

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
16828-1**

Primeira edição
21.12.2020

**Estruturas de bambu
Parte 1: Projeto**

*Bamboo Structures
Part 1: Design*



ICS 91.080.99



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 16828-1:2020
31 páginas

© ABNT 2020

ABNT NBR 16828-1:2020



© ABNT 202020

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário	Página
Prefácio	vi
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	1
4 Simbologia	2
4.1 Generalidades.....	2
4.2 Símbolos e abreviaturas	2
4.2.1 Letras minúsculas.....	2
4.2.2 Letras maiúsculas	3
4.2.3 Letras gregas.....	3
4.3 Símbolos e abreviaturas subscritos.....	3
4.3.1 Letras minúsculas.....	3
4.3.2 Letras maiúsculas	4
5 Conceitos gerais para o projeto de estruturas de bambu.....	4
5.1 Generalidades.....	4
5.2 Estados-limite últimos	4
5.3 Estados-limite de serviço	5
5.4 Ações e suas combinações	5
5.5 Outras considerações.....	5
5.6 Dimensionamento e segurança	6
5.7 Método de projeto alternativo	6
6 Requisitos de qualidade básicos da estrutura.....	6
6.1 Requisitos gerais	6
6.2 Requisitos de projeto.....	7
7 Durabilidade das estruturas de bambu.....	7
7.1 Considerações iniciais	7
7.2 Fatores que devem ser considerados no projeto	8
8 Propriedades do bambu	9
8.1 Propriedades mecânicas	9
8.1.1 Valor característico de propriedade mecânica.....	10
8.1.2 Valor de cálculo de propriedade mecânica.....	10
8.2 Relação tensão-deformação	11
8.3 Propriedades físicas	11
8.4 Propriedades geométricas	12
8.4.1 Momento de inércia de seção de colmo simples	12
8.4.2 Momento de inércia de seção composta por mais de um colmo	12
8.4.3 Área de seção transversal.....	12
8.4.4 Conicidade	13
9 Vigas.....	13
9.1 Vão teórico.....	13
9.2 Vigas compostas por um único colmo	13

ABNT NBR 16828-1:2020

9.2.1	Dimensionamento à flexão	13
9.2.2	Verificação ao cisalhamento	14
9.3	Vigas compostas por mais de um colmo	14
9.3.1	Dimensionamento à flexão	14
9.3.2	Verificação ao cisalhamento	15
9.4	Verificação do estado limite de serviço por deflexão excessiva (flecha)	16
9.5	Verificação ao esmagamento do colmo	16
9.6	Outras recomendações	16
10	Pilares	17
10.1	Geral	17
10.2	Projeto de pilares	17
10.2.1	Comprimento de flambagem	17
10.2.2	Esbeltez máxima	18
10.2.3	Pilar curto ($\lambda \leq 30$) composto por um único colmo	18
10.2.4	Pilar médio ($30 \leq \lambda \leq 70$) composto por um único colmo	18
10.2.5	Pilar esbelto ($70 \leq \lambda \leq 150$) composto por um único colmo	19
10.2.6	Pilares compostos	20
11	Ligações	21
11.1	Generalidades	21
11.2	Ensaio	22
11.3	Resultados dos ensaios	22
12	Estruturas reticuladas e treliças	22
12.1	Generalidades	22
12.2	Análise global	22
12.3	Análise simplificada	23
13	Controle de qualidade	23
13.1	Classificação dos colmos de bambu	23
13.2	Manual de garantia da qualidade	24
13.3	Registros da garantia da qualidade	24
13.4	Programa de ensaios	24
Anexo A	(normativo) Ligações em estruturas de bambu	25
A.1	Tipos de corte	25
A.2	Ligações com auxílio de chapas e ou parafusos metálicos para união entre colmos (Figura A.2), conforme NEC-SE-Guadua	25
A.3	Ligações com abraçadeiras, cintadas e amarradas	28
A.4	Ligações com tarugos e peças de madeira	30
A.5	Ligações com luvas	31
A.6	Preenchimento dos entrenós	31

Figuras

Figura A.1	– Tipos de corte conectivos em bambu conforme NSR 10	25
-------------------	---	-----------

Figura A.2 – Ligação longitudinal de duas peças de bambu com duas chapas metálicas (conforme NEC-SE-Guadua)	26
Figura A.3 – Ligação longitudinal de duas peças de bambu com dois pedaços externos de bambu (conforme NEC-SE-Guadua)	26
Figura A.4 – Conforme a NSR-10	27
Figura A.5 – União diagonal com bambu de apoio (conforme E100)	27
Figura A.6 – Ligação com ganchos e parafusos	28
Figura A.7 – Ligação com abraçadeiras metálicas (conforme NSR-10)	28
Figura A.8 – Uniões cintadas e amarradas para bambu (conforme NE-SE-Guadua).	29
Figura A.9 – Ligações amarradas	29
Figura A.10 – Ligação com tarugo (conforme NEC 2017)	30
Figura A.11 – Ligação com peça roliça de madeira (conforme NEC-SE-Guadua)	30
Figura A.12 – Ligação com luvas	31
Figura A.13 – Preenchimento de entrenó de ligação com argamassa (conforme E 100).....	31

Tabelas

Tabela 1 – Resistências características do bambu a partir da resistência característica à compressão paralela às fibras.....	10
Tabela 2 – Valores de $k_{mod,1}$.....	11
Tabela 3 – Valores de $k_{mod,2}$.....	11
Tabela 4 – Coeficiente de minoração das resistências características do bambu, γ_m.....	11
Tabela 5 – Valor de k_{mod4} (conforme NSR 10)	15

ABNT NBR 16828-1:2020

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 16828-1 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Bambu (CE-002:126.012). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 01, de 30.01.2020 a 30.03.2020.

A ABNT NBR 16828-1 não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, nem àqueles que venham a ser protocolados no prazo de até 180 dias após esta data.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 16828-1 é o seguinte:

Scope

This Standard establishes the basic requirements for designing structures made from bamboo poles, dealing only with those relating to the mechanical strength, serviceability and durability of bamboo structures.

This standard does not apply to glued laminated bamboo structures, which must be conform to specific standards, or structures in which bamboo is part of composites.

This Standard does not include requirements to avoid the limit states generated by certain types of action, such as those arising from earthquakes, impacts and explosions.

Estruturas de bambu

Parte 1: Projeto

1 Escopo

Esta Norma estabelece os requisitos básicos para projeto de estruturas feitas com colmos de bambu, abordando as propriedades físicas e mecânicas, a servicibilidade e a durabilidade das estruturas de bambu.

Esta Norma não é aplicável às estruturas de bambu laminado colado, nem às estruturas em que o bambu faz parte de compósitos.

Esta Norma não inclui requisitos para evitar os estados-limite gerados por certos tipos de ações, como aquelas provenientes de sismos, impactos e explosões.

2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 6123, *Forças devidas ao vento em edificações*

ABNT NBR 6120, *Ações para o cálculo de estruturas de edificações*

ABNT NBR 8681, *Ações e segurança das estruturas – Procedimento*

ISO 6891, *Timber structures: joints made with mechanical fasteners – general principles for the determination of strength and deformation characteristics*

NSR 10, *Estructuras de madera y estructuras de Guadua*

NEC-SE-Guadúa: *Norma Equatoriana de la Construcion: Estructuras de Guadúa*

E 100, *Reglamento Nacional de Edificaciones, Peru: Bambú*

ABNT NBR 16828-2, *Projeto de Estruturas de bambu – Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

ação

tudo que provoca solicitação, carregamento

ABNT NBR 16828-1:2020

3.2

conicidade

razão da diferença entre o diâmetro maior e o diâmetro 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 consecutivos

3.5

junta, ligação, conexão, emenda ou articulação

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

3.6

nó

parte do colmo do qual podem despontar ramos e que tem um diafragma interno

3.7

solicitação

esforço interno (esforço normal, esforço cortante, momento fletor, momento torsor)

4 Simbologia

4.1 Generalidades

A simbologia geral encontra-se estabelecida nesta Seção e a simbologia mais específica de alguns trechos desta Norma é apresentada nas Seções pertinentes, de forma a simplificar a compreensão e, portanto, a aplicação dos conceitos estabelecidos.

