NORMA ABNT NBR

BRASILEIRA XXXXX-1

==================================================

Estruturas de bambu

Parte 1 - Projeto

Bambu structures

Part 1: Design

ICS xx.xxx.xx ISBN xxx-xx-xx-xxxxx-x

==================================================================

Número de referência

ABNT NBR XXXXX-1:2016

21 páginas

**Sumário**

1 Escopo .................................................................................................................................. 2

2 Referências normativas........ ..................................................................................................2

3 Termos e definições ................................................................................................................2

4 Simbologia ..............................................................................................................................3

5 Requisitos básicos de qualidade da estrutura ........................................................................5

6 Conceitos básicos para o projeto de estruturas de bambu ................................................. 6

7 Durabilidade das estruturas de bambu ...................................................................................8

8 Propriedades do bambu ..........................................................................................................9

9 Vigas ......................................................................................................................................13

10 Pilares ................................................................................................................................ 16

11 Ligações ...............................................................................................................................18

12 Estruturas reticuladas e Treliças ..........................................................................................19

13 Controle de qualidade ..........................................................................................................20

**1 Escopo**

**1**.**1**  Esta Norma fixa os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas feitas com colmos de bambu, tratando somente daqueles relativos à resistência mecânica, à servicibilidade e à durabilidade das estruturas de bambu.

**1.2** Esta norma não se aplica a estruturas de bambu laminado colado, que devem estar de acordo com a NBR 7190, nem a estruturas em que o bambu se encontra fazendo parte de compósitos, como por exemplo, reforçando concreto ou gesso.

**1.3** Esta Norma não inclui requisitos exigíveis para evitar os estados limites gerados por certos tipos de ação, como as provenientes de sismos, impactos, explosões e fogo*.*

**2 Referências normativas**

Na aplicação dessa norma é necessário consultar

NBR xxxx Estruturas de bambu – parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu – Método de ensaio

NBR 7190: 1997 Projeto de estruturas de madeira – Procedimento

NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento

NBR 6120:1980 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento

NBR 8681: 2003 - Ações e segurança das estrutura – Procedimento

**3 Termos e Definições**

Para efeito dessa norma aplicam-se os seguintes termos e definições

**3.1**

**Ação**

tudo que provoca solicitação; carregamento

**3.2**

**Conicidade**

razão entre a diferença entre os dois diâmetros maior e menor nas extremidades de um colmo, ou trecho de colmo, e seu comprimento

**3.3**

**Elemento, membro**

componente individual da estrutura

**3.4**

**Entrenó, internó**

parte do colmo compreendida entre dois nós.

**3.5**

**Junta, ligação, conexão, emenda ou articulação**

acoplamento entre dois ou mais elementos estruturais de bambu ou entre eles e dispositivo de apoio.

**3.6**

Nó

parte do colmo do qual podem despontar galhos e onde há um diafragma interno.

**3.7**

**Solicitação:** esforços internos (esforço normal, esforço cortante, momento fletor, momento

torsor)

**4 Simbologia**

**4.1 Generalidades**

A simbologia adotada nesta Norma, no que se refere às estruturas de bambu é constituída por símbolos base e símbolos subscritos.

Nos itens seguintes constam apenas os principais deles, definindo-se outros quando de sua citação em equações. Em princípio, a simbologia está de acordo com a da NBR 7190.

As grandezas representadas pelos símbolos constantes desta Norma devem ser sempre expressas em unidade do Sistema Internacional (SI).

**4.2 Letras latinas minúsculas como símbolos**

a – distância ou dimensão

d – diâmetro interno do colmo

e – excentricidade

f – resistência

g – carga permanente distribuída

q – carga acidental distribuída

t – espessura da parede do colmo

**4.3 Letras latinas maiúsculas**

A – área de seção transversal do colmo no interno

I – momento de inércia

D – diâmetro externo do colmo

E – módulo de elasticidade

F – força

L – comprimento do elemento estrutural, vão

M – momento fletor

N – força normal

R – reação de apoio

UR – umidade relativa média do ambiente

V – esforço cortante

**4.3 Letras latinas como índice**

d – de cálculo

g - permanente

k – característico, coeficiente

m – médio

max – máximo

min – mínimo

mod - modificação

q - acidental

**4.4 Letras gregas**

α – ângulo, parâmetro especifico

ε - deformação

σ - tensão

λ – índice de esbeltez

δ – conicidade do bambu

**5 Requisitos básicos de qualidade da estrutura**

**5.1 Requisitos gerais**

As estruturas de bambu devem atender aos requisitos mínimos de qualidade durante sua construção e serviço, e aos requisitos adicionais estabelecidos em conjunto entre o autor do projeto estrutural e o contratante.

Os requisitos abaixo devem ser obtidos pela escolha satisfatória dos materiais, por projeto e detalhamento apropriados, pela especificação dos métodos de controle da produção de colmos e da construção em si, e pelo uso adequado da estrutura.

Todas as construções de bambu devem estar em acordo com esta Norma.

## A estrutura deve ser projetada e construída de forma a apresentar:

a) **capacidade resistente**, que consiste basicamente na segurança quanto a estados limites de resistência estabelecidos para elementos e conexões;

b) **desempenho em serviço**, que consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não devendo apresentar deformações e vibrações excessivas que comprometam em parte ou totalmente o fim para o qual foi projetada ou deixem dúvidas com relação ao comprometimento da segurança ou à durabilidade dos materiais, bem como ao conforto dos usuários.

c) **durabilidade**, que consiste na capacidade de a estrutura resistir ao ataque biológico e a influências ambientais ao longo do tempo considerando-se o fim para o qual a estrutura foi projetada, distinguindo-se edificações temporárias de edificações permanentes.

