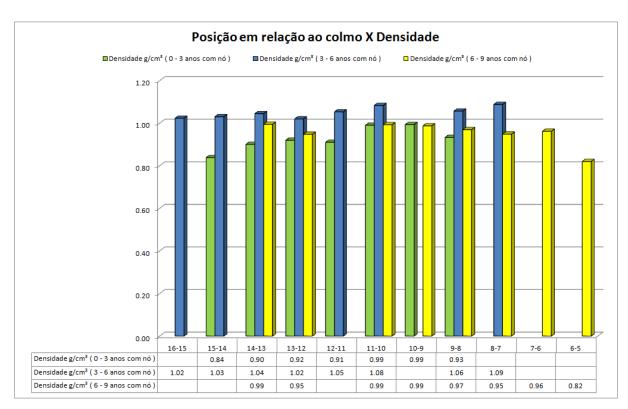


Gráfico 3.16. Posição em relação ao colmo X Densidade (corpos de prova com nó)

Observando o Gráfico 3.12, é possível ver que somente os corpos de prova do grupo azul atingiram valores de carga máximos. Pelo gráfico 3.10 observa-se que esses corpos de

prova foram: 15-14, 14-13, 12-11, 11-10 e 9-8. Ou seja, os valores de tensão para esses corpos de prova tenderiam a ser maiores. O corpo de prova 8-7 possuía fissuras e ataque de insetos *Dinoderus minutos* antes do ensaio.

Com os resultados obtidos e as informações coletadas é possível estimar que os valores de tensões máximas são crescentes do grupo verde para o azul e decrescente do grupo azul para o amarelo, mesmo em corpos de prova com nó.

Estas informações nos mostram que os valores a compressão do bambu já são bem interessantes em idades precoces, tendo em vista que o menor valor calculado corretamente do grupo verde com nó foi de 567,05 Kgf/cm² (Gráfico 3.9). E tendem a aumentar até uma idade onde o bambu está maduro e com propriedades excelentes, tendo em vista que o menor valor calculado corretamente para o grupo azul com nó foi de 596,11 Kgf/cm² (Gráfico 3.10). Podendo perder estas propriedades por um processo de "deterioração", quando o mesmo já esta "sobre maduro" ou muito maduro, tendo em vista que o menor valor calculado para o grupo amarelo com nó foi de 512,43 Kgf/cm² (Gráfico 3.11).

O valor do corpo de prova azul 8-7 (375,75 Kgf/cm²) foi desprezado pois o mesmo possuía patologias bem severas antes do ensaio, sendo testado simplesmente para uma mensuração do quanto essas patologias iriam interferir nos valores encontrados.

4 - SISTEMAS CONECTIVOS

Durante a fase de projeto e execução de estruturas de bambu, o desenvolvimento dos sistemas conectivos demandam muito conhecimento e atenção por parte dos responsáveis técnicos. A união entre peças de bambu pode ser feita de diversas maneiras e usando diferentes materiais, porém independente de como sejam desenvolvidas devem garantir a estabilidade e resistência adequadas. Esses sistemas são melhor explicados na parte 1 do presente trabalho disponível no site www.projetobambu.com.

Existem sistemas conectivos como a boca de pescado (Figura 4.1) e suas variações que utilizam barras roscadas, porcas e arruelas para unir os bambus. Este é um dos sistemas conectivos mais usados por todo mundo. Contudo o mesmo possui certas limitações quanto aos esforços atuantes na conexão. Quando os bambus estão apoiados um sobre o outro de forma que os esforços são de compressão este sistema conectivo é satisfatório, porém contra esforços de tração o mesmo pode não ser tão eficaz. Existe também a possibilidade de que as peças se movimentem fazendo com que haja deslizamento entre as mesmas pela folga do sistema conectivo. O uso de arruelas ou peças soldadas a ponta da barra roscada é uma opção para a confecção do "anzol" que uni as duas peças (Figura 4.2) .

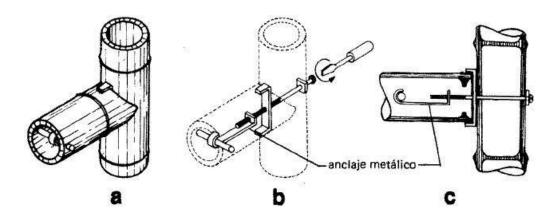


Figura 4.1 . Sistema de conexão boca de pescado.(LOPEZ, 1998)



Figura 4.2 . Peça soldada a barra roscada (anzol - boca de pescado)

Com o aumento de profissionais e utilizações de estruturas de bambu pelo mundo, o desenvolvimento de novas tecnologias e criação de novos sistemas conectivos também é crescente. É possível desenvolver conexões específicas para cada sistema construtivo, de forma a potencializar a resistência aos esforços com o uso de outros materiais como ferro, concreto, madeira e plásticos. O uso de conexões metálicas já é bastante usado em estruturas no mundo inteiro.