NOTA As grandezas e expressões desta Norma estão em conformidade com o Sistema Internacional de Unidades (SI). Admite-se, para aceleração da gravidade, o valor de 10 m/s^2 , de forma a haver as seguintes correspondências: $1 \text{ kN} = 100 \text{ kgf} = 0,1 \text{ tf}$; $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kgf/cm}^2 = 100 \text{ tf/m}^2$.

4.2 Símbolos e abreviaturas

4.2.1 Letras minúsculas

- a* distância ou dimensão
- d* diâmetro interno do colmo
- e* excentricidade
- f* resistência
- g* carga permanente distribuída por unidade de comprimento ou por unidade de área

- h altura
- q carga acidental distribuída por unidade de comprimento ou por unidade de área
- t espessura da parede do colmo

4.2.2 Letras 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 concentrada
- L comprimento de vão, comprimento de corpo de prova
- M momento fletor
- N esforço ou força normal
- R reação de apoio
- UR umidade relativa do ambiente
- V esforço cortante, volume
- W momento resistente de seção

4.2.3 Letras gregas

- α ângulo
- γ_m coeficiente de minoração de resistência
- δ deflexão, flecha
- ε deformação específica
- σ tensão normal
- λ índice de esbeltez
- τ tensão de cisalhamento

4.3 Símbolos e abreviaturas subscritos

4.3.1 Letras minúsculas

- c compressão
- d de cálculo

ABNT NBR 16828-1:2020

g	permanente
k	característico, coeficiente
m	médio
máx.	máximo
mín.	mínimo
mod.	modificado, modificação
q	acidental

4.3.2 Letras maiúsculas

E	de Euler
M	flexão
V	cisalhamento
N	esforço normal

5 Conceitos gerais para o projeto de estruturas de bambu

5.1 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 as condições para qual foi projetada. Os estados-limites são classificados em: estados-limites últimos (ELU), e estados-limites de serviço (ELS) ou de utilização.

5.2 Estados-limite 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, são tratados como estados limites últimos.

Os estados-limite últimos que devem ser considerados são os seguintes:

- 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.

5.3 Estados-limite de serviço

5.3.1 Os estados-limite de serviço ou de utilização correspondem a situações além das quais um critério especificado já não é satisfeito. Os estados-limite de serviço que requerem consideração são os seguintes:

- a) deformações ou deflexões que afetem a aparência ou o efetivo uso da estrutura (incluindo mau funcionamento de máquinas ou de serviços), ou causem danos a elementos não estruturais, como paredes de fechamento, forros de gesso e esquadrias;
- b) vibrações que causem desconforto aos usuários, danos à construção ou aos seus componentes, reduzindo-lhes a durabilidade.

5.3.2 O valor-limite dos deslocamentos excessivos de vigas de bambu pode ser admitido igual a $L/300$, sendo L o vão do elemento estrutural.

5.3.3 A verificação do estado limite de serviço por deslocamento excessivo (flecha) é feita com a combinação quase permanente de ações da ABNT NBR 8681.

5.4 Ações e suas combinações

5.4.1 No projeto aos estados-limites últimos, a combinação normal de ações da ABNT NBR 8681 deve ser considerada.

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

5.4.3 A possibilidade de desvio da posição das ações diretas (forças) deve ser considerada.

5.4.4 O valor da ação permanente devida ao peso próprio do bambu deve ser obtido considerando o peso específico dos colmos a serem utilizados. Na falta de dados experimentais, pode adotar o peso específico das paredes de colmos secos, na umidade de equilíbrio com a atmosfera, igual a $0,8 \text{ kN/m}^3$.

5.4.5 Para o cálculo do peso próprio da estrutura de bambu, devem ser considerados eventuais pesos de ligações e de materiais de preenchimento.

5.4.6 Os valores das demais ações permanentes e acidentais são aqueles especificados na ABNT NBR 6120. As ações do vento devem ser consideradas conforme ABNT NBR 6123.

5.5 Outras considerações

5.5.1 Os cálculos são realizados por meio de modelos de projeto apropriados (complementados, caso seja necessário, por ensaios experimentais), envolvendo todas as variáveis pertinentes. Os modelos são 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.

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

5.5.2.1 Na verificação de flexão e flambagem, elementos com comprimento $L \leq 65\bar{D}$, sendo \bar{D} a média dos diâmetros externos médios extremos, podem ser tratados como tubulares, com espessura da parede igual ao seu valor médio no trecho considerado.

ABNT NBR 16828-1:2020

5.5.2.2 As conexões, diferentemente, devem considerar 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.

5.5.3 Métodos de análise estrutural convencionais dos elementos são utilizados definindo-se uma imperfeição acidental mínima igual a $L/100$ para elementos comprimidos, ou segundo seleção prévia do responsável técnico ou executor. O diâmetro externo médio \bar{D} e a espessura média de parede \bar{t} são consideradas como sendo a média dos valores médios nas extremidades.

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

5.5.5 O teorema de Bernoulli das seções planas é válido no cálculo das estruturas de bambu.

5.6 Dimensionamento e segurança

Para o dimensionamento, devem ser escolhidas dimensões dos colmos que atendam à segurança estrutural. Normalmente, indicam-se os valores mínimos requeridos para o diâmetro externo, D_{\min} , e a espessura da parede do colmo, t_{\min} .

Considera-se que a segurança está satisfeita quando, em uma seção crítica, a tensão de cálculo (obtida pela majoração das ações, conforme 5.4.1) é menor ou igual à correspondente resistência de cálculo (obtida pela minoração das resistências do bambu, conforme 8.1.2), ou, de maneira equivalente, quando o esforço solicitante de cálculo é menor ou igual ao esforço resistente de cálculo (esforço significando momento fletor, esforço cortante, esforço normal, momento torsor).

A escolha das dimensões dos colmos (diâmetro mínimo e espessura mínima da parede) 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).

5.7 Método de projeto alternativo

É permitida a aplicação de métodos de projeto alternativos diferentes do indicado nesta Norma, desde que eles mostrem estar de acordo com os princípios estruturais mais relevantes e pelo menos equivalentes em relação à resistência, servicibilidade e durabilidade, obtidas pela estrutura projetada de acordo com esta Norma.

O atestado de que a estrutura satisfaz os requisitos citados anteriormente deve ser dado por profissional habilitado que atenda às atribuições previstas por seu respectivo conselho.

6 Requisitos de qualidade básicos da estrutura

6.1 Requisitos gerais

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

Os requisitos descritos a seguir 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.

As estruturas de colmos de bambu devem estar de acordo com esta Norma. A estrutura deve ser projetada e construída de forma a apresentar os seguintes requisitos:

- a) capacidade resistente, que consiste basicamente na segurança quanto aos estados-limites de resistência estabelecidos para elementos, conexões e estabilidade local e global;
- b) desempenho em serviço, que consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não podendo apresentar deformações e vibrações excessivas;
- c) durabilidade, que consiste na capacidade de a estrutura resistir ao ataque biológico e às influências ambientais ao longo do tempo considerando o fim para o qual a estrutura foi projetada, distinguindo-se edificações temporárias de edificações permanentes.

6.2 Requisitos de projeto

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 aquelas 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 evitado por apropriada escolha de uma ou mais das seguintes características:

- a) projetar sistemas estruturais que tenham baixa sensibilidade a sofrer colapso progressivo;
- b) projetar sistemas estruturais que possam suportar a remoção acidental de um elemento individual sem ocorrer colapso global;
- c) projetar sistemas estruturais que promovam uma suficiente continuidade entre os elementos individuais;
- d) evitar as ações a que a estrutura possa ser submetida de forma perigosa.

7 Durabilidade das estruturas de bambu

7.1 Considerações iniciais

O bambu passa pelas seguintes etapas que podem influenciar na sua durabilidade antes de ser empregado nas construções, conforme a seguir:

- a) seleção dos colmos;
- b) corte;
- c) tratamentos preservativos;
- d) secagem.

7.1.1 Somente colmos maduros devem ser selecionados no bambuzal para corte e emprego na construção, o que ocorre geralmente com idade entre 3 anos e 7 anos, dependendo da espécie de bambu considerada. Colmos que não atingiram a maturação, além de menor resistência mecânica, apresentam pouca durabilidade.

ABNT NBR 16828-1:2020

7.1.2 O corte do bambu das touceiras deve ser feito sem choques para evitar fissuração dos colmos. O corte deve ser feito rasando um nó na base do colmo, de forma a evitar acúmulo de água na parte remanescente, que pode levar a apodrecimento e danificação dos rizomas.