## Requisitos de projeto

## Para fins dessa norma, as estruturas de bambu devem ser projetadas de forma a resistir com segurança às ações normais, decorrentes do uso da construção e a ações especiais, principalmente as decorrentes de construção e montagem. No caso de ações excepcionais, decorrentes de sismos, impactos, explosões e incêndio deve-se recorrer a normas específicas já elaboradas para outros materiais, principalmente a madeira.

O potencial de dano deve ser limitado ou evitado por apropriada escolha de uma ou mais das seguintes possibilidades:

- Projetar sistemas estruturais que tenham baixa sensibilidade a colapso progressivo

- Projetar sistemas estruturais que possam suportar a remoção acidental de um elemento individual sem colapso global.

- Projetar sistemas estruturais que promovam uma suficiente continuidade entre os elementos individuais.

- Evitar ou reduzir as ações a que a estrutura possa ser submetida de forma perigosa

**6 Conceitos gerais para o projeto de estruturas de bambu**

**6.1 Generalidades**

O projeto das construções de bambu deve ser baseado no método dos coeficientes parciais aos estados limites.

Uma estrutura ou parte dela atinge um estado limite quando deixa de satisfazer às condições para as quais foi projetada. Os estados limites são classificados em: estados limites últimos (ELU), e estados limites de serviço (ELS) ou de utilização.

**6.2 Estados limites últimos**

Os estados limites últimos são aqueles associados com o colapso ou com outras formas de falha estrutural que possam por em perigo a segurança das pessoas. Estados de pré-ruptura, que por simplicidade são considerados como colapso eles mesmos, são tratados como estados limites últimos. Os estados limites últimos que devem ser considerados incluem:

‑ Perda da capacidade resistente por tensões ou deformações excessivas em seções críticas dos elementos estruturais.

- Perda de resistência por tensões ou deformações excessivas nas conexões

- Perda de equilíbrio de elementos comprimidos – flambagens global e/ou local.

‑ Perda de equilíbrio da estrutura, ou de parte dela, por hipostaticidade.

**6.3 Estados limites de serviço**

6.3.1 Os estados limites de serviço ou de utilização correspondem a situações além da quais um critério especificado já não é satisfeito. Os estados limites de serviço que requerem consideração incluem:

‑ Deformações ou deflexões que afetem a aparência ou o efetivo uso da estrutura, (incluindo mal funcionamento de máquinas ou de serviços), ou causem danos a elementos não estruturais como paredes de fechamento, forros de gesso e esquadrias.

- Vibrações que causem desconforto aos usuários, danos à construção ou a seus componentes, reduzindo-lhes a durabilidade.

6.3.2 Considera-se que o estado limite de serviço por deflexões excessivas é atingido quando a deflexão máxima do elemento estrutural chega a L/100, sendo L o vão teórico do elemento estrutural.

**6.4 Ações e suas combinações**

6.4.1 No projeto aos estados limites últimos a combinação normal de ações da *NBR 8681 Ações e Segurança das Estruturas*, deve obrigatoriamente ser considerada.

6.4.2 Na fase de construção, pode ser empregada a combinação especial de ações da NBR 8681.

6.4.3 A possibilidade de desvio da posição das ações diretas (forças) deve ser levada em conta.

6.4.4 O valor da ação permanente devida ao peso próprio do bambu deve ser obtido considerando-se o peso especifico dos colmos a serem utilizados. Na falta de dados experimentais pode-se adotar 0,8 kN/m3, para colmos secos com a umidade de equilíbrio com a atmosfera.

6.4.5 O valor das demais ações permanentes e acidentais são os especificados na *NBR 6120 Cargas para o cálculo de edificações*. As ações do vento devem ser consideradas conforme *NBR 6123 Forças devidas ao vento em edificações*

6.4.6 A verificação do estado limite de serviço por deflexão excessiva (flecha) é feita com a combinação quase permanente de ações da NBR 8681.

**6.5 Outras considerações**

6.5.1 Os cálculos serão realizados usando-se modelos de projeto apropriados (complementados, se necessário, por ensaios experimentais) envolvendo todas as variáveis pertinentes. Os modelos serão suficientemente precisos para predizer o comportamento estrutural, considerando o padrão a ser atingido pela mão de obra que permita a confiabilidade das informações sobre as quais o projeto é baseado.

6.5.2 Os colmos de bambu são analisados como tubos não perfeitamente retos, com espessura da parede variável e forma tronco-cônica (diâmetro diferente nas duas extremidades do elemento estrutural).

6.5.2.1. Elementos com comprimento L= 65, sendo a média dos diâmetros externos médios extremos podem ser tratados como prismáticos, na verificação de flexão e flambagem.

6.6.2.2.As conexões, diferentemente, devem levar em conta as espessuras de parede locais. Por simplificação de fabricação e inspeção e de forma a reduzir o número de verificações localizadas, os elementos devem ser selecionados de forma a atender a uma espessura mínima de parede de acordo com a espécie utilizada.

6.5.3 Métodos de análise estrutural convencionais dos elementos são usados definindo-se uma imperfeição acidental mínima igual a L/250, o diâmetro médio e a espessura média de parede como a média das espessuras médias das extremidades.

6.5.4 As juntas de ligação dos colmos entre si e a ligação destes com os apoios devem ser considerados do segundo gênero (rotação livre), a menos que se disponham de dados que assegurem um apoio tipo mola ou engaste.