Neste capítulo será apresentado um estudo sobre um sistema conectivo desenvolvido para um estrutura de 200 m² produzida com bambus *Dendrocalamus giganteus*, com vão livre de 10 metros (Figura 4.3 e 4.4) . Os projetos da estrutura e conexões foram desenvolvidos pelo Eng. Frederico Rosalino para abrigarem uma exposição sobre os 100 anos do grande paisagista brasileiro Roberto Burle Marx que aconteceu nos meses de agosto a novembro de 2009 em Brasília/DF. Foi desenvolvido teste de rompimento em uma peça modelo de 1 metro de comprimento, que foi ensaiada a tração. Mais informações podem ser obtidas com o artigo "APLICAÇÃO DE BAMBU EM ESTRUTURAS: ESTUDO DE CASO SOBRE A ESTRUTURA DA EXPOSIÇÃO "O PAISAGISTA ROBERTO BURLE MARX" EM BRASÍLIA¹. "

-

¹ Material disponível no site http://www.bioestrutura.com.br/downloads_files/estr_bambu_burle_marx.pdf, última visita dia 06 de fevereiro de 2011.



Figura 4.3. Estrutura de 200 m² com conexões metálicas.



Figura 4.4. Vista interna da estrutura de bambu e conexões metálicas.

Esta estrutura possui sistemas conectivos diferenciados e projetados especificamente para cada função. Contudo um deles (Figura 4.5 e 4.6) foi bastante utilizado e deveria resistir aos maiores esforços atuantes na estrutura. Esta conexão foi então ensaiada no laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília. O teste foi realizado em uma peça modelo

que possuía as mesmas dimensões das menores peças que foram utilizadas na montagem da estrutura. As conexões foram unidas ao bambu com quatro pedaços de barras roscadas 3/8`` em cada um dos lados, as barras foram dispostas de forma a não ficarem na mesma linha de ruptura das fibras (Figura 4.7).



Figura 4.5. Conexões utilizadas na estrutura.



Figura 4.6. Conexões mais usadas na estrutura.



Figura 4.7. Gabarito e sistema de união da conexão ao bambu.

Como o diâmetro dos tubos utilizados para a confecção das conexões metálicas algumas vezes não encaixavam de forma satisfatória dentro do bambu, foram usados pedaços ripados de bambu entre as conexões e as paredes internas do mesmo (Figura 4.8). Isto auxiliava que a conexão se tornasse menos "rotuláveis" ou "frouxa". Depois foi usada uma massa feita de cola branca e serragem para fechar os espaços restantes entre as ripas utilizadas para um melhor acabamento da conexão (Figura 4.9).



Figura 4.8. Ripas de bambu usadas para acabamento das conexões.



Figura 4.9. Acabamento com cola branca e serragem.

O ensaio foi feito utilizando garras de pressão que seguravam a peça pelas pontas das conexões metálicas (Figura 4.10), de forma que as mesmas pudessem ser tracionadas e o esforço fosse resistido pela união entre as conexões metálicas e o bambu.

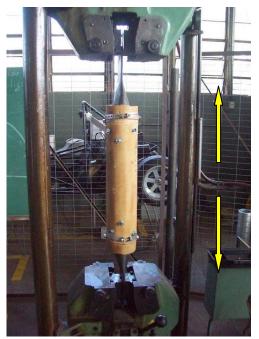


Figura 4.10 .Ensaio de tração na peça.

O ensaio foi realizado até o rompimento do sistema conectivo que ocorreu com a carga máxima de 6.400 Kg. No término do ensaio haviam algumas fissuras e cisalhamento de algumas fibras do bambu (Figura 4.11). As arruelas estavam bem amassadas e algumas barras roscadas pareciam ter amassado durante o ensaio (Figura 4.12).





Figuras 4.11 e 4.12. Aparência da peça após o ensaio de tração.

A peça foi então levada para a oficina para ser desmontada e analisada. Depois de retirar as barras roscadas foi possível observar que o rompimento do sistema conectivo se deu em um dos lado da peça que havia sido unido com 4 pedaços de barra 3/8``. Boa parte dessas barras acabaram cisalhando (Figura 4.13), fazendo com que o sistema conectivo falhasse. As barras do outro lado também haviam sofrido danos e estavam amassadas (Figura 4.14).



Figura 4.13. Ferragens do lado que falhou da peça testada no ensaio de tração.

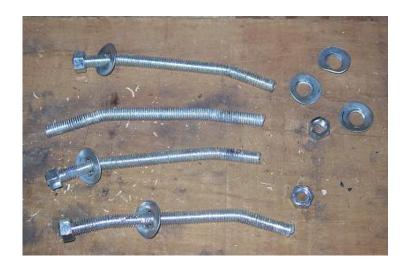


Figura 4.14. Ferragens do lado que não falhou da peça testada no ensaio de tração

O bambu não apresentava falhas sérias, apenas algumas fissuras (Figura 4.15) e pequenos "blocos", entre a última barra roscada e a parte cortada, que cisalharam (Figura 4.11).



Figura 4.15. Bambu após o teste da peça.

Podemos perceber que o sistema conectivo teve sua falha nas barras roscadas e não no bambu. Não é possível concluir apenas com um ensaio, porém os resultados obtidos demonstram o quanto o bambu tem propriedades interessantes e que seu uso consorciado com

outros materiais pode resultar em elementos construtivos que possuem resistência para serem utilizados no desenvolvimento de estruturas muito bonitas, leves e seguras. O estudo de sistemas conectivos é um importante passo para o desenvolvimento de estruturas de bambu. Para um adequado dimensionamento e melhores critérios de projeto é necessário que as conexões também sejam regulamentadas e normatizadas.