7.1.3 Somente colmos maduros e secos devem ser usados nas estruturas, para se minimizarem as variações dimensionais, a fluência dos elementos construtivos 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 significativa de massa ao longo do tempo.

7.1.4 Durante o processo de secagem podem ocorrer fissuras nos colmos. As peças para uso estrutural podem apresentar fissuras apenas nos entrenós. Não pode ser utilizado colmo que tenha fissuras que ultrapassem dois nós consecutivos.

7.1.5 Colmos que apresentem fissuras cuja soma dos comprimentos atinja 20% do comprimento da peça, ou com fissuras perimetrais nos nós devem ser reprovados para uso estrutural.

7.1.6 Os colmos não podem apresentar perfurações causadas por insetos ou trecho com sinais de apodrecimento.

7.1.7 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 desejado (por exemplo, estruturas temporárias de curta vida útil). 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 devem ser considerados no projeto conforme a seguir:

- a) vida útil de serviço esperada;
- b) utilização da estrutura;
- c) desempenho requerido;
- d) condições ambientais previstas;
- e) propriedades e desempenho dos materiais;
- f) forma dos elementos estruturais e seu detalhe;
- g) qualidade da mão de obra e nível de controle dos materiais e da construção;
- h) medidas de proteção particulares;
- i) manutenção preventiva durante a vida útil desejada.

7.2.1 As condições ambientais devem ser consideradas 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 à incidência direta do sol por longos períodos. Do mesmo modo, a incidência da chuva deve ser evitada por meio de adequada proteção definida em projeto.

7.2.2 Em nenhum caso devem ser utilizadas estruturas de bambu quando a temperatura a que estiverem submetidas exceder 65 °C.

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

7.2.4 Quando forem utilizadas conexões metálicas, estas devem ser de material resistente à corrosão ou ser protegidas contra esta.

7.2.5 Devem-se evitar detalhes de projeto que proporcionem acúmulo de água ou umidade e contato direto com o solo, em qualquer das partes do colmo.

7.2.6 No caso de construções permanentes, os colmos devem ser elevados do piso, a fim de evitar o contato direto com ele, local onde pode ocorrer condensação de água e contato com águas de limpeza.

7.2.7 Cuidados devem ser tomados para vedar os extremos dos colmos com pedaços de bambu ou madeira, pó de serra mesclado com cola ou material equivalente.

8 Propriedades do bambu

8.1 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas do bambu utilizadas nos projetos são as seguintes:

- a) resistência à compressão paralela às fibras (f_{c0});
- b) resistência à tração paralela às fibras (f_{t0});
- c) resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_{v0});
- d) resistência à compressão do colmo perpendicular às fibras (f_{c90});
- e) resistência à flexão do colmo (f_{M0});
- f) módulo de elasticidade à tração paralela às fibras (E_{t0});
- g) módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras (E_{c0});
- h) módulo de elasticidade do colmo em flexão (E_{M0}).

As propriedades mecânicas (resistências e módulos de elasticidade) são obtidas conforme a ABNT NBR 16828-2.

O aumento do teor de umidade dos corpos de prova influencia significativamente e de forma negativa nas resistências mecânicas. Por isso, os corpos de prova no momento do ensaio devem estar secos e com a umidade de equilíbrio com o ambiente.

A resistência à tração paralela às fibras obtida conforme a ABNT NBR 16828-2 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.

ABNT NBR 16828-1:2020

Como referência, a umidade de equilíbrio do bambu com o meio ambiente está entre 10% 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 das resistências à compressão paralela e ao cisalhamento paralelo às fibras.

As propriedades mecânicas do bambu podem também ser obtidas a partir de outra propriedade, como, por exemplo, a resistência à compressão paralela às fibras, que é de mais fácil obtenção que as demais, desde que se tenha uma relação bem estabelecida entre elas. Na falta de mais informações, podem-se adotar as correlações indicadas na Tabela 1.

8.1.1 Valor característico de propriedade mecânica

O valor característico das propriedades mecânicas do bambu, citadas em 8.1, é aquele que tem 5% de probabilidade de não ser atingido em um determinado lote.

Assim, uma resistência característica genérica, f_k , pode ser dada pela seguinte equação:

$$f_k = f_{0,05} = f_m - 1,645 \cdot s$$

onde

f_m é o valor médio;

s é o desvio padrão dos resultados da amostra, devendo-se ensaiar pelo menos 13 corpos de prova por lote.

Como a resistência à compressão paralela às fibras é a propriedade mais fácil de ser obtida, na falta de ensaios relativos às demais propriedades mecânicas, as resistências características podem conservadoramente ser estimadas a partir de $f_{c0,k}$, conforme Tabela 1. O módulo de elasticidade à tração paralela às fibras é superior ao da compressão paralela. Dessa forma, é indicado na Tabela 1 o valor em compressão, E_b , que é mais conservador.

Tabela 1 – Resistências características do bambu a partir da resistência característica à compressão paralela às fibras

Propriedade	$f_{t0,k}$	$f_{V0,k}$	$f_{c90,k}$	$f_{M0,k}$	$E_b = E_{co}$
Valor	$1,3 f_{c0,k}$	$0,15 f_{c0,k}$	$0,1 f_{c0,k}$	$1,1 f_{c0,k}$	$300 f_{c0,k}$

8.1.2 Valor de cálculo de propriedade mecânica

O valor de cálculo das propriedades mecânicas é dado pela seguinte equação:

$$f_d = k_{mod} \cdot f_k / \gamma_m$$

sendo

k_{mod} é o coeficiente de modificação da resistência dado pelo seguinte:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \cdot k_{mod,4}$$

onde

$k_{mod,1}$ é o coeficiente que depende do tipo de carregamento, conforme a Tabela 2;

Tabela 2 – Valores de $k_{mod,1}$

Tipo de carregamento	$K_{mod,1}$
Permanente	0,7
Longa duração (mais de seis meses)	0,8
Média duração (uma semana a seis meses)	0,9
Curta duração (até uma semana)	1,0
Instantânea	1,1

$k_{mod,2}$ é o coeficiente que depende da umidade relativa do ambiente no qual a estrutura vai estar inserida, conforme a Tabela 3;

Tabela 3 – Valores de $k_{mod,2}$

Condição ambiental	$K_{mod,2}$
UR < 75%	1,0
75% < UR < 85%	0,8
Bambu saturado	0,6

$k_{mod,3}$ é o coeficiente que depende da qualidade do colmo (linearidade, presença de fissuras), do manejo do bambuzal, das fases pelas quais passa após o corte. Pode-se adotar, para colmos secos em boas condições, preferencialmente de plantações manejadas, sem controle de qualidade, o valor de $k_{mod,3} = 0,8$.

γ_m é o coeficiente de minoração das resistências características do bambu. Para dimensionamento nos estados-limite últimos, devem ser adotados os valores conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente de minoração das resistências características do bambu, γ_m

Propriedade	$f_{c0,k}$	$f_{t0,k}$	$f_{v0,k}$	$f_{t90,k}$	$f_{M,k}$
γ_m	2,0	1,8	2,0	2,0	1,8
NOTA Para verificações nos estados-limite de serviço, $\gamma_m = 1,0$.					

8.2 Relação tensão-deformação

Admite-se para o bambu, em tração ou em compressão paralela às fibras, uma relação linear entre tensão e deformação até a ruptura. Comportamento elástico pode também ser admitido.

8.3 Propriedades físicas

As propriedades físicas do bambu, como teor de umidade, massa volumétrica e variações dimensionais, são obtidas conforme a ABNT NBR 16828-2.

ABNT NBR 16828-1:2020**8.4 Propriedades geométricas****8.4.1 Momento de inércia de seção de colmo simples**

O momento de inércia de colmo simples, I , deve ser determinado conforme a seguir:

- como a seção transversal é elíptica, o diâmetro externo médio de cada extremidade, D_m é a média do maior diâmetro e do menor diâmetro tomados visualmente;
- como a espessura de parede varia em uma mesma seção transversal, a espessura média de parede de cada extremidade, t_m é a média entre a maior espessura e a menor espessura tomadas visualmente;
- a partir desses valores, calcula-se o diâmetro médio do elemento \bar{D} e a espessura média de parede do elemento \bar{t} , como a média dos valores extremos e trata-se a barra como sendo prismática de seção constante até um comprimento $L = 65\bar{D}$, quando selecionadas nos trechos basal e médio do colmo, que têm uma razão de conicidade menor;
- elementos tirados do trecho superior do colmo podem requerer uma análise do elemento como tronco cônico;
- o diâmetro interno médio do elemento é dado pela seguinte equação:

$$\bar{d} = \bar{D} - 2\bar{t}$$

O momento de inércia do elemento individual tratado como prismático deve ser calculado utilizando esses valores médios, pela seguinte equação:

$$I = \frac{\pi(\bar{D}^4 - \bar{d}^4)}{64}$$

8.4.2 Momento de inércia de seção composta por mais de um colmo

Quando se emprega mais de um colmo para conformar um elemento estrutural (vigas compostas, pilares compostos), a inércia do conjunto é considerada conforme 9.3.1.2 e 9.3.1.3 para vigas e conforme 10.2.6 para pilares.