6.5.6 O teorema de Bernouli das seções planas é válido no cálculo das estruturas de bambu.

**6.6 Dimensionamento e segurança**

Dimensionamento aqui significa a escolha das dimensões dos colmos que atendam à segurança estrutural. Normalmente, indicam-se os valores mínimos requeridos para o diâmetro externo Dmin e a espessura da parede do colmo, tmin.

Considera-se que a segurança está satisfeita quando, numa seção critica, a tensão de cálculo (obtida majorando-se as ações, conforme 6.4.1) é menor ou igual à correspondente resistência de cálculo (obtida minorando-se as resistências do bambu, como indicado em 8.1.2), ou, de maneira equivalente, quando o esforço solicitante de cálculo é menor ou igual ao esforço resistente de cálculo (esforço aqui significando momento fletor, esforço cortante, esforço normal, momento torsor).

A escolha das dimensões dos colmos pode ser feita a partir da igualdade da tensão solicitante de cálculo com a resistência correspondente de cálculo (ou da igualdade entre o esforço solicitante de cálculo com o esforço resistente de cálculo).

**6.7 Método de projeto alternativo**

É permitido o uso de métodos de projeto alternativos diferentes do indicado nesta Norma, desde que ele mostre estar de acordo com os princípios estruturais mais relevantes, e pelo menos equivalente no que diz respeito à resistência, servicibilidade e durabilidade, obtidas pela estrutura projetada de acordo com esta Norma.

# 

# 7 Durabilidade das estruturas de bambu

**7.1 Considerações iniciais**

O bambu passa pelas seguintes etapas que influem na sua durabilidade antes de ser empregado nas construções:

- seleção dos colmos

- corte

- cura

- secagem

- tratamentos preservativos

7.1.1 Somente colmos maduros, com mais de três anos de idade, devem ser selecionados no bambuzal para emprego na construção. Colmos que não atingiram a maturação, além de menor resistência, apresentam menor durabilidade.

7.1.2 O corte do bambu das touceiras deve ser feito sem choques para evitar fissuração dos colmos. O corte deve ser feito razando um nó na base do colmo, de forma a evitar acúmulo de água no pedaço remanescente que pode levar a apodrecê-lo e danificar os rizomas.

7.1.2.1. Para aplicação de elementos tubulares em estruturas, despreza-se um segmento de cerca de 30 a 50 da base dos colmos de diâmetro basal até 5 cm e um segmento de cerca de 80 a 100 cm da base dos colmos de diâmetro basal de 10 cm ou mais, por destoarem significativamente e anatomia do restante do colmo.

## 7.1.3 Cura é o processo para diminuição da seiva no interior do bambu. Há diversas formas de se fazer a cura. Numa exploração racional do bambusal, ela pode ser feita concomitantemente com o processo de secagem, natural ou industrial.

## 7.1.4 Somente colmos secos devem ser usados para se minimizarem as variações dimensionais, a fluência dos elementos e para aumento de resistência mecânica. Pode-se considerar que o bambu esteja seco quando se encontra na umidade de equilíbrio com o ambiente, ou seja, quando não apresenta mais variação de massa ao longo do tempo.

7.1.5 Durante o processo de secagem podem ocorrer fissuras nos colmos. As peças para uso estrutural podem apresentar fissuras apenas nos entrenós. Elas fissuras não devem ter abertura superior a 0,5 mm.

7.1.6 Colmos que apresentem fissuras cuja soma dos comprimentos atinja 20% do comprimento da peça, ou com fissuras perimetrais no nós devem ser rejeitadas para uso estrutural.

7.1.7 Os colmos não devem apresentar perfurações causadas por insetos ou trecho indicando apodrecimento.

7.1.8 Algumas espécies de bambu são particularmente sensíveis ao ataque de insetos. O Bambu deve receber um tratamento preservativo a menos que ele tenha durabilidade natural adequada para o uso que se desejar (por exemplo, estruturas temporárias de curta vida útil). No caso de exportação de colmos para outros países, este tratamento deverá ser adequado tanto para o ambiente de origem quanto para o de destino.

Especial atenção deve ser dada aos aspectos ambientais e de saúde dos trabalhadores e do usuário da estrutura, durante qualquer processo de aplicação de preservativos no bambu.

**7.2 Fatores que devem ser considerados no projeto**

Para assegurar uma adequada durabilidade para a estrutura de bambu, os seguintes fatores interelacionados devem ser considerados no projeto:

## - A vida útil de serviço esperada

## - O uso da estrutura

## - O desempenho requerido

## - As condições ambientais previstas

## - A composição, propriedades e desempenho dos materiais

## - A forma dos elementos estruturais e seu detalhe

## - A qualidade da mão de obra e nível de controle dos materiais e da construção

## - Medidas de proteção particulares

## - A manutenção durante a vida útil desejada

## 7.2.1 As condições ambientais serão levadas em conta na fase de projeto para se avaliar o significado delas em relação à durabilidade e se tomar providências adequadas de proteção dos materiais. Deve-se evitar que os colmos da estrutura de bambu fiquem expostos a incidência direta do sol por longos períodos durante o dia. Do mesmo modo, a incidência da chuva deve ser evitada.

7.2.2 Em nenhum caso devem ser utilizadas estruturas de bambu quando a temperatura a que vão estar submetidas exceda 65º C.

7.2.3 Cuidados especiais devem ser tomados para prevenir falha nas ligações, causadas por deterioração do bambu, devidas a acúmulo de umidade, falta de ventilação em torno das juntas, e ataque por insetos.