5 - PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE BAMBU

O estudo dos problemas e qual o motivo dos mesmos ocorrerem é um dos objetivos do presente capítulo, que de forma bem simples e ilustrativa tenta demonstrar alguns fatores e situações que propiciam o aparecimento de algumas características prejudiciais. As quais podem diminuir a vida útil e beleza estética de estruturas que possuam bambu com função estrutural ou simplesmente visual. Não existe muita (para não dizer nenhuma) literatura sobre este assunto. Por esta razão as informações a seguir são demonstrações de exemplos encontrados em estruturas observadas.

Um ponto importante para evitar a maior parte das patologias encontradas seria um correto processo de tratamento e secagem do bambu. Estes dois pontos estão bem interligados e a maior parte dos problemas encontrados pode ser relacionada a esses dois fatores. Quando um bambu é tratado, dependendo do tipo de tratamento, o mesmo pode acabar tendo seu teor de umidade maior do que 100 %, ocasionando um excesso de água que deve ser corrigido pelo processo de secagem. Se o mesmo é feito de forma errada ou não é feito, deixando o bambu simplesmente perder a umidade para o ambiente, o aparecimento de fissuras pode ser grande. Somando este processo de perda de umidade a outros fatores é provável que os problemas sejam intensificados como veremos posteriormente.

Vale salientar que o aparecimento de algumas fissuras é quase que inevitável para os processos de beneficiamento utilizados no Brasil, onde a secagem é feita de forma natural, sem utilização de estufas com controle de temperatura e umidade. Se tomarmos como exemplo o caso do centro-oeste brasileiro em que temos um variação anual de umidade relativa que pode ir de 8% a quase 100% (climatempo, 2010²), é fácil entender o porque as fissuras acabam aparecendo. Contudo estas fissuras muitas vezes não influenciam de forma significativa, em um primeiro momento, o sistema estrutural como um todo - já que na maioria das vezes a fissura pode ser simplesmente o descolamento da lignina que unia as fibras - que ainda estão todas lá e recebendo os esforços mesmo que agora separadas em alguns locais. Este ainda é um ponto que merece receber mais atenção por parte dos estudiosos, para que possamos entender a partir de que ponto as fissuras se tornam problemas estruturais graves. Algumas culturas antes de utilizar o bambu para fabricação de móveis abrem uma fissura que vai de ponta a ponta o colmo de bambu já seco. Desta forma é criada uma "junta de dilatação" que possibilita o bambu "trabalhar" sem que haja o aparecimento de

_

² Valores disponíveis no site http://www.climatempo.com.br/, ultimo acesso dia 06 de fevereiro de 2011.

novas fissuras e mesmo assim o bambu ainda possuí resistência para ser utilizado. Claro que após o aparecimento de uma fissura a tendência natural é que a mesma continue a aumentar, desta forma é necessária uma intervenção de controle sobre ela.

No decorrer deste capitulo serão apresentadas algumas patologias encontradas em estruturas de várias idades na Colômbia e Brasil. É possível que muitas dessas patologias poderiam ter sido evitadas ou minimizadas durante a vida útil da estrutura. Vale comentar que um bom projeto desenvolvido por profissionais qualificados, e uma pequena atenção por parte do proprietário da estrutura pode ajudar bastante para que problemas como estes e outros sejam menos intensos e muitas vezes rapidamente resolvidos, seja durante o processo construtivo, seja por pequenas intervenções no decorrer dos anos.

A maior parte das patologias que serão apresentadas podem estar relacionadas a um correto processo primário de extração de bambus "maduros", que podem não apresentar propriedades físico-mecânicas necessárias para certas funções estruturais e apresentam maiores problemas ao serem solicitados pelos esforços estruturais. Até mesmo bambus realmente maduros com propriedades muito boas podem apresentar problemas se usados de forma equivocada. Como quando solicitados a forças de esmagamento ou compressão perpendicular as fibras (Figura 5.1), sem que sejam devidamente preenchidos ou reforçados para resistir a estes esforços.



Figura 5.1. Esmagamento ou compressão perpendicular as fibras

O uso de bambus com teor de umidade elevado no desenvolvimento de estruturas pode fazer com que fissuras de retração (Figura 5.2) ou fissuras causadas por adaptação aos esforços apareçam posteriormente à entrega da mesma. Podem também aparecer fissuras pela acomodação de alguns sistemas conectivos, como bocas de pescado (Figura 5.3), onde o apoio entre as peças de bambu não tenha sido feito de forma que as mesmas ficassem

apoiadas por todo o corte.





Figura 5.2. Retração devido a perda de umidade

Figura 5.3. Fissura por acomodação entre peças

Algumas formas de tratamento se baseiam em submergir as varas de bambu em soluções com elementos químicos necessários para substituir ou impregnar o amido e açúcar presentes nas mesmas. Estes amidos e açucares estão presente em maior concentração na parte interna do bambu, logo para uma maior eficácia do processo de tratamento a solução deve preencher a parte interna dos entrenós. Por esta razão é necessário que sejam feitos orifícios para que o ar presente do interior de cada entrenó seja expulso e a solução possa ser introduzida. Estes pequenos orifícios podem ser locais de acumulo de tensões provocando um possível aparecimento de fissuras (Figura 5.4), logo é aconselhado que os mesmo não sejam feitos em uma mesma linha de ruptura, evitando que estas fissuras possam se ligar e ocasionar uma fissura de maior porte e com maiores problemas estruturais.