8.4.3 Área de seção transversal

A área geométrica da seção transversal do colmo é dada pela seguinte equação, com os diâmetros externo e interno obtidos conforme 8.4.1:

$$A = \pi(\bar{D}^2 - \bar{d}^2)/4$$

No caso de seção composta por mais de um colmo, essa área é dada pela seguinte equação:

$$A = \sum A_i$$

onde

A_i é a área da seção transversal de colmo individual.

8.4.4 Conicidade

A conicidade de um trecho de colmo de bambu é a relação da diferença entre o maior diâmetro externo médio e o menor diâmetro externo médio, medidos nas suas extremidades, e o seu comprimento, L , dada pela seguinte equação:

$$\delta(\%) = 100 \cdot (\bar{D}_{max} - \bar{D}_{min}) / L$$

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

9 Vigas

Vigas são os elementos das estruturas de bambu submetidos predominantemente à flexão. O projeto de vigas é baseado no cálculo estrutural. Este considera os artigos seguintes, contanto que a carga seja simétrica. Para cargas assimétricas, tensões em pontos críticos devem ser calculadas.

9.1 Vão teórico

9.1.1 Em vigas de um único vão e em vigas contínuas, vão teórico é a distância entre os eixos dos apoios.

9.1.2 Em vigas em balanço, o vão teórico pode ser considerado o vão livre acrescido do valor equivalente à altura da viga.

9.2 Vigas compostas por um único colmo

9.2.1 Dimensionamento à flexão

Conhecida a resistência à flexão do colmo, o dimensionamento pode ser feito a partir das seguintes equações:

$$\sigma_{cd} = M_d / W$$

onde

σ_{cd} é a tensão normal máxima na seção;

M_d é o momento solicitante de cálculo, obtido com a combinação normal de ações da ABNT NBR 8681;

W é o módulo resistente da seção transversal, dado pela seguinte equação:

$$W = 2 \cdot \frac{I}{D}$$

A segurança é satisfeita conforme a seguinte equação:

$$\sigma_{cd} \leq f_{M,d}$$

sendo

$$f_{M,d} = k_{mod} \cdot f_{M,k} / \gamma_m$$

com γ_m conforme a Tabela 4.

ABNT NBR 16828-1:2020**9.2.2 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 for menor que 25 vezes o diâmetro de sua extremidade, ou quando houver carga concentrada aplicada no colmo.

A tensão de corte de cálculo, em megapascals (MPa), é dada pela seguinte equação:

$$\tau_d = [2 \cdot V_d / (3 \cdot A)] \cdot [(3 \cdot D^2 - 6 \cdot D \cdot t + 4 \cdot t^2) / (D^2 + 2 \cdot D \cdot t + 2 \cdot t^2)]$$

onde

V_d é o esforço cortante de cálculo, expresso em newtons (N);

A é área da seção transversal do colmo, expresso em milímetros quadrados (mm²);

$D = \bar{D}$ é o diâmetro externo médio do colmo, na mesma unidade de t ;

$t = \bar{t}$ é a espessura média da parede do colmo, na mesma unidade de D .

A segurança está satisfeita conforme a seguinte equação:

$$\tau_d \leq f_{v0,d}$$

sendo

$$f_{v0,d} = k_{mod} \cdot f_{v0,k} / \gamma_m$$

com γ_m dado na Tabela 4.

9.3 Vigas compostas por mais de um colmo**9.3.1 Dimensionamento à flexão**

9.3.1.1 Quando for utilizado 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.

9.3.1.2 Seções compostas por feixes de bambu amarrados entre si, por cintas de aço ou de outro material, 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.

9.3.1.3 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. Neste caso, o teorema dos eixos paralelos pode ser considerado. O diâmetro mínimo permitido para parafusos é de 10 mm.

9.3.1.4 O espaçamento dos conectores não pode exceder a três vezes a altura total da viga e a um quarto do vão.


9.3.1.5 O primeiro conector deve estar situado a uma distância mínima de 50 mm, medida a partir da face do apoio.

9.3.1.6 Os entrenós de vigas de seção composta, que são atravessados por conectores, nas regiões próximas aos apoios ou a cargas concentradas, se necessário, podem ser preenchidos com argamassa de cimento, com resina expansiva de alta densidade ou com outro material que cumpra a mesma função.

9.3.1.7 Nas vigas de seção composta por dois ou mais colmos na vertical, deve-se levar em conta a redução da capacidade de carga em flexão devida à instabilidade lateral por flambagem do colmo comprimido. Isto pode ser feito pela introdução de um coeficiente de modificação na resistência à compressão paralela às fibras, k_{mod4} , conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Valor de k_{mod4} (conforme NSR 10)

h/D	k_{mod4}
1	1,00
2	0,98
3	0,95
4	0,91
5	0,87



Neste caso, a resistência de cálculo paralela às fibras é dada pela seguinte equação:

$$f_{c0,d} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \cdot k_{mod4} \cdot f_{c0,k} / \gamma_m$$

9.3.1.8 Devem ser previstas contenções laterais das vigas compostas por mais de um colmo, conforme a seguir:

- h/D = 2: não há necessidade de suporte lateral;
- h/D = 3: restringir deslocamento lateral dos apoios;
- h/D = 4: restringir o deslocamento lateral dos apoios e do bordo comprimido;
- h/D = 5: restringir o deslocamento lateral dos apoios e continuamente do bordo comprimido.

9.3.1.9 As tensões são calculadas conforme 9.2.1 e a segurança deve ser satisfeita conforme equação a seguir:

$$\sigma_{cd} \leq f_{c0,d}$$

onde

$\sigma_{cd} = M_d / W$ é a tensão normal de compressão solicitante de cálculo;

$W = 2 \cdot I / h$ é o momento resistente da seção composta;

$f_{c0,d} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \cdot k_{mod4} \cdot f_{c0,k} / \gamma_m$ é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras.

9.3.2 Verificação ao cisalhamento

9.3.2.1 O esforço cortante em cada colmo de uma viga composta pode ser obtido dividindo o seu valor pelo número de colmos que a compõem.

9.3.2.2 A verificação da segurança pode ser feita para cada colmo individualmente, conforme 9.2.2.

ABNT NBR 16828-1:2020**9.4 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, 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.

9.4.1 O deslocamento máximo (flecha) da viga a longo prazo deve ser calculado e comparado com o valor-limite indicado em 5.3.2 ($L/300$). A curvatura inicial deve ser considerada no cálculo da flecha.

9.4.2 Por conta da fluência do bambu, considera-se que a flecha ao longo do tempo devida às ações permanentes atinja um valor 1,7 vez maior que a flecha inicial, obtida pela combinação quase permanente de ações da ABNT NBR 8681.

9.5 Verificação ao esmagamento do colmo

A segurança ao esmagamento das paredes do colmo devido a uma carga concentrada está satisfeita se a força de cálculo obtida a partir da combinação normal de ações satisfizer a equação a seguir:

$$F_d \leq [2 \cdot f_{c90,d} \cdot t^2 \cdot a] / (3 \cdot D)$$

onde

F_d é a força concentrada de cálculo aplicada;

t é a espessura média da parede do colmo no local de aplicação;

a é o comprimento de contato da força aplicada com o colmo de bambu;

D é o diâmetro externo do colmo no local de aplicação da carga;

$f_{c90,d}$ é a resistência de cálculo à compressão perpendicular às fibras.

sendo

$$f_{c90,d} = k_{mod} \cdot f_{c90,k} / \gamma_m$$

$\gamma_m = 2,0$, conforme Tabela 4.

Os colmos de bambu submetidos a esforços de compressão perpendicular às fibras podem ter o internó onde há aplicação da força concentrada preenchidos com argamassa de cimento, resina expansiva de alta densidade ou material de resistência equivalente. Caso esta providência não seja tomada, adotar $\gamma_m = 4,0$ na equação anterior.