7.2.4 Quando se usarem conexões metálicas, estas devem ser de material resistente à corrosão, ou serem protegidas contra ela.

7.2.5 A utilização de pregos é crítica, exige pré-furação e investigação específica, devendo por isso ser evitada.

7.2.6 Quando se colocar um colmo paralelamente a outro com contato direto entre eles, verificar se não há possibilidade de acúmulo de umidade nesse contado.

7.2.7 Cuidados especiais devem ser tomados para vedar os extremos dos colmos com massa de serra de bambu, pó de serra mesclada com cola ou algo equivalente.

**8 Propriedades do bambu**

**8.1 Propriedades mecânicas**

As propriedades mecânicas do bambu normalmente usadas nos projetos são:

ft0 - Resistência à tração paralela às fibras

fc0 - Resistência compressão paralela às fibras

Et0 - Módulo de elasticidade à tração paralela às fibras:

Ec0 - Módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras:

fv0 - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

fv90 - Resistência ao cisalhamento normal às fibras

f esm - Resistência ao esmagamento (pressão de contato)

fM - Resistência à flexão de parede do colmo

fMcol- Resistência à flexão do colmo

Essas propriedades mecânicas (resistências e módulos de elasticidade), são obtidas conforme *ABNT xxxxx Parte 2 - Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu.*

A resistência à tração paralela às fibras obtida na citada norma varia significativamente com a presença ou ausência de nó no centro do corpo de prova. O valor a considerar nos cálculos é o correspondente aos corpos de prova com nó.

O aumento do teor de umidade dos corpos de prova influi significativamente e de forma negativa nas resistências. Por isso, os corpos de prova no momento do ensaio devem estar secos e com a umidade de equilíbrio com a atmosfera. A temperatura e umidade do ambiente do laboratório por ocasião dos ensaios devem ser anotadas em todos os documentos gerados, conforme Parte 2 desta Norma.

Como referência, a umidade de equilíbrio do bambu com o meio ambiente está entre 12% e 20%, de acordo com a região do país e proximidade de grandes volumes de água, como litorais e grandes represas, o que pode levar a uma variação de resistência à compressão paralela e ao cisalhamento paralelo às fibras de cerca de 60 %.

As propriedades mecânicas do bambu podem também ser obtidas a partir de outra propriedade (como por exemplo a resistência à compressão, mais fácil de medir que as demais), desde que se tenha uma bem estabelecida relação entre elas).

*8.1.1 Valor característico de propriedade mecânica*

O valor característico das propriedades mecânicas do bambu acima citadas é aquele que tem 5% de probabilidade de não ser atingido em determinado lote de bambu.

Assim, uma resistência característica genérica, fk pode ser dada por:

fK = f0.05  = fm -1,645.s

Onde:

fk = valor característico da resistência

fm = valor médio

s = desvio padrão dos resultados da amostra

devendo-se ensaiar pelo menos 12 corpos de prova.

*8.1.2 Valor de cálculo*

O valor de cálculo das propriedades mecânicas é dada pela equação 2:

fd = kmod fk /γm (2)

Com

kmod  - coeficiente de modificação da resistência dado por:

kmod = kmod,1 · kmod,2 · kmod,3  (3)

sendo

kmod,1 : coeficiente que depende do tipo de carregamento, dado na Tabela 1

Tabela1 – Valores de kmod,1

|  |  |
| --- | --- |
| Tipo de carregamento | Kmod,1 |
| Permanente | 0,7 |
| Longa duração | 0,8 |
| Média duração | 0,9 |
| Curta duração | 1,0 |
| Instantânea | 1,1 |

kmod,2 : coeficiente que depende da umidade do ambiente no qual a estrutura vai estar inserida, dado por:

kmod,2 = 1,0 se UR< 65%

kmod,2 = 0,8 se %65<UR<85%

kmod,2 = 0,6 se UR ≥ 85%

kmod,3: coeficiente que depende da qualidade (linearidade, presença de fissuras) do colmo, o que pode também ser função da espécie, do manejo do bambusal, das fases por que passa após o corte. Pode-se adotar, para colmos secos em boas condições, preferencialmente de plantações manejadas, os valores indicados da Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de kmod,3 para colmos secos sem fissuras

|  |  |
| --- | --- |
| *Espécie de bambu* | *Kmod,3* |
| Dendrocalamus giganteus | 1,0 |
| Dendrocalamus asper | 1,0 |
| Guadua Angustifólia | 1,0 |
| Phyllostachys heterocycla pubescens-Mosó | 1,0 |
| Phyllostachys bambusoides-Matake | 1,0 |
| Bambusa vulgaris | 0,9 |
| Bambusa tuldoides | 0,9 |

γm  é o coeficiente de minoração das propriedades mecânicas podendo ser adotado:

γm = 1,4 para dimensionamento e verificações nos estados limites últimos, salvo indicação contrária;

γm = 1,0 para verificações nos estados limites de serviço

**8.2 Relação tensão-deformação**

Admite-se para o bambu, em tração ou em compressão, uma relação linear entre tensão e deformação até a ruptura.

Um comportamento elástico pode também ser assumido.

**8.3 Propriedades físicas**

As propriedades físicas do bambu, como umidade, massa volumétrica e retração, são obtidas conforme Parte 2 desta Norma.