Figura 5.4. Fissuras ocasionadas pelos orifícios feitos para o tratamento das varas de bambu.

Um dos maiores problemas quando nos referimos a estruturas de qualquer que seja o material natural é sem dúvida sua vida útil. Realmente quando se trabalha com materiais que são produzidos de forma renovável e possuam agregados a eles um rápido e fácil processo de produção e utilização, também podem ocorrer alguns problemas relacionados. Os mesmos são bastante deteriorados pela exposição direta a intempéries e se não beneficiados da forma correta acabam com o passar do tempo perdendo suas propriedades físico-mecânicas. Existe também o problema de possuírem predadores naturais, como insetos e animais, que podem danificar sua estrutura de forma a diminuir suas características originais.

Com o bambu isso não é diferente, se não tratado e beneficiado da forma correta - que muitas vezes acarreta um expressivo gasto de recursos — este material pode sofrer danos "irreparáveis" e acabar perdendo muitas propriedades importantes para seu uso como material de construção. Existem alguns insetos xilófagos que atacam diretamente o bambu, se alimentando do amido e açúcar presentes no mesmo. Esse ataque na maioria das vezes pode ser observado, já que é produzido um pó muito fino (Figura 5.5) durante o processo de alimentação do inseto *Dinoderus minutos*, que precisa separar o amido e açucares do resto do material presente no bambu, como as fibras. Um adequado processo de tratamento é suficiente para prevenir e evitar os ataques em grande escala, uma vez que a maioria dos insetos possuem porte bem pequeno e patologias causadas pelos mesmos necessitam ser bem grandes para causar danos irreparáveis (Figura 5.6, 5.7 e 5.8).



Figura 5.5. Pó produzido pelo ataque de insetos *Dinoderus minutos* no bambu.



Figura 5.6. Ataque de insetos no bambu.



Figura 5.7. Ataque de insetos *Dinoderus minutos*.



Figura 5.8. Ataque de insetos Dinoderus minutos.

A vida útil de uma estrutura de bambu também pode sofrer uma considerável diminuição se a mesma não for projetada para se manter a mais afastada possível do contato direto com a incidência solar e o excesso de umidade. Estes dois fatores estão relacionados com a maior parte das patologias. Quando o bambu fica muito exposto ao contato direto com o sol o mesmo acaba perdendo sua cor, ficando cada vez mais "seco", menos denso e aparentemente menos resistente. Com o passar do tempo acaba adquirindo uma tonalidade "acinzentada". No caso de algumas estruturas, as partes mais próximas ao solo que não são protegidas pelos beirais do telhado acabam perdendo sua tonalidade natural e apresentando um maior número de fissuras (Figura 5.9).



Figura 5.9. Patologia causada pela incidência solar e umidade nos bambus situados próximos ao solo.

Como o sol consegue atingir o bambu, é possível imaginar que a chuva que sofre influência do vento também possa incidir sobre ele. O contato contínuo dessa umidade sobre a parede externa do bambu pode acentuar o aparecimento de fissuras, já que o processo de ganho e perda de umidade se torna acentuado. Dessa forma as fissuras se tornam cada vez maiores permitindo que a água também acabe entrando em contato com a parte interna do bambu – onde existe um menor percentual de fibra e um maior percentual de matéria orgânica – aumentando o processo de decomposição do material. Este excesso de água pode fazer com que o bambu apresente uma tonalidade escura com o passar do tempo (Figuras 5.10 e 5.11).





Figura 5.10 e 5.11. Patologias causadas pela incidência solar e umidade.

Uma das estruturas visitada estava abandonada a mais de um ano, pois a mesma foi embargada devido a estar sendo construída em local de encosta, havia algumas varas de bambu deitadas sobre o piso elevado da estrutura, metade delas havia sido protegida por uma lona e a outra metade estava exposta as intempéries (Figura 5.12). É fácil perceber como a incidência solar e umidade são prejudiciais para o bambu e podem causar diversos problemas para o mesmo.



Figura 5.12. Comparação entre bambu protegido e exposto a intempéries.

Outro ponto importante em estruturas de bambu é a parte da ligação entre a estrutura e a fundação. Como o bambu deve ser mantido longe da umidade do solo, é indicado o uso de blocos elevados — blocos que sirvam de base para as colunas de bambu - que podem auxiliar os bambus a manter uma distância adequada do piso e devem ser projetados de forma a evitar o acumulo de água. Outra observação importante para a elevação dos bambus em relação ao piso é o contato com a água durante o processo de limpeza do mesmo, por mais que a quantidade de água seja controlada e não seja tão frequente, os danos causados por este processo podem prejudicar a integridade da estrutura. A não observação desta recomendação

pode acelerar o processo de deterioração do bambu (Figura 5.13) e em alguns casos pode até mesmo causar danos irreversíveis (Figura 5.14). A altura e características dessas fundações variam de projeto para projeto. Fundações mais elevadas auxiliam na proteção contra a incidência de raios solares. Já que elevam o nível da base dos bambus, fazendo com que os mesmo sejam melhor protegidos pelos beirais do telhado da estrutura, pelo menos no horários em que o sol é mais forte.





Figura 5.13 e 5.14. Patologias causadas na ligação bambu – fundação.





