

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

DISCIPLINA: SISTEMAS ESTRUTURAIS EM MADEIRA
Prof. Julio Eustaquio de Melo
Engenheiro Civil – Ph.D.

Bsb, outubro de 2013

SUMÁRIO

	Pag.
INTRODUÇÃO	vi
CAPÍTULO 1 - ESTRUTURA ANATÔMICA MACROSCÓPICA DA MADEIRA	1.1
1.1. Nomenclatura botânica e comercial	1.1
1.2. Partes da arvore	1.1
1.2.1. Casca	1.2
1.2.2. Alburno	1.2
1.2.3. Cerne	1.3
1.2.4. Medula	1.3
1.2.5. Anéis de crescimento	1.3
1.3. Elementos anatômicos estruturais da madeira	1.3
1.3.1. Célula vegetal	1.3
1.3.2. Vasos	1.3
1.3.3. Traqueídes	1.3
1.3.4. Raios medulares	1.4
1.3.5. Fibras	1.4
1.4. Processo fisiológico de crescimento da árvore	1.4
CAPÍTULO 2 - PROPRIEDADES FÍSICAS	2.1
2.1. Caracteres gerais	2.1
2.1.1. Cor	2.1
2.1.2. Cheiro	2.1
2.1.3. Grã	2.1
2.1.4. Textura	2.2
2.1.5. Figura	2.2
2.2. Teor de umidade	2.2
2.3. Densidade	2.3
2.3.1. Densidade verde	2.4
2.3.2. Densidade seca	2.4
2.3.3. Densidade básica	2.5
2.3.4. Densidade aparente	2.5
2.4. Estabilidade dimensional	2.5
CAPÍTULO 3 - PROPRIEDADES MECÂNICAS	3.1
3.1. Tipos de ensaios	3.1
3.1.1. Tração paralela às fibras	3.2
3.1.2. Compressão paralela às fibras	3.2
3.1.3. Flexão estática	3.2
3.1.4. Compressão perpendicular às fibras	3.3
3.1.5. Cisalhamento paralelo às fibras	3.4
3.1.6. Fendilhamento	3.4

3.1.7. Resistência ao impacto	3.4
3.1.8. Dureza	3.4
3.2. Fatores que afetam a resistência da madeira	3.5
3.2.1. Variabilidade natural do material	3.5
3.2.2. Teor de umidade	3.5
3.2.3. Defeitos naturais	3.5
3.2.4. Influência do tempo de carregamento	3.6
3.2.5. Biodeterioração	3.6
3.2.6. Temperatura	3.6
3.2.7. Sistema de amostragem aleatório para caracterização de espécies de madeira	3.6
CAPÍTULO 4 - ASPECTOS DE SECAGEM E DE DURABILIDADE DA MADEIRA	4.1
4.1. Secagem da madeira	4.1
4.1.1. Secagem natural	4.2
4.1.2. Secagem artificial	4.2
4.2. Degradação da madeira e prevenção natural	4.4
4.2.1. Fungos	4.5
4.2.2. Insetos	4.5
4.3. Métodos de preservação da madeira	4.5
4.3.1. Prevenção natural	4.5
4.3.2. Tratamento com preservativos	4.6
4.4. Acabamento e manutenção	4.8
CAPÍTULO 5 - DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA	5.1
5.1. Método das tensões admissíveis	5.1
5.2. Dimensionamento na flexão simples	5.2
5.2.1. Flecha	5.2
5.2.2. Tensão de flexão	5.3
5.2.3. Tensão de cisalhamento	5.3
5.2.4. Estabilidade lateral	5.3
5.3. Dimensionamento na compressão simples paralela às fibras – Flambagem	5.6
5.3.1. Peças curtas ($\lambda \leq 40$)	5.6
5.3.2. Peças intermediárias ($40 < \lambda \leq \lambda_0$)	5.7
5.3.3. Peças longas ($\lambda_0 < \lambda \leq 140$)	5.8
5.4. Dimensionamento na compressão perpendicular ou normal às fibras	5.9
5.5. Dimensionamento na tração paralela às fibras	5.10
5.6. Dimensionamento na flexão composta	5.10
5.6.1. Peças com $\lambda < 40$	5.11
5.6.2. Peças com $40 \leq \lambda < \lambda_0$	5.11
5.6.3. Peças com $\lambda_0 < \lambda \leq 140$	5.11
5.7. Flambagem de peças compostas espaçadas	5.13

CAPÍTULO 6 - LIGAÇÕES	6.1
6.1. Ligações parafusadas com duas peças laterais metálicas	6.1
6.2. Ligações parafusadas com duas peças laterais de madeira	6.2
6.3. Ligação excêntrica – duas peças de madeira	6.2
6.4. Esforços inclinados em relação às fibras	6.2
6.5. Espaçamentos mínimos entre parafusos – uma peça principal com duas peças laterais (cobre juntas) de madeira	6.2
6.5.1. Compressão paralela às fibras	6.3
6.5.2. Tração paralela às fibras	6.3
6.5.3. Compressão e tração perpendicular às fibras	6.3
6.5.4. Carga nos parafusos – determinação do valor numérico de b	6.4
6.6. Ligações com pregos	6.6
CAPÍTULO 7 - A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO	7.1
7.1. Processamento da madeira	7.1
7.1.1. Processamento primário	7.2
7.1.2. Processamento secundário	7.3
7.2. Seções comerciais de madeira serrada e madeira bruta	7.4
7.3. Especificação e armazenamento	7.4
7.3.1. Especificação	7.4
7.3.2. Armazenamento	7.4
7.4. Coberturas convencionais - nomenclatura	7.4
7.4.1. Ripa	7.4
7.4.2. Testeira	7.5
7.4.3. Caibro	7.5
7.4.4. Terça	7.5
7.4.5. Terça de cumeeira	7.5
7.4.6. Frechal	7.6
7.4.7. Viga, tesoura e treliça	7.6
7.4.8. Mão francesa	7.6
7.4.9. Espigão	7.6
7.4.10. Rincão	7.6
7.5. Levantamento de material de cobertura	7.6
7.5.1. Telha	7.6
7.5.2. Ripa	7.6
7.5.3. Caibro	7.6
7.5.4. Terça	7.6
7.5.5. Espigão	7.6
7.5.6. Rincão	7.6
7.5.7. Viga/vigota/barrote/apoio de barrote	7.6
7.5.8. Pilar	7.6
7.5.9. Tábua de piso	7.6