* 1. **Propriedades geométricas**

8.4.1 Momento de inércia

O momento de inércia de colmo simples, I, deve ser determinado como segue:

- Como a seção transversal é elíptica, o diâmetro externo médio de cada extremidade é a média do maior diâmetro e do menor diâmetro tomados visualmente.

-Como a espessura de parede varia numa mesma seção transversal, a espessura média de parede de cada extremidade é a média entre a maior espessura e a menor espessura tomadas visualmente.

- A partir desses valores, calcula-se o diâmetro médio do elemento e a espessura média de parede do elemento , como a média dos valores extremos e trata-se a barra como prismática até um comprimento L = 65, quando selecionadas nos trechos basal e médio do colmo, que têm uma razão de conicidade menor. Ver ítem 7.1.2.1.

- Elementos tirados do trecho superior do colmo podem exigir uma análise do elemento como troco cônica.

- O diâmetro interno médio do elemento é dado pela equação 4:

(4)

O momento de inércia do elemento tratado como prismático deve ser calculado usando-se esses valores médios, pela equação 5:

(5)

8.4.1.1 Quando se empregam vários colmos para conformar um elemento estrutural (vigas compostas, pilares compostos), a inércia do conjunto é a soma das inércias individuais, a menos que se garanta um trabalho conjunto de todos os colmos, quando a inércia poderá ser calculada usando-se o teorema dos eixos paralelos.

8.4.2 Área

A área geométrica da seção transversal do colmo, dada pela expressão (6), com os diâmetros externo e interno obtidos conforme 8.4.1.

Ageo = π /4 (6)

8.4.3 Conicidade

A conicidade de um trecho de colmo de bambu é a relação da diferença entre o maior e o menor diâmetro externo e o seu comprimento:

δ = (Dmax – Dmin)/L (7)

8.4.3.1 Os colmos para uso estrutural não devem ter conicidade superior a 1%.

**9 Vigas**

Nesta norma, vigas são os elementos das estruturas de bambu submetidos predominantemente à flexão. O projeto de vigas estará baseado no cálculo estrutural. Este levará em conta os artigos seguintes, contanto que a carga seja simétrica. Para cargas assimétricas, tensões em pontos críticos deverão ser calculadas.

**9.1 Vão teórico**

9.1.1 Em vigas simplesmente apoiadas, o vão teórico será a distância entre as faces do apoio mais metade do comprimento do apoio em cada lado.

9.1.2 No caso de vigas continuas, o vão teórico será considerado a distância de centro a centro de apoios.

9.1.3 Em vigas em balanço, o vão teórico pode ser considerado o vão livre mais metade do comprimento do apoio.

* 1. **Dimensionamento à flexão**

Seções compostas com feixes de bambu amarrados entre si por fitas de aço devidamente apertadas funcionam com o momento de inércia que é a soma dos momentos de inércia de cada elemento, sem a aplicação do teorema dos eixos paralelos.

Seções compostas de bambus parafusados entre si devem levar em conta o diâmetro dos parafusos, a distância entre os parafusos ao longo da viga e a continuidade ou descontinuidade dos elementos que fazem a composição.

Como o bambu é mais resistente à tração que à compressão, o controle da segurança se faz pela tensão de compressão na flexão. Do mesmo modo o módulo de elasticidade à tração é normalmente maior do que o módulo de elasticidade à compressão. Contudo, por simplificação, pode-se considerar a linha neutra coincidindo com o centroide da seção. Deste modo, o dimensionamento de vigas de bambu pode ser feito a partir das expressões (8) e (10).

σcd = Md/W (8)

Com Md  sendo o momento solicitante de cálculo, obtido com a combinação normal de ações da NBR 8681.

W é o momento resistente da seção transversal:

(9)

A segurança está satisfeita se:

σcd ≤ fc0,d  (10)

fc0,d  vem da expressão (2):

fc0,d  = kmod .fc0,k/ γm  (11)

com γm = 1,4

**9.3 Verificação do estado limite de serviço por deflexão excessiva (flecha)**

Um colmo único trabalhando como viga é pouco eficiente por conta do relativamente baixo valor da rigidez à flexão, por isso, normalmente, o fator limitante no projeto é a deflexão e não a resistência do bambu. O uso de vigas com mais de um colmo ajuda a suprir essa deficiência.

9.3.1 A deflexão máxima da viga a longo termo deve ser calculada e comparada com o valor limite indicado em 6.3.2. A curvatura inicial deve ser levada em conta no cálculo da flecha.

9.3.2 Por conta da fluência do bambu, considera-se que a flecha ao longo do tempo devida às ações permanentes atinja um valor 1,7 vezes maior que a flecha inicial, obtida usando-se a combinação quase permanente de ações da NBR 8681. (12)

**9.4 Verificação ao cisalhamento**

As tensões de corte em vigas são normalmente muito pequenas. Porém, a tensão de cisalhamento na linha neutra nas proximidades do apoio deve ser verificada, se o comprimento da viga é menor que 25 vezes o diâmetro de sua extremidade, ou no caso de 9.7.2 e 9.7.3. a).

No caso de vigas compostas por feixe de mais de um colmo, o esforço cortante em cada um deles pode ser considerado como o valor total daquele esforço dividido pelo número de colmos. No caso de vigas compostas colmos ligados por parafusos os estados limites acontecem na interface dos elementos, principalmente nas extremidades onde se tem o maior deslizamento, com o esmagamento das paredes do bambu nessas interfaces.