Figura 5.15 e 5.16. Patologias causadas na ligação bambu – fundação.

O bambu possui propriedades físicas interessantes, e devido ao seu módulo de elasticidade e capacidade de se deformar, o mesmo pode com o passar do tempo fletir sem que sua resistência seja afetada de forma a culminar em um colapso estrutural. Se o bambu for submetido a esforços de flexão, sem que haja peças de reforço ou de distribuição de esforços, resultando em um grande vão entre apoios ele pode acabar desenvolvendo grandes flechas que podem prejudicar a estrutura (Figura 5.17 e 5.18). Algumas vezes este fenômeno acaba dando uma aparência diferenciada as estruturas, porém com a falta de pesquisas é difícil estimar quando esta flecha torna-se prejudicial ao sistema estrutural. Outro fator importante é que grande parte das peças de bambu usadas para construção civil não são retilíneas, possuindo curvaturas naturais que podem potencializar este processo de flambagem e do uso de formas "curvadas" no desenho estrutural.



Figura 5.17. Deformação das peças de telhado por flexão.



Figura 5.18. Flecha causada pelo peso do telhado

Existem também algumas patologias inerentes as ferragens utilizadas para fazer as uniões e conexões entre peças de bambu. O uso de bambus com teor de umidade elevado no desenvolvimento de estruturas faz com que o bambu sofra uma perda de volume enquanto o mesmo perde umidade para o ambiente. Este processo pode fazer com que algumas conexões que haviam sido apertadas inicialmente acabem folgando durante o processo de redução de volume (Figura 5.19). Outra patologia muito encontrada foi a ferrugem ou oxidação das partes metálicas das conexões (Figura 5.20 e 5.21), como porcas e barras roscadas, esse processo poderia em alguns casos ser acelerado pela presença de produtos químicos utilizados no tratamento dos bambus. Que podem reagir com o ferro dependendo de sua composição.



Figura 5.19. Folga do sistema conectivo.



Figura 5.20. Patologia no sistema conectivo.



Figura 5.21. Patologias no sistema conectivo.

O uso de esterilhas, um tipo de esteira feita de bambu, é muito utilizada para fazer forros e painéis de vedação na Colômbia. Em algumas estruturas foi possível observar quando havia locais de infiltração no telhado, onde a água entrava em contato com o forro. Nestes locais havia o aparecimento de mofo e manchas pelo excesso de umidade no bambu.



Figura 5.22. Mofo e manchas em esterilhas de bambu.

É possível observar o quanto um adequado processo de colheita, tratamento e secagem podem impedir que várias patologias em estruturas de bambu venham a ocorrer de forma grave. Atualmente na Colômbia estes processos já são feitos de forma a garantir um produto com qualidade, que pode ser exportado para o mercado externo, principalmente o europeu, que demanda grande quantidade deste material.

Durante a pesquisa na Colômbia foram observadas várias estruturas que de alguma

forma possuíam bambu com função estrutural, o número de patologias encontradas foi menor do que o esperado. As poucas patologias que foram observadas estão representadas neste capítulo. O que mais chamou a atenção foi que mesmo nas residências onde as mesmas ocorreram os moradores e proprietários pareciam não se importar, como se isso não representasse realmente que a estrutura fosse colapsar. É difícil dizer se era por pura falta de interesse ou por que realmente conheciam o material e sua resistência e durabilidade.

6 - CONCLUSÃO

Tenho estudado bambu com afinco a pelo menos cinco anos, neste tempo puder observar que cada vez mais pessoas se interessam pelo assunto e cada vez mais informações são geradas. Tive o prazer de conhecer pessoalmente alguns de seus usos e aplicações, além de poder observar diferentes espécies de bambu, cada qual com características singulares. Durante esses anos tentei juntar características que melhor pudessem representar as qualidades do uso do bambu na construção civil.

O sistema de construção civil atual é embasado em materiais de construção de grande gasto energético para produção dos mesmos, além de gerarem muitos resíduos antes, durante e após sua utilização. Como é o caso do material gerado por demolições. Existem muitas estruturas que poderiam ser desenvolvidas sem um único pedaço de ferro, quilo de concreto ou pedaço de madeira. Entretanto todos os materiais têm suas qualidades e os mesmos devem se completar de forma a maximizarem o desenvolvimento e execução de projetos.

O uso do bambu, seja em sua forma natural ou industrializado, pode muito bem suprir o mercado atual de forma a oferecer produtos de excelente qualidade e com um grau de sustentabilidade muito alto. Podemos observar pelos resultados obtidos que em um curto espaço de tempo são produzidas peças de bambu com propriedades físico-mecânicas mais altas que os valores mínimos normatizados para utilização de concreto que é de 20 Mpa. A produção de uma plantação de bambu é anual, ou seja, é sempre renovada. Outro fator importante observado é que o bambu tende a atingir valores máximos em alguns anos, depois os mesmo diminuem. Podemos imaginar que o bambu é um a planta que pode ser "colhida" ou manejada em curto espaço de tempo de forma a potencializar suas propriedades, sem prejudicar o processo de crescimento natural da mesma.