9.6 Outras recomendações

9.6.1 Cargas concentradas ou reações de apoio devem atuar nos nós ou tão próximo deles quanto possível. As extremidades apoiadas que não coincidam com um nó devem ser preenchidas com algum material compósito para aumentar a resistência ao esmagamento.

9.6.2 Caso sejam necessários, os furos na viga devem constar no projeto, de acordo com o seguinte:

- a) não podem ser feitos horizontalmente na altura da linha neutra. Em caso obrigatório, deve-se tomar providências para evitar falha por cisalhamento paralelo às fibras, conforme 9.2.2;

$$f_{v0,d} = k_{mod} \cdot f_{v0,k} / \gamma_m$$

com γ_m conforme Tabela 4.

- b) caso existam furos na zona tracionada de elementos estruturais, dimensionar pela área líquida. A resistência à tração de cálculo deve ser considerada conforme a seguinte equação:

$$f_{t0,d} = k_{mod} \cdot f_{t0,k} / \gamma_m$$

com γ_m conforme a Tabela 4.

- c) o diâmetro do furo deve ser de, no mínimo 10 mm, e, no máximo, 25 mm.
- d) no caso de furos para o preenchimento do internó com argamassa, estes podem ter diâmetro máximo de 1/4 do diâmetro do bambu, limitado a 40 mm, e não estar localizados em zona tracionada.

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

10 Pilares

10.1 Geral

Pilares são elementos predominantemente submetidos a cargas axiais. Para fazer parte dos pilares, devem ser selecionados os colmos mais retos possíveis.

10.2 Projeto de pilares

O projeto de pilares deve ser baseado em uma das duas possibilidades a seguir:

- a) ensaios de flambagem em escala real, utilizando-se colmos da mesma espécie, dimensão e outras variáveis relevantes;
- b) cálculos considerando que:
- o momento de inércia deve ser determinado de acordo com 8.4.1 e 8.4.2;
 - as tensões de flexão devidas à curvatura inicial, excentricidades e deflexões induzidas devem ser consideradas adicionalmente àquelas devidas a qualquer carga lateral;
 - diâmetro médio \bar{D} e espessura média \bar{t} , considerando a barra como prismática, para comprimentos máximos iguais a $65 \bar{D}$.

10.2.1 Comprimento de flambagem

Os pilares das estruturas de bambu são considerados articulados nas extremidades. Assim, seu comprimento de flambagem é igual à distância entre os pontos em que há os deslocamentos transversais impedidos.

Nos casos em que há uma extremidade livre, a outra deve ter garantida a restrição à rotação. Neste caso, o comprimento de flambagem passa a ser o dobro do comprimento do pilar.

ABNT NBR 16828-1:2020**10.2.2 Esbeltez máxima**

A esbeltez, λ , máxima tolerada para um pilar de bambu é 150. A esbeltez é obtida pela seguinte equação:

$$\lambda = (L_0/i)$$

onde

L_0 é o comprimento de flambagem do pilar;

$i = (I/A)^{1/2}$ é o raio de giração.

10.2.3 Pilar curto ($\lambda \leq 30$) composto por um único colmo

Se a esbeltez do pilar for pequena, $\lambda \leq 30$, desconsiderar a presença de momentos e considerar a seguinte equação:

$$\sigma_{Nd} = N_d/A$$

onde

σ_{Nd} é a tensão de compressão devida ao esforço normal de cálculo;

N_d é o esforço normal de cálculo obtido com a combinação normal de ações da ABNT NBR 8681.

A segurança está satisfeita se:

$$\sigma_{Nd} \leq f_{co,d}$$

onde

$$f_{co,d} = k_{mod} \cdot f_{co,k} / \gamma_m$$

com γ_m conforme a Tabela 4.

10.2.4 Pilar médio ($30 \leq \lambda \leq 70$) composto por um único colmo

Se a esbeltez do pilar for superior a 30 e limitada a 70, pelo fato de o bambu sempre possuir imperfeições iniciais, trabalhando como pilar, ele está sujeito à flexocompressão. A segurança é controlada pela tensão de compressão máxima, dada pela seguinte equação:

$$\sigma_{Nd} + \sigma_{Md} \leq \sigma_{fl}$$

onde

$\sigma_{Nd} = N_d/A$ é a tensão de compressão devida ao esforço normal de cálculo;

$\sigma_{Md} = M_d/W$ é a tensão normal de compressão devida ao momento fletor de cálculo;

σ_{fl} é a tensão-limite a ser considerada, correspondendo ao menor valor entre F_E/A e $f_{co,d}$;

A é a área da seção transversal;

W é o momento resistente da seção transversal;

$F_E = (\pi^2 \cdot E_b \cdot I) / L_0^2$ é a força de Euler;

$E_b = E_{CO}$ é o módulo de elasticidade do bambu em compressão paralela às fibras;

I é o momento de inércia da seção transversal;

$M_d = N_d \cdot e / (1 - N_d / F_{fl})$ é o momento de cálculo a ser considerado;

$e = e_i + e_a$ é a excentricidade total;

$F_{fl} = \sigma_{fl} \cdot A$ é a força-limite a ser considerada, levando em conta a flambagem e esmagamento da parede do bambu;

L_0 é o comprimento de flambagem conforme 10.2.1.

A excentricidade total, e , é composta pela excentricidade inicial, e_i , mais a excentricidade das imperfeições acidentais, e_a , que pode ser medida.

O valor da excentricidade inicial é dado pela seguinte equação:

$$e_i = M_{1d} / N_d \geq \bar{D} / 20$$

onde

M_{1d} é o momento de primeira ordem ou momento solicitante de cálculo, se existir.

Como o pilar é considerado rotulado nas extremidades, normalmente $M_{1d} = 0$, então considerar a seguinte equação:

$$e_i = \bar{D} / 20$$

Contudo, caso a barra seja excentricamente comprimida, deve-se avaliar a excentricidade e_i , que vai depender do tipo do conector utilizado (parafuso, amarração ou outro) e do projeto da ligação, e neste caso, M_{1d} , então considerar a seguinte equação:

$$e_i = M_{1d} / N_d$$

Se esse valor for menor que $\bar{D} / 20$, adotar este último valor para a excentricidade inicial.

Caso não seja medida, a excentricidade acidental é dada pela seguinte equação:

$$e_a = L / 100$$

10.2.5 Pilar esbelto ($70 \leq \lambda \leq 150$) composto por um único colmo

A formulação permanece a mesma apresentada em 10.1.4, devendo-se considerar a fluência do bambu e considerar a excentricidade total conforme a equação a seguir:

$$e = e_i + e_a + e_c$$

onde

$e_c = (e_i \text{ ou } e_a) [2,718^\alpha - 1]$ (tomar o maior entre e_i e e_a) é a excentricidade devida à fluência do bambu;

ABNT NBR 16828-1:2020

sendo

$$\alpha = \frac{\varphi [N_{g,k} + (\psi_1 + \psi_2) N_{q,k}]}{F_E - [N_{g,k} + (\psi_1 + \psi_2) N_{q,k}]}$$

sendo

$$\psi_1 + \psi_2 \leq 1$$

onde

ψ_1 é o coeficiente da ABNT NBR 8681 correspondente à representação frequente de uma ação, podendo simplificarmente ser tomado igual a 0,5;

ψ_2 é o coeficiente da ABNT NBR 8681 correspondente à representação quase permanente de uma ação, podendo simplificarmente ser tomado igual a 0,4;

φ é o coeficiente de fluência do bambu com valor igual a 0,8;

$N_{g,k}$ é o esforço normal devido às ações permanentes com seu valor característico;

$N_{q,k}$ é o esforço normal devido às ações acidentais com seu valor característico.

10.2.6 Pilares compostos

A verificação da segurança é feita a partir da formulação apresentada em 10.2.3 a 10.2.5, desde que seja considerado o descrito em 10.2.6.1 a 10.2.6.3.