A segurança está satisfeita se:

 d ≤ fvd  (13)

com

d = 2.Vd/(π.t) (14)

Vd é o esforço cortante de cálculo (obtido com a combinação normal de ações)

A resistência característica ao cisalhamento paralela às fibras, na falta de dados experimentais, pode ser tomada igual a:

fv0,k = 0,11 fc0,k  (15)

efvd = kmod .fc0,k/ γm

**9.5 Verificação ao esmagamento do colmo**

A segurança ao esmagamento das paredes do colmo está satisfeita se a força de cálculo obtida a partir da combinação normal de ações, satisfaz a:

Fd ≤ [2.fct90,d . t. a]/(3.D) (16

Fd – força concentrada de cálculo aplicada

fct90,d = resistência à tração de cálculo perpendicular à fibra, dado por (17) com γm = 1,4

t = espessura da parede

a = comprimento de contato da força aplicada com o colmo de bambu

D = diâmetro externo do bambu no local de aplicação da carga

.

Todos os colmos de bambu submetidos a esforços de compressão perpendicular às fibras devem ter o internó onde há aplicação da força concentrada preenchidos com argamassa de cimento ou resina expansiva de alta densidade. Caso esta providência não seja tomada, adotar na equação 17, γm = 3.

fct90,d = kmod . fct90,k / γm  (17)

**9.6 Vigas compostas**

Quando se utiliza mais de um colmo para compor a viga, estes devem estar conectados com parafusos, cintas metálicas ou qualquer outro elemento que garanta o trabalho em conjunto. Estes conectores devem ser projetados para resistir às forças que aparecem nas uniões, e nos entrenós onde se localizam devem ser tomadas medidas para evitar falha por corte paralelo às fibras ou esmagamento do colmo.

9.6.1 O espaçamento dos conectores não pode exceder a:

- três vezes a altura total da viga

- um quarto do vão

- o valor correspondente a:

s = 7.L/V

com

s = espaçamento dos conectores em mm

L = vão da viga em mm

V = esforço cortante de serviço em kN

9.6.2 O primeiro conector deve situar-se a uma distância de 150 mm medido à partir da extremidade da viga.

9.6.3 Todos os entrenós de vigas de seção composta que são atravessados ou presos por conectores devem ser preenchidos com argamassa de cimento numa relação volumétrica 1:3 e preferencialmente com aditivo plastificante, ou serragem de bambu ou de madeira com cola ou outro material composto semelhante.

**9.7 Outras recomendações**

9.7.1 Cargas ou reações de apoio devem atuar nos nós ou tão próximo deles quanto possível.

9.7.1.1. As extremidades apoiadas que não coincidem com um nó devem ser preenchidas com algum material compósito para aumentar a resistência ao esmagamento..

9.7.2 Nos pontos onde existem cargas concentradas, medidas devem ser tomadas para evitar falha por corte paralelo às fibras conforme 9.4 ou esmagamento do colmo, conforme 9.5.

9.7.3 Devem ser evitadas perfurações nas vigas. Caso sejam necessários, os furos devem constar no projeto, observando-se o que segue:

1. não devem ser feitos horizontalmente na altura de linha neutra. Em caso obrigatório, deve-se tomar providencias para evitar falha por cisalhamento paralelo às fibras, conforme 9.5 e adotar:

fv0,d = kmod .fv0,k/γm  (18)

com γm = 1,8

1. Caso existam furos na zona tracionada de elementos estruturais, a resistência à tração de cálculo a considerar é:

ft0,d = kmod. ft0,k/ γm (19)

com γm = 1,8

c) O diâmetro do furo deve ser de no máximo 25 mm.

9.8.5 Para vigas nas quais atuem cargas axiais e de flexão, a interação das tensões aplicadas deve ser considerada.

**10 Pilares**

Pilares ou colunas são elementos predominantemente sob cargas axiais. Para fazer parte de colunas, devem ser selecionados os colmos mais retos possíveis, com imperfeição acidental

**10.1 Projeto de pilares**

10.1.1 O projeto de pilares deve ser baseado em um dos dois itens seguintes:

a- Testes de flambagem em escala real usando-se colmos da mesma espécie, dimensão e outras variáveis relevantes.

b- Cálculos levando em conta que:

- O momento de inércia deve ser determinado de acordo com equação (5) de 8.4.1.

**-** As tensões de flexão devidas à curvatura inicial, excentricidades e deflexões induzidas devem ser consideradas adicionalmente àquelas devidas a qualquer carga lateral..

- O cálculo da flambagem deve estar de acordo com a expressão de Euler, trabalhando-se com o diâmetro médio e espessura média , considerando-se a barra como prismática, para comprimentos máximos iguais a 65. Caso a razão de conicidade δ (equação 9), devido à forma tronco-cônica seja maior que 1/170, deve-se reduzir o momento de inércia calculado em 10%.

10.1.2 A esbeltez, λ, máxima tolerada para um pilar de bambu é 240. Esta pode ser obtida pela expressão:

λ = (L/i) (20)

com o raio de giração i, dado por:

i = (I/A)1/2 (21)

com I e A obtidos conforme 8.4.1 e 8.4.2.

10.1.3 O bambu sempre possui imperfeições iniciais, de forma que, trabalhando como pilar, está sujeito à flexo-compressão. A segurança é controlada pela tensão de compressão máxima, segundo a expressão:

σNd/fco,d + σMd/fc0,d ≤ 1 (22)

Nesta expressão:

σNd = Nd/A (23)

é a tensão de compressão devida ao esforço normal de cálculo

Nd o esforço normal de cálculo obtido com a combinação normal de ações da NBR 8681

A = área da seçãotransversal do bambu, dada em 8.4.2.