7.5.10. Índice de consumo de madeira por m ² de construção	7.7
7.6. Orientações para aquisição de madeira	7.7
7.6.1. Nome vulgar e nome científico das espécies de madeira	7.7
7.6.2. Propriedades tecnológicas importantes para o uso	7.7
7.6.3. Teor de umidade	7.8
7.6.4. Madeira seca	7.8
7.6.5. Madeira verde	7.8
7.6.6. Densidade da madeira	7.8
7.6.7. Alburno	7.8
7.6.8. Cerne	7.8
7.6.9. Durabilidade natural	7.9
7.6.10. Processamento e comercialização	7.9
7.6.11. Qualidade da madeira	7.9
7.6.12. Recebimento	7.9
7.6.13. Armazenamento	7.9
7.6.14. Acabamento/proteção	7.9
CAPÍTULO 8 - SEÇÃO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	8.1
8.1. Cobertura	8.2
8.2. Piso residencial	8.3
CAPÍTULO 9 - ANEXOS	9.1
ANEXO 9.1. Tensões admissíveis - Antiga NBR 7190/82	9.2
ANEXO 9.2. Propriedades geométricas de seções transversais	9.3
ANEXO 9.3. Fórmulas e diagramas	9.11
ANEXO 9.4. Lista de exercícios	9.17
ANEXO 9.5. Três roteiros de projetos de estruturas de madeira para um projeto de arquitetura:	9.21
- Roteiro 1 – Estrutura de cobertura com treliça tipo tesoura;	9.24
- Roteiro 2 – Estrutura de cobertura com treliça tipo banzos paralelos;	9.38
- Roteiro 3 – Estrutura de cobertura de caibros com travessas.	9.48
ANEXO 9.6. Tipos de pregos	9.58
ANEXO 9.7. Tipos de parafusos para madeira	9.62
ANEXO 9.8. Características de telha cerâmica	9.65
ANEXO 9.9. Tipos de telhas	9.66
ANEXO 9.10. Desdobro de toras de madeira	9.67
BIBLIOGRAFIA	

INTRODUÇÃO

A madeira é utilizada no Brasil de forma empírica e tradicional, sem a preocupação com o emprego de novas técnicas construtivas e de manutenção já desenvolvidas, o que possibilitaria sua utilização mais racional, tornando-a mais competitiva com os outros materiais de construção. A grande extensão territorial brasileira, aliada às diferenças regionais de desenvolvimento econômico, social e disponibilidade de matéria prima, exige que sejam utilizados os recursos naturais presentes em cada região, para atender as suas próprias necessidades. Dentre os materiais de construção utilizados, a madeira tem uso restrito as obras provisórias, cimbramentos, postes, dormentes, estacas e cruzetas. A razão do papel secundária da madeira na construção está na nossa tradição cultural, falta de conhecimento e divulgação de suas propriedades, insuficiente conhecimento técnico de infraestrutura e produção e as normas existentes são escassas, rudimentares e ignoradas com frequência. São poucos os técnicos e profissionais familiarizados com a tecnologia da madeira em consequência do número inexpressivo e até mesmo inexistente de disciplinas nas escolas brasileiras.

A madeira é o único recurso natural renovável com propriedades estruturais e um dos materiais mais resistente por unidade de peso, sendo fácil de trabalhar, resultando em grande diversidade de formas e de seções. Por ser relativamente leve, implica em baixo custo de transporte e montagem e por ser biodegradável os resíduos podem ser totalmente aproveitados.

Numa época de crise energética e de preocupação com o meio ambiente é de se esperar um maior interesse por este material, cujo beneficiamento requer pouco consumo de energia, menor contaminação do ar e da água, se fazendo necessário um tratamento diferenciado a este material que vem, desde a antiguidade, servindo de matéria prima para a proteção e bem estar do ser humano.

Este trabalho vem fornecer as bases para Engenheiros e Arquitetos, no que se refere a utilização da madeira na construção, através do conhecimento de suas propriedades, comportamento e dimensionamento, possibilitando maior economia e segurança nas estruturas de madeira

CAPÍTULO 1

ESTRUTURA ANATÔMICA MACROSCÓPICA DA MADEIRA

1.1. Nomenclatura botânica e comercial

A Nomenclatura Botânica é um código internacional que permite classificar e identificar os vegetais, baseando-se em suas características morfológicas, anatômicas e químicas dos órgãos vegetativos e reprodutivos. Dentro desta classificação se encontram os dois grandes grupos de vegetais produtores de madeira, que serão tratados particularmente neste trabalho, por apresentarem árvores que produzem madeira com fins comerciais e, conseqüentemente