10.2.6.1 Para colmos sem ligação entre si, o momento de inércia do pilar é a soma das inércias individuais.

10.2.6.2 Para colmos garantidamente unidos ao longo do comprimento, o momento de inércia do conjunto pode ser calculado pelo teorema de Steiner dos eixos paralelos, multiplicado pelo coeficiente k , conforme a equação a seguir:

$$I = k(\sum I_i + \sum A_i \cdot d_i^2)$$

onde

I_i é o momento de inércia do i ésimo colmo;

A_i é a área do i ésimo colmo;

d_i é a distância do respectivo centroide ao centroide conjunto de colmos;

k é o coeficiente para corrigir o momento de inércia:

$k = 0,8$ para pilares compostos por dois colmos;

$k = 0,7$ para pilares compostos por três ou mais colmos.

10.2.6.3 Nos pilares compostos por colmos afastados entre si, conectados não continuamente, o momento de inércia é obtido conforme a equação a seguir:

$$I = k \cdot \sum A_i \cdot d_i^2$$

onde

k possui os valores indicados em 10.2.6.2.

11 Ligações

11.1 Generalidades

As ligações entre os diferentes componentes de uma estrutura de bambu, em geral, são os pontos mais suscetíveis a falhas, e por isso devem ser bem projetadas e executadas. O Anexo A apresenta propostas de ligações.

As conexões devem ser consideradas rotuladas, a menos que informação comprovadamente justificada as defina como fixas.

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

- a) transmissão de forças de acordo com o modo prescrito no projeto da estrutura;
- b) deflexões que podem ser previstas e que devem ser mantidas dentro de limites aceitáveis.

O conceito de projeto de ligações de bambu deve ser baseado no cálculo, o qual, por sua vez, deve ser fundamentado em uma das alternativas indicadas a seguir:

- Alternativa de ligação completa. Nesta alternativa, a articulação completa para uma determinada carga e geometria é especificada para elementos de dimensões particulares. Isto inclui a descrição de todas as dimensões dos elementos de fixação e seu posicionamento. Dados para esta alternativa devem ser baseados em ensaios realizados em escala real.
- 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 ensaios em escala real.
- Princípios de projeto alternativo. Neste caso, 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. Quando nas ligações existirem pinos metálicos, deve ser verificada a resistência à flexão do pino. Deve também ser verificada a tensão de cálculo de contato do parafuso no furo que deve ser limitada a $f_{co,d}$, conforme a seguinte equação:

$$f_{co,d} = k_{mod} \cdot f_{co,k} / \gamma_m$$

sendo

$$\gamma_m = 2,0$$

ABNT NBR 16828-1:2020

11.2 Ensaaios

Ensaaios em articulações em escala natural ou em seus componentes, quando necessários, devem ser realizados de acordo com a ISO 6891.

11.3 Resultados dos ensaios

Quando se utilizam diagramas de carga-deformação obtidos de ensaios em ligações, deve ser considerado o seguinte:

- a) a capacidade de carga de uma junta de múltiplos componentes muitas vezes será menor do que a soma da capacidade de cada componente individual;
- b) se em uma ligação houver mais de um tipo de componente, deve-se considerar o efeito das propriedades diferentes desses componentes;
- c) a capacidade de uma articulação será reduzida se ela estiver sujeita à inversão de carregamento.

12 Estruturas reticuladas e treliças

12.1 Generalidades

No projeto de estruturas reticuladas deve-se considerar o seguinte:

- a) a menos que um modelo mais geral seja utilizado, estruturas reticuladas e treliças devem ser representadas, para fins de análise, por elementos lineares conectados entre si;
- b) as linhas que representam os elementos da estrutura devem estar dentro do perfil destes, e os elementos externos devem coincidir com o seu eixo;
- c) elementos de viga fictícia podem ser usados para modelar as conexões excêntricas ou apoios. A orientação desses elementos deve coincidir tanto quanto possível com a direção da força atuante no elemento;
- d) na análise estrutural, a não linearidade geométrica de um elemento comprimido (instabilidade por flambagem) pode ser desconsiderada se ela for considerada na verificação da resistência de um elemento individual.

12.2 Análise global

12.2.1 A análise de estruturas reticuladas e treliçadas 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 considerados na determinação das forças e momentos nos elementos estruturais.

12.2.2 Se as retas que representam as barras dos elementos internos não coincidirem 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 de tensão-deformação para o bambu é linear até as vizinhanças da ruptura, as análises lineares dão bons resultados se ligações aparafusadas são usadas, apesar de os bambus não serem perfeitamente retilíneos.

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

12.2.5 Deslizamentos nas articulações devem ser considerados 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 (L). Caso uma das extremidades esteja livre para transladar, o comprimento de flambagem da barra deve ser considerado igual a 2 L.

12.3 Análise simplificada

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

- a) o módulo externo é composto por um único triângulo ou por um único retângulo;
- b) uma parte da estrutura resistente está verticalmente abaixo do nó de apoio;
- c) a altura da treliça excede 0,15 vez o vão no caso de uma treliça triangular, ou 0,10 vez o vão no caso de uma treliça com módulo retangular.

12.3.1 As forças axiais nos membros devem ser determinadas considerando 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 considerados.

13 Controle de qualidade

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

13.1 Classificação dos colmos de bambu

13.1.1 Os colmos de bambu devem ser escolhidos e classificados de forma a garantir que suas propriedades físicas e mecânicas sejam iguais ou superiores àquelas previstas no projeto.

13.1.2 As regras de classificação devem ser baseadas em uma avaliação visual do bambu, e extração de corpos de prova para ensaios de compressão paralela às fibras. Estes devem ser retirados de pelo menos 6 colmos distintos, devendo ser ensaiados, pelo menos, 13 corpos de prova, por lote de, no máximo, 250 colmos. Caso o cliente ou o projetista ache necessário, outras propriedades mecânicas podem ser obtidas, conforme a ABNT NBR16828-2.

13.1.3 Atenção deve ser dada a fatores como a idade, conicidade do colmo, linearidade, comprimento dos entrenós, teor de umidade e posicionamento ao longo do colmo.

ABNT NBR 16828-1:2020

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:

- a) especificações de materiais, incluindo a entrada de material, inspeção e requisitos de aceitação;
- b) ensaio de inspeção de garantia da qualidade e procedimentos de aceitação;
- c) frequência da coleta de amostras para inspeção;
- d) procedimentos a serem seguidos em caso de não conformidade;
- e) etiquetagem, manuseio, proteção e requisitos de transporte, conforme requerido 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. Nestes registros devem constar todos os resultados de ensaios, incluindo os resultados de repetições de ensaios feitos em produtos que tenham apresentado não conformidade em ensaios ou inspeções, e detalhes de quaisquer ações corretivas adotadas.

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 e considerar que:

- a) o nível de controle selecionado será consistente com os valores de projeto e o uso previsto para o material;
- b) quando a análise dos dados indicar que as propriedades do material estão abaixo do nível de controle requerido, o lote correspondente estará sujeito a novo ensaio.

Anexo A (normativo) Ligações em estruturas de bambu

Este Anexo apresenta orientação sobre conexões entre colmos de bambu.

A.1 Tipos de corte

Os três tipos de cortes mais utilizados para a fabricação de conexões de elementos de bambu são: corte reto, corte em boca de peixe e corte em bico de flauta, conforme a Figura A.1. O corte em bico de flauta é utilizado para unir peças que se encontram com ângulo diferente de 0° ou de 90° .



Figura A.1 – Tipos de corte conectivos em bambu conforme NSR 10

Para orientação ao projetista, são apresentadas em algumas indicações sobre ligações entre colmos de bambu. As conexões devem ser consideradas no projeto estrutural como rotuladas.

A.2 Ligações com auxílio de chapas e ou parafusos metálicos para união entre colmos (Figura A.2), conforme NEC-SE-Guadua

Essas ligações são geralmente utilizadas quando as solicitações sobre uma conexão são relativamente elevadas.

As chapas utilizadas em conexões aparafusadas devem ser pelo menos de aço-carbono de média resistência (tipo A36 ou similar).

As barras roscadas e parafusos devem ter diâmetro mínimo de 10 mm e a espessura mínima das chapas deve ser de 5 mm nas ligações estruturais.

As perfurações realizadas para a colocação de um parafuso devem estar bem alinhadas em relação ao eixo do elemento e devem possuir um diâmetro maior do que o diâmetro do parafuso em 1,5 mm.