σMd  é a tensão de compressão devida ao momento fletor de cálculo, igual a σcd da expressão (8) com o momento de cálculo dado por:

Md = Nd.e/(1-Nd/FE) (24)

Sendo;

e = ei +ea+ ec  (25)

a excentricidade total composta pela excentricidade inicial (ei), excentricidade das imperfeições acidentais (ea) que pode ser medida, excentricidade devida à fluência do bambu (ec), dadas pelas expressões (28) a (30).

ei = M1d/Nd  ≥ /20 (26)

M1d = momento devido à excentricidade acidental

ea ≥ L/250, caso não seja medida (27)

ec = (eqp + ea)[2,718α -1] (28)

com

eqp  = excentricidade com momento fletor (Mqp) e esforço cortante (Nqp) obtidos usando-se a combinação quase permanente de ações da NBR 8681

eqp= Mqp/ Nqp  (28)

α = φ.Nqp/[FE – Nqp] (29)

φ = coeficiente de fluência do bambu aqui considerado igual a 0,8

FE = força de Euler dada por:

FE = (π2. Eco,d.I)/L2  (30)

10.1.4 Peças com esbeltez λ ≤ 70 submetidas à compressão dispensam a consideração da fluência do bambu.

10.1.5 Colunas compostas por mais de um colmo

10.1.5.1 Colmos sem ligação entre si, o momento de inércia do pilar é a soma das inércias individuais.

10.1.5.2 Colmos garantidamente unidos ao longo do comprimento, o momento de inércia do conjunto pode ser calculado pelo teorema de Steiner dos eixos paralelos.

I = ΣIi + Σ Ai . di

Com Ii e Ai momento de inércia e a área do iésimo colmo, dados em 8.4.1 e 8.4.2., e di a distância do respectivo centróide ao centróide conjunto de colmos.

10.1.5.3 Pilares compostos por colmos afastados entre si, conectados não continuamente

I = Σ Ai .di

**11 Ligações**

**11.1 Generalidades**

11.1.1 As ligações devem ser projetadas de forma a assegurar continuidade estrutural entre elementos, o que inclui:

- transmissão de forças de acordo com o modo prescrito no projeto da estrutura

- deflexões que podem ser previstas e que devem ser mantidas dentro de limites aceitáveis

O conceito de projeto de juntas de bambu deve ser baseado no cálculo, o qual por sua vez deve se fundamentar em uma das alternativas indicadas em 11.1.2, 11.1.3 ou 11.1.4.

11.1.2 Alternativa de ligação completa. Nesta alternativa, a articulação completa para uma determinada carga e geometria é especificada para elementos de um tamanho particular. Isto inclui a descrição de todos os tamanhos de elemento de fixação e localizações. Dados para esta alternativa devem ser baseados em testes em escala real.

11.1.3 Alternativa baseada na capacidade dos componentes da ligação. Isto permite projetar uma articulação para uma determinada carga usando a capacidade de cada um dos componentes da articulação. A capacidade de cada componente estará ligada a uma geometria específica e a uma direção de carga. Dados sobre esta capacidade de carga devem ser baseados em testes em escala real.

11.1.4 Princípios de projeto alternativo. Aqui, a resistência básica de ligações de seus materiais deve ser especificada de maneira que permitirá o projeto de articulações seguras e eficientes de geometria variável e conforme a direção da carga.

NOTA: há requisitos na construção que devem ser considerados para que a capacidade de carga da ligação seja válida. Eles são frequentemente detalhes construtivos e não numéricos. Por exemplo, conexões de extremidade de um membro de compressão precisam de um comprimento adequado para a efetiva capacidade de carga ser válida. Outros exemplos comuns incluem o espaçamento entre a as conexões de elementos de uma coluna ou a rigidez necessária para restringir a flambagem dos colmos individuais.

**11.2 Ensaios**

Ensaios em articulações em escala natural ou em seus componentes, quando necessários, devem ser realizados de acordo com as normas ISO aplicáveis, como ISO 6891, "Estruturas de madeira. Juntas feita com fixadores mecânicos: princípios gerais para a determinação de características de resistência e deformação".

**11.3**  **Resultados de testes**

Quando se usa diagramas carga-deformação obtidos de ensaios em ligações, os itens a seguir devem se levados em conta:

11.3.1 A capacidade de carga de uma junta de múltiplos componentes muitas vezes será menor do que a soma da capacidade de cada componente individual.

11.3.2 Se em uma ligação há mais de um tipo de componente, deve-se levar em conta o efeito das propriedades diferentes desses componentes.

11.3.4 A capacidade de uma articulação será reduzida se ela está sujeita a inversão de carregamento.

.

**12 – Estruturas reticuladas e treliças**

**12.1 Generalidades**

12.1.1 A menos que um modelo mais geral seja usado, estruturas reticuladas e treliças devem ser representadas, para fins de análise, por elementos lineares conectados entre si.

12.1.2 As linhas que representam os elementos da estrutura devem estar dentro do perfil dos mesmos, e nos elementos externos devem coincidir com o seu eixo. Ouvir

Ler foneticamente

Dicionário - [Ver dicionário detalhado](http://www.google.com.br/dictionary?source=translation&hl=pt-BR&q=&langpair=en|pt)

12.1.3 Elementos de viga fictícia podem ser usados para modelar as conexões excêntricas ou apoios. A orientação desses elementos deverá coincidir, tanto quanto possível com a direção da força no elemento.