A trabalhabilidade do bambu é única, as peças são leves e já possuem acabamento natural. Podemos associar o bambu a diferentes materiais, utilizá-lo em estruturas de concreto armado, metálicas e de madeira, de forma a aproveitar da melhor forma possível suas propriedades físicas e mecânicas. As características relacionadas à orientação das fibras propiciam seu processo de industrialização, no qual podemos transformar um bambu roliço em uma série de ripas de bambu. Estas ripas podem ser trabalhadas de diferentes maneiras e empregando inúmeras tecnologias para o desenvolvimento de laminados que possuem resistências comparadas as madeiras mais nobres. O uso dessas mesmas ripas sem nenhum tipo de industrialização também pode ser empregado na construção civil, desenvolvendo estruturas produzidas com um conceito de casca, no qual as formas orgânicas e simétricas e a sobreposição de ripas podem desenvolver diversas estruturas.

O uso do bambu é realidade em diferentes países, cada um tem suas utilidades para ele e graças a tecnologias esses conhecimentos podem ser transmitidos rapidamente, de forma a aumentar o conhecimento geral. Podendo dessa forma auxiliar o desenvolvimento de novas tecnologias de aplicação do bambu, agregando conceitos de outras áreas e intensificando suas características positivas além de melhor entender e desenvolver métodos de controle de suas características menos favoráveis.

O conceito sustentável deveria fazer parte do pensamento de cada individuo de nossa sociedade, mesmo que de forma singela um simples ato feito com um pensamento solidário - pensando em quais serão as conseqüências dessa atitude ou ação – podem fazer uma diferença muito grande no futuro, onde todas essas atitudes e ações serão somadas.

7 – BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K.; PEREIRA, A. R. *Bambu: características e aplicações.* In:FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L., pp. 253-319, Editor, Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas, Unicamp. 2003

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Determinação das propriedades dos bambus das espécies: *mosó, matake, guadua angustifólia, guadua tagoara e dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia. PUCRJ – Departamento de Engenharia Civil, 2001.

GHAVAMI, K. (1992). Bambu... um material alternativo na engenharia. In: Engenharia, n.492, p.23-27.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS E CERTIFICACION. NTC5525: Métodos de ensaio para determinar las propiedades físicas e mecânicas de La Guadua angustifolia kunth. Bogota, 2007. 22 p.

PEREIRA, M. A; GARBINO L.V. Desenvolvimento e produção do bambu gigante (dendrocalamus giganteus) cultivado na unesp/campus de bauru - s.p., com vistas à sua utilização na engenharia agrícola. XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Goiânia, 2003

LIESE, W. (1998). *The anatomy of bamboo culms*. Technical Report. International network of bamboo and Rattan, Beijing. Peoples Republic of China, pp.203.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo**, The gift of the gods. 553 p., 2003.

LOPEZ, O. H. Manual de construccion com bambu. Estudios Técnicos Colombianos LTDA. Universidad Nacional de Colombia. Cali. 1981

PEREIRA, MARCO A.R. (2008). Bambu de corpo de alma. 240 p.

ANEXOS

		Diâ	imetro externo			E	spessura de p	parede									
Grupo (cor/idade))	Indicação de peça (n°)	1° medida (mm)	2° medida (mm)	Valor Médio	1° (mm)	2° (mm)	3° (mm)	4° (mm)	Valor médio (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (mm 2)	Altura (mm)	Umidade (%)	Peso (g)	Densidade (g/cm ^s)	Carga (Kgf)	Tensão (Kgf/cm²)
Verde	15	126	122	124	10.9	10.7	10.7	10.6	10.725	102.55	3814.71	270	25	860.23	0.84	26666.49	699.04
Verde	14	128	121	124.5	11	11.2	11.2	11.1	11.125	102.25	3960.47	271	21	841.34	0.78	21779.56	549.92
Verde	13	126	123	124.5	11.9	12.1	11.9	11.6	11.875	100.75	4199.50	262	22	875.23	0.80	25831.48	615.11
Verde	12	129	122	125.5	11.9	12.1	11.9	11.6	11.875	101.75	4236.79	252	22	935.38	0.88	26479.21	624.98
Verde	11	128	122	125	12	12.2	12.1	11.9	12.05	100.9	4273.69	258	20	884.64	0.80	29015.27	678.93
Verde	10	128	122	125	11.9	12.1	13.1	12.2	12.325	100.35	4360.58	256	22	958.83	0.86	29139.44	668.25
Verde	9	128	122	125	12.4	12.9	12.8	12.2	12.575	99.85	4439.16	252	22	999.07	0.89	27404.23	617.33
Verde	8	130	124	127	13.1	12.9	13.9	14.3	13.55	99.9	4826.96	251	23	1044.48	0.86	28433.77	589.06
Verde	7	130	126	128	13.9	14.6	13.8	13.4	13.925	100.15	4987.87	274	22	1194.09	0.87	28875.59	578.92
Verde	6	132	127	129.5	14.8	16.5	16	14.9	15.55	98.4	5563.84	273	26	1260.07	0.83	29913.4	537.64
Verde	5	135	130	132.5	16.7	17.1	18.2	16.4	17.1	98.3	6196.29	292	25	1439.7	0.80	29900.98	482.56
Verde	4	137	133	135	18.9	20.2	21	20.1	20.05	94.9	7236.91	258	27	1353.78	0.73	29911.33	413.32
Verde	3	141	138	139.5	22.1	22.7	24.4	22.3	22.875	93.75	8376.88	208	24	1160.95	0.67	29929.96	357.29
Verde	2	147	143	145	23.3	24.6	29.5	26.9	26.075	92.85	9737.04	175	27	1069.2	0.63	29911.33	307.19

Quadro 1. Valores relacionados ao grupo verde (0-3 anos).