ABNT NBR 16828-1:2020

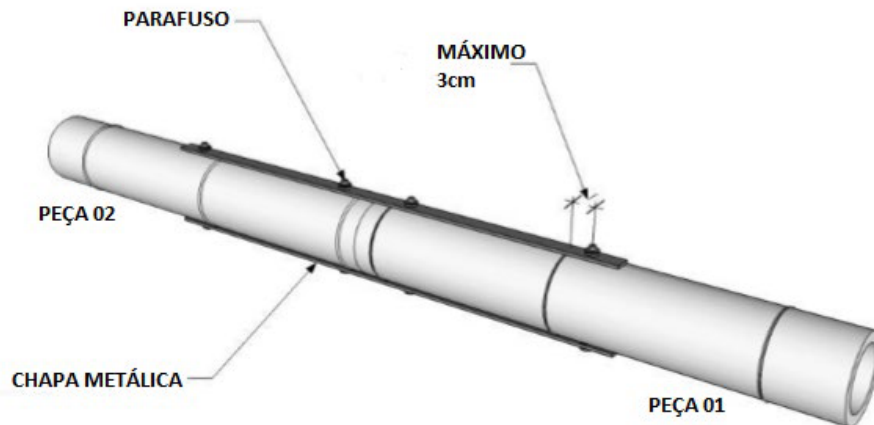


Figura A.2 – Ligação longitudinal de duas peças de bambu com duas chapas metálicas (conforme NEC-SE-Guadua)

A união entre as duas peças de bambu também pode ser realizada da mesma forma que a indicada anteriormente, porém, substituindo-se as chapas metálicas por dois pedaços de bambu roliço, fixados com parafusos, dispostos paralelamente ao eixo longitudinal da união (ver Figura A.3).

Os parafusos devem estar distanciados em no máximo 30 mm dos nós.

Devem ser utilizadas arruelas, chapas metálicas ou outro material de resistência similar entre a porca do parafuso (ou barra roscada) e o bambu.

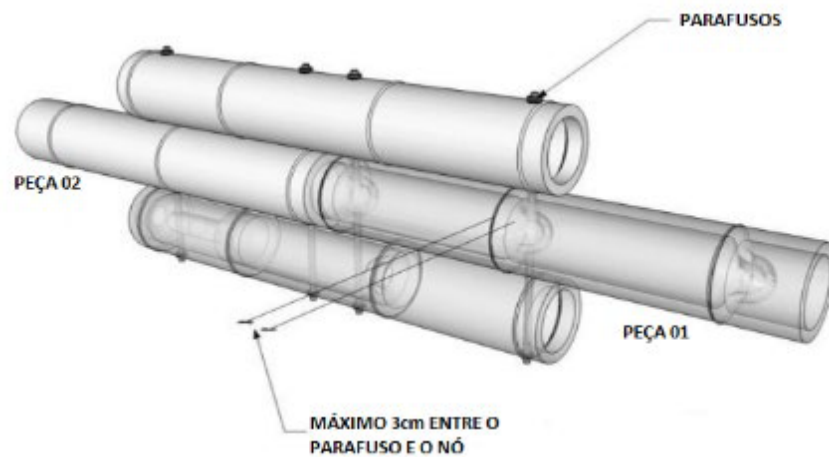


Figura A.3 – Ligação longitudinal de duas peças de bambu com dois pedaços externos de bambu (conforme NEC-SE-Guadua)

Para as uniões entre peças de bambu na posição perpendicular ou diagonal (ver Figura A.4), deve-se buscar o maior contato possível entre as peças, realizando-se os cortes de forma correta e recomendada. Deve-se assegurar a rigidez da união utilizando os reforços necessários e recomendados nesta Norma (ver Figura A.5).



a) Ligação perpendicular com parafuso

b) Ligação diagonal de duas peças de bambu

Figura A.4 – Conforme a NSR-10

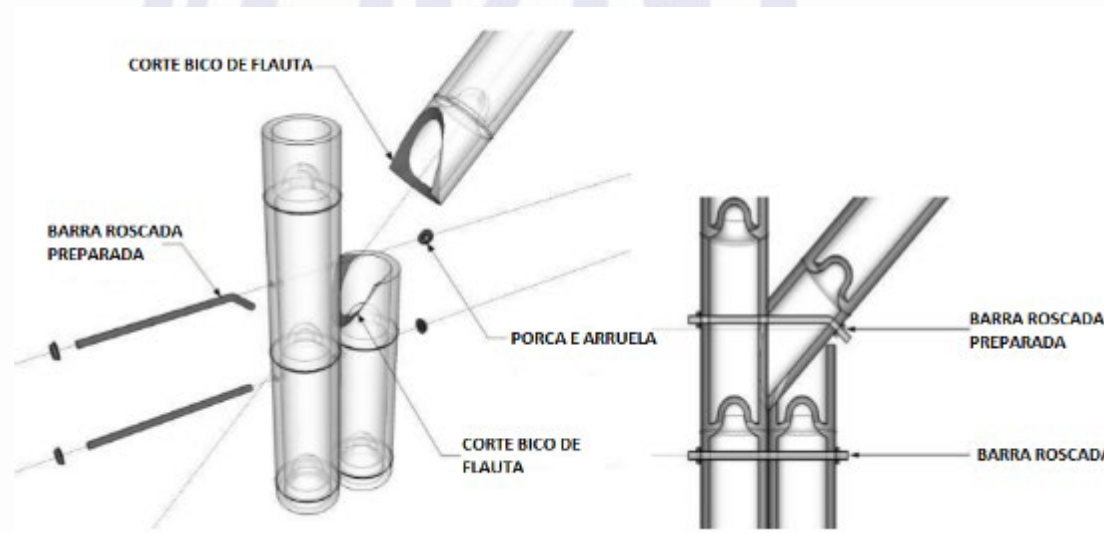
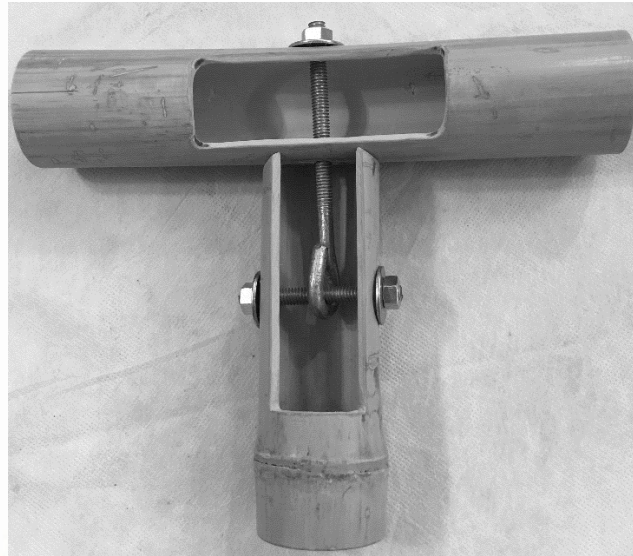


Figura A.5 – União diagonal com bambu de apoio (conforme E100)

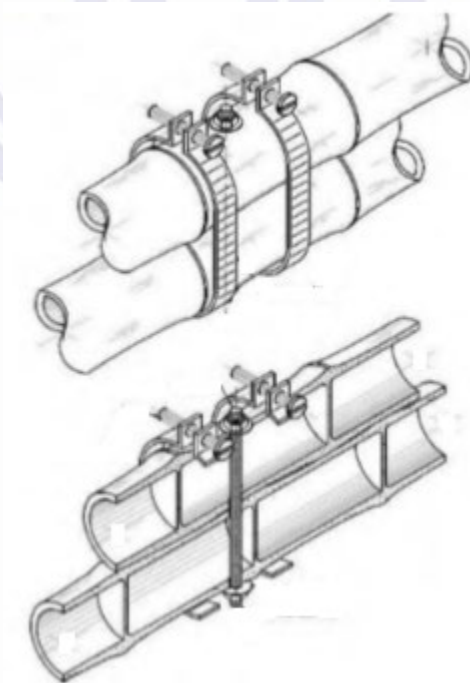
No caso de uma união aparafusada longitudinalmente em relação ao eixo do colmo, deve-se garantir que não haja falha dos elementos relacionados à conexão.

Todos os parafusos e demais elementos metálicos da união que estejam expostos a condições ambientais desfavoráveis devem receber algum tipo de tratamento anticorrosivo.

Outra possibilidade é a ligação com ganchos e parafusos, conforme a Figura A.6. Em caso de solicitações elevadas, o preenchimento dos internós com argamassa ou com outro material com resistência compatível pode ser adotado.