12.1.4  Na análise estrutural, a não linearidade geométrica de um elemento comprimido (instabilidade por flambagem) poderá ser desconsiderada se ela for levada em conta na verificação da resistência do elemento individual.

**12.2 Análise global**

12.2.1 A análise de estruturas reticuladas e treliças deve ser feita a partir dos princípios conhecidos da mecânica. A partir deles é feita a determinação das deformações dos elementos e das articulações. A influência de excentricidades de apoio e da rigidez da estrutura de suporte são levados em conta na determinação das forças e momentos nos elementos estruturais.

Ouvir

Ler foneticamente

Dicionário - [Ver dicionário detalhado](http://www.google.com.br/dictionary?source=translation&hl=pt-BR&q=&langpair=en|pt)

12.2.2 Se as retas que representam as barras dos elementos internos não coincidem com o seu eixo, a influência da excentricidade deve ser levada em conta na verificação da resistência desses elementos.

12.2.3 Como o diagrama tensão-deformação para o bambu é linear até as vizinhanças da ruptura,as análises lineares dão bons resultados se ligações parafusadas são usadas, apesar de os bambus não serem perfeitamente retos.

12.2.4 As extremidades de elementos estruturais que convergem numa ligação podem ser geralmente consideradas como livres para rotacionar.

12.2.5 Deslizamentos nas articulações devem ser levados em conta na verificação da resistência da estrutura, a menos que sua influência sobre a distribuição de forças internas e momentos possa ser considerada desprezível.

12.2.6. O travamento dos nós das treliças por mãos francesas ou contraventamentos em X, é fundamental para a consideração dos comprimentos livres de flambagem iguais ao comprimento físico da peça. Caso uma das extremidades esteja livre para transladar, o comprimento de flambagem da barra deve ser considerado igual a 2L.

12.2.7 Verificação da estabilidade lateral (fora do plano) dos elementos deve ser feita.

12.2.8 Como não há ainda norma para teste em treliças, pode-se aplicar a ISO 12581-Estruturas de madeira – princípios gerais para ensaios estáticos

**12.3 Análise simplificada**

Como uma alternativa à análise global, uma análise simplificada é permitida para treliças compostas por triângulos e retângulos que cumpram as seguintes condições:

- o módulo externo é composto por um único triângulo ou retângulo,

- uma parte da estrutura resistente está verticalmente abaixo do nó de apoio,

- a altura da treliça excede 0,15 vezes o vão no caso de uma treliça triangular, ou 0,10 vezes o vão no caso de uma treliça com modulo retangular.Ouvir

Ler foneticamente

Dicionário - [Ver dicionário detalhado](http://www.google.com.br/dictionary?source=translation&hl=pt-BR&q=&langpair=en|pt)

12.3.1 As forças axiais nos membros devem ser determinados admitindo-se que cada ligação entre os elementos é articulada.

12.3.2 Momentos fletores em um elemento que é contínuo sobre uma junta devem ser determinados como se ele fosse uma viga contínua apoiada nessa junta. Os efeitos da deflexão ou da fixação parcial da conexão devem ser considerado

**13 Controle de qualidade**

Um controle da qualidade passa pela conveniente classificação dos colmos de bambu a serem usados na estrutura.

**13.1 Classificação dos colmos de bambu**

13.1 Os colmos de bambu devem ser escolhidos e classificados de forma a garantir que suas propriedades sejam satisfatórias para uso na engenharia, e especialmente que as propriedades de resistência e de rigidez sejam confiáveis.

13.2 As regras de classificação devem ser baseadas numa avaliação visual do bambu, ensaios não-destrutivos de uma ou mais propriedades, ou na combinação dos dois métodos

13.3 Especial atenção será dada às propriedades como a idade, o conicidade do colmo, a linearidade, comprimento dos entrenós, o conteúdo de umidade e a distribuição de nós.

**13.2 Manual de garantia da qualidade**

O manual de garantia da qualidade deve abordar assuntos necessários ao programa de garantia de qualidade, incluindo o seguinte:

14.2.1 Especificações de materiais, incluindo a entrada de material, inspeção e exigências de aceitação

14.2.2 Testes de inspeção de garantia da qualidade e procedimentos de aceitação.

14.2.3 Frequência da coleta de amostras para inspeção

14.2.4 Procedimentos a serem seguidos em caso de não conformidade

14.2.5 Etiquetagem, manuseio, proteção e exigências de transporte, conforme requisitado para a qualidade e desempenho do produto acabado,

**13.3** **Registros da garantia da qualidade**

Todos os registros pertinentes de garantia de qualidade devem ser mantidos devidamente arquivados e estar disponíveis para fiscalização. Em tais registros devem constar todos os resultados de ensaios, incluindo os de repetições de testes feitos em produtos que tenham apresentado não conformidade em ensaios ou inspeções, e detalhes de quaisquer ações corretivas adotadas.OuvirLer foneticamente

Dicionário - [Ver dicionário detalhado](http://www.google.com.br/dictionary?source=translation&hl=pt-BR&q=&langpair=en|pt)

Ouvir

Ler foneticamente

Dicionário - [Ver dicionário detalhado](http://www.google.com.br/dictionary?source=translation&hl=pt-BR&q=&langpair=en|pt)

**13.4 Programa de ensaios**

O manual de controle da qualidade deve conter um programa mínimo de ensaios necessário para manter a qualidade do produto.

O nível de controle selecionado será consistente com os valores de projeto e o uso previsto para o material.

Quando a análise dos dados indica que as propriedades do material estão abaixo do nível de controle exigido, o lote correspondente estará sujeito a ré-exame.