		Dia	âmetro externo			E	Espessura de	parede									
Grupo (cor/idade))	Indicação de peça (n°)	1° medida (mm)	2° medida (mm)	Valor Médio	1° (mm)	2° (mm)	3° (mm)	4° (mm)	Valor médio (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (mm 2)	Altura (mm)	Umidade (%)	Peso (g)	Densidade (g/cm ^s)	Carga (Kgf)	Tensão (Kgf/cm²)
Azul	15	132	129	130.5	11.5	11	10.2	11.4	11.025	108.45	4136.05	270	18	1093.79	0.98	29829.59	721.21
Azul	14	131	131	131	11.5	10.9	10.3	11.3	11	109	4144.80	272	17	1129.77	1.00	29308.09	707.11
Azul	13	133	131	132	11.8	11.6	11.1	12.4	11.725	108.55	4428.10	265	19	1119.26	0.95	29932.02	675.96
Azul	12	133	132	132.5	11.7	11.1	12.4	12	11.8	108.9	4472.18	268	19	1174.98	0.98	29920.64	669.04
Azul	11	136	131	133.5	14.3	14.3	12.9	13.4	13.725	106.05	5161.88	261	20	1199.78	0.89	29930.99	579.85
Azul	9	134	133	133.5	13.7	13.1	12.3	14.6	13.425	106.65	5061.70	265	19	1368.93	1.02	29011.13	
Azul	8	135	138	136.5	15.1	13.5	15.6	14.9	14.775	106.95	5647.25	261	21	1370.34	0.93	29917.54	529.77
Azul	7	140	135	137.5	14.2	16.7	15.5	15	15.35	106.8	5887.51	258	20	1452.91	0.96	29930.99	508.38
Azul	6	139	138	138.5	16.6	15	14.6	16.9	15.775	106.95	6079.00	275	27	1599.11	0.96	29952.72	492.72
Azul	5	145	139	142	18.2	16.9	16.8	19.8	17.925	106.15	6983.50	268	26	1661.5	0.89	29957.89	428.98
Azul	4	147	145	146	22.9	21.3	19.4	21.3	21.225	103.55	8315.82	242	24	1529.95	0.76	29928.92	359.90
Azul	3	155	150	152.5	26	24.1	23.9	27.2	25.3	101.9	10105.02	198	23	1315.49	0.66	29927.88	296.17

Quadro 2. Valores relacionados ao grupo azul (3-6 anos).

		Diâmetro externo					Espessura de	parede									
Grupo (cor/idade))) Indicação de peça (n°)	1° medida (mm)	2° medida (mm)	Valor Médio	1° (mm)	2° (mm)	3° (mm)	4° (mm)	Valor médio (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (mm 2)	Altura (mm)	Umidade (%)	Peso (g)	Densidade (g/cm ^a)	Carga (Kgf)	Tensão (Kgf/cm²)
Amarelo	14	1 113	109	111	9	9.1	9	8.6	8.925	93.15	2860.60	239	21	586.88	0.86	19348.8	676.39
Amarelo	13	3 105	104	104.5	9.5	8.3	9.4	9.5	9.175	86.15	2746.27	248	19	639.93	0.94	18306.05	666.58
Amarelo	12	2 116	113	114.5	10.5	9.5	9.5	9.5	9.75	95	3206.92	247	20	665.1	0.84	17531.05	546.66
Amarelo	11	1 119	114	116.5	9.5	10	10.5	10.1	10.025	96.45	3351.67	238	20	678.36	0.85	18326.74	546.79
Amarelo	10	119	115	117	10.5	11.2	10.7	9.6	10.5	96	3511.31	239	20	707.55	0.84	19985.38	569.17
Amarelo		123	118	120.5	10.9	11.5	11.9	11.5	11.45	97.6	3920.67	271	20	924.31	0.87	21765.08	555.14
Amarelo		7 126	119	122.5	11.3	11.7	12.2	11.9	11.775	98.95	4093.89	249	19	873.44	0.86	21930.63	535.69
Amarelo	(126	120	123	12.1	12.6	13.1	12.1	12.475	98.05	4329.43	257	20	938.1	0.84	22534.9	520.51
Amarelo		128	120	124	13.8	13.1	12.5	13.5	13.225	97.55	4600.10	255	21	978.73	0.83	26971.72	586.33
Amarelo	4	1 129	121	125	13.4	14.1	15.3	14.2	14.25	96.5	4955.51	257	21	992.96	0.78	26719.26	539.18
Amarelo		3 122	131	126.5	14.9	14.4	15.1	16.5	15.225	96.05	5319.67	254	22			23588.23	443.42
Amarelo		2 128	136	132	19.9	19.2	18.6	21.4	19.775	92.45	6968.44	254	25	1228.78	0.69	27614.28	396.28
Amarelo		1 141	133	137	20.8	21.4	22.4	21.4	21.5	94	7797.41	208	22	951.99	0.59	26626.13	341.47

Quadro 3. Valores relacionados ao grupo amarelo ($6-9\ anos$).