ABNT NBR 16828-1:2020**Figura A.6 – Ligação com ganchos e parafusos****A.3 Ligações com abraçadeiras, cintadas e amarradas**

É permitido o uso de abraçadeiras metálicas (ver Figura A.7) sempre e quando forem tomadas as precauções pertinentes para evitar o esmagamento e a falha por compressão perpendicular às fibras em elementos individuais, assim como a separação e o deslizamento entre os elementos conectados.

**Figura A.7 – Ligação com abraçadeiras metálicas (conforme NSR-10)**

As ligações podem ser amarradas (ver Figura A.8), desde que possam impedir o deslocamento e a folga da cinta de amarração ou da amarração em si. Podem-se utilizar vários materiais, como materiais metálicos, cordas, couros, plásticos e outros similares. O uso destas uniões deve estar devidamente justificado pelo projetista.



Figura A.8 – Uniões cintadas e amarradas para bambu (conforme NE-SE-Guadua).
Outros tipos de amarração podem ser utilizados conforme os indicados na Figura A.9.



Figura A.9 – Ligações amarradas

ABNT NBR 16828-1:2020

A.4 Ligações com tarugos e peças de madeira

As uniões também podem ser realizadas com tarugos (ver Figura A.10). Os tarugos devem ser de madeira estrutural, de bambu ou de outro material com resistência similar.

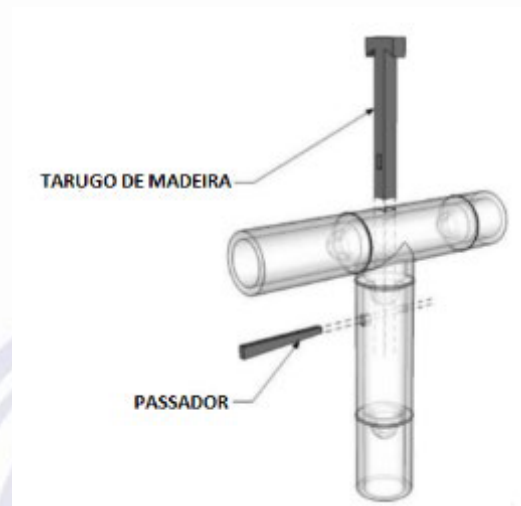


Figura A.10 – Ligação com tarugo (conforme NEC 2017)

A distância Δ existente entre o parafuso e a borda da peça de madeira que conecta os bambus deve no mínimo cinco vezes o diâmetro do parafuso utilizado.

Peças roliças, de madeira ou bambu, aparafusadas podem ser utilizadas em ligação longitudinal de colmos de bambu (ver Figura A.11). A peça é inserida dentro das pontas das duas peças de bambu a serem unidas. Para fixação, devem-se utilizar dois parafusos com no mínimo 10 mm, dispostos perpendicularmente entre si, em cada uma das peças. Os parafusos devem estar posicionados no máximo a 30 mm dos nós.

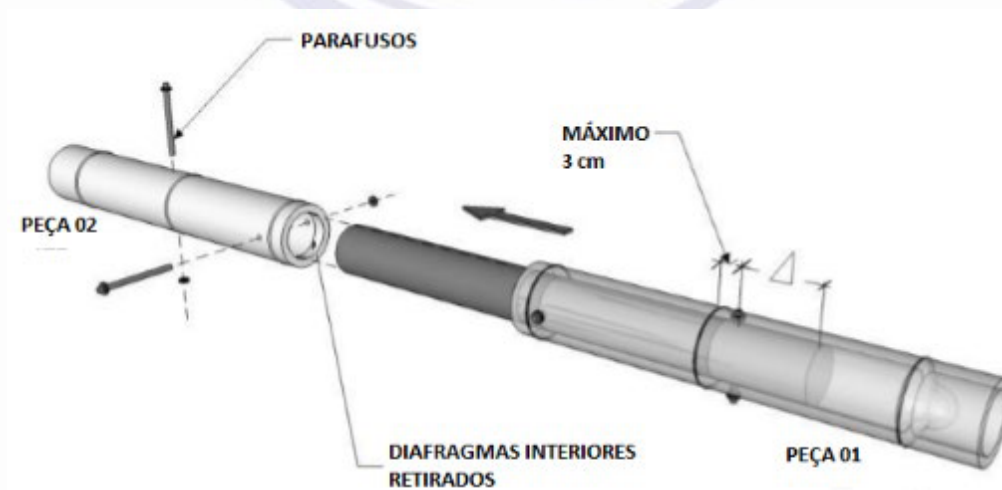


Figura A.11 – Ligação com peça roliça de madeira (conforme NEC-SE-Guadua)

A.5 Ligações com luvas

Ligações com luvas de materiais diversos (ver Figura A.12) também são permitidas. Em caso de elementos tracionados, parafusos ou cavilhas podem ser aplicados.

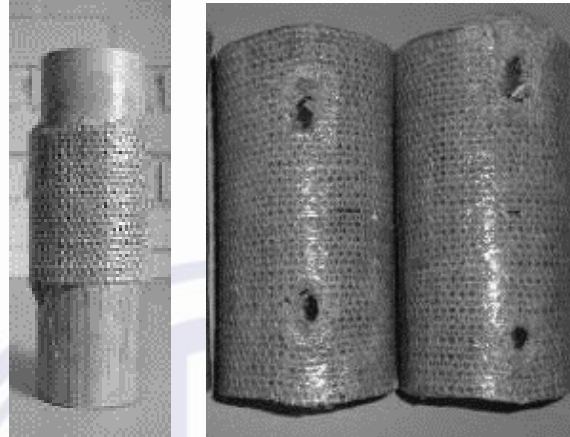


Figura A.12 – Ligação com luvas

A.6 Preenchimento dos entrenós

Quando um entrenó estiver sujeito a uma força de esmagamento (compressão perpendicular às fibras), ou em outras situações, pode ser necessário o preenchimento com argamassa. Deve-se, então, seguir as seguintes recomendações:

- argamassa deve ser preparada com uma proporção máxima de 1:4 (cimento e areia grossa), devendo ser suficientemente fluida para preencher completamente os entrenós. Podem ser usados aditivos redutores de água (para preparo);
- outros materiais de resistência compatível podem ser utilizados no preenchimento.
- para introduzir o material de preenchimento, deve-se realizar uma perfuração com um diâmetro máximo de 4 cm no ponto mais próximo ao nó superior da peça de bambu, introduzindo-o pelo orifício com a ajuda de um funil ou bomba (ver Figura A.13).

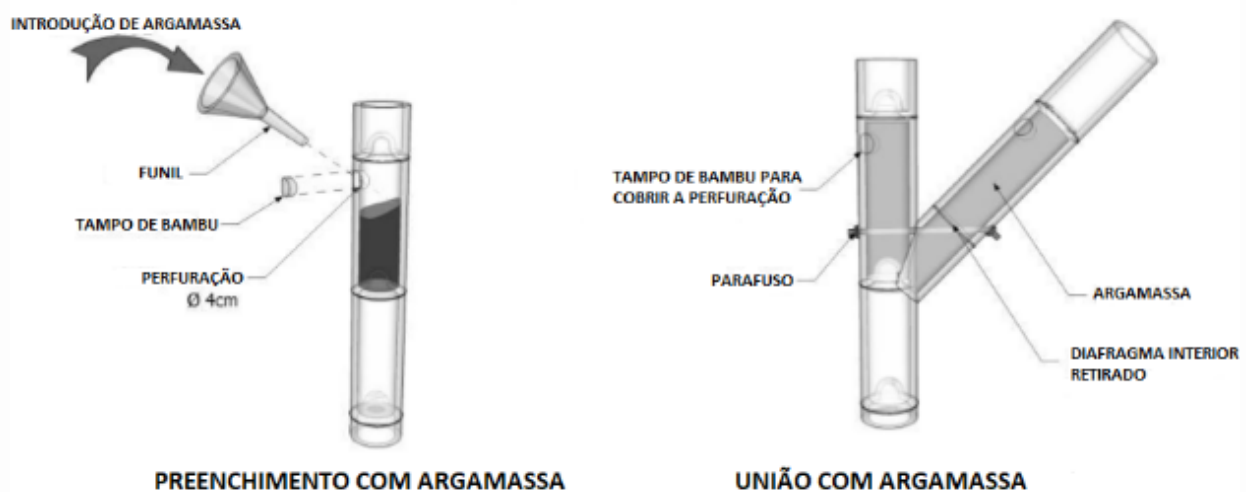


Figura A.13 – Preenchimento de entrenó de ligação com argamassa (conforme E 100)