		Di	âmetro externo				Espessura de	parede									
Grupo (cor/idade))	Indicação de peça (n°)	1° medida (mm)	2° medida (mm)	Valor Médio	1° (mm)	2° (mm)	3° (mm)	4° (mm)	Valor médio (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (mm ²)	Altura (mm)	Umidade (%)	Peso (g)	Densidade (g/cm ^a)	Carga (Kgf)	Tensão (Kgf/cm²)
Verde	15-14	124	127	125.5	12.2	12	12.1	12.3	12.15	101.2	4324.42	267	24	967.71	0.84	26151.20	604.73
Verde	14-13	125	122	123.5	11.8	12.6	11.3	11.6	11.825	99.85	4146.55	255	24	952.19	0.90	26113.95	629.78
Verde	13-12	125	124	124.5	11.9	12.4	12.1	11.7	12.025	100.45	4246.89	261	24	1019.67	0.92	24776.07	583.39
Verde	12-11	126	124	125	12.4	12.5	12.8	12.1	12.45	100.1	4399.92	259	24	1037.28	0.91	25118.56	570.89
Verde	11-10	127	122	124.5	12.6	12.3	12	11.2	12.025	100.45	4246.89	257	20	1080.81	0.99	24220.44	570.31
Verde	10-9	123	128	125.5	12.9	12.2	11.8	12.8	12.425	100.65	4411.56	251	23	1100.24	0.99	25681.44	582.14
Verde	9-8	129	125	127	14	12.8	13.3	14.2	13.575	99.85	4834.80	255	20	1150.53	0.93	27415.62	567.05

Quadro 4. Valores relacionados ao grupo verde com nó ($0-3\ anos$).

		Di	âmetro externo		Espessura de parede												
Grupo (cor/idade))	Indicação de peça (n°)	1° medida (mm)	2° medida (mm)	Valor Médio	1° (mm)	2° (mm)	3° (mm)	4° (mm)	Valor médio (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (mm ²)	Altura (mm)	Umidade (%)	Peso (g)	Densidade (g/cm ^a)	Carga (Kgf)	Tensão (Kgf/cm²)
Azul	16-15	128	130	129	12.4	11.9	11.6	11.7	11.9	105.2	4375.56	268	19	1199.97	1.02	27638.08	631.65
Azul	15-14	131	129	130	12.3	12.1	11.2	12.3	11.975	106.05	4437.92	262	18	1198.18	1.03	29932.02	674.46
Azul	14-13	130	132	131	12.1	12.6	12.4	11.5	12.15	106.7	4534.25	262	19	1240.99	1.04	29941.34	660.34
Azul	13-12	130	134	132	12.9	12.9	12.7	12.2	12.675	106.65	4749.08	263	19	1273.94	1.02	28309.6	596.11
Azul	12-11	132	134	133	13.8	12.1	12.6	13	12.875	107.25	4856.35	255	20	1304.09	1.05	29907.19	615.84
Azul	11-10	136	132	134	13.6	13.9	12.6	13.5	13.4	107.2	5074.37	195	19	1072.07	1.08	29967.2	590.56
Azul	9-8	138	135	136.5	15	15.6	13.5	14.2	14.575	107.35	5579.96	210	20	1238.41	1.06	29922.71	536.25
Azul	8-7	138	135	136.5	15.1	16.4	13.8	14.5	14.95	106.6	5705.92	207	20	1285.04	1.09	21440.18	375.75

Quadro 5. Valores relacionados ao grupo azul com nó ($3-6\ anos$).

		Di	âmetro externo			E	Espessura de l	parede									
Grupo (cor/idade))	Indicação de peça (n°)	1° medida (mm)	2° medida (mm)	Valor Médio	1° (mm)	2° (mm)	3° (mm)	4° (mm)	Valor médio (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área (mm 2)	Altura (mm)	Umidade (%)	Peso (g)	Densidade (g/cm ^a)	Carga (Kgf)	Tensão (Kgf/cm²)
Amarelo	14-13	114	110	112	9.4	9.3	9.9	9.3	9.475	93.05	3050.27	279	20	846.59	0.99	17303.42	567.27
Amarelo	13-12	115	118	116.5	10	10.5	10	9.9	10.1	96.3	3374.37	254	20	812.34	0.95	18436.42	546.37
Amarelo	11-10	116	118	117	10.5	10.7	10.4	9.8	10.35	96.3	3466.02	223	19	767.49	0.99	17760.76	512.43
Amarelo	10-9	113	109	111	8.8	8.7	9.8	9.6	9.225	92.55	2948.07	282	20	820.98	0.99	19504.24	661.59
Amarelo	9-8	118	121	119.5	11.8	11.9	10.8	11	11.375	96.75	3861.95	241	21	902.45	0.97	20585.51	533.03
Amarelo	8-7	125	118	121.5	12.5	11.8	11	11.8	11.775	97.95	4056.92	235	20	904.26	0.95	24182.15	596.07
Amarelo	7-6	120	124	122	12.6	13.2	12.3	12.2	12.575	96.85	4320.70	217	23	901.87	0.96	22651.82	524.26
Amarelo	6-5	119	127	123	12.8	13.6	13.3	12.4	13.025	96.95	4497.81	265	22	977.33	0.82	24008.32	533.78

Quadro 6. Valores relacionados ao grupo amarelo com nó (6-9 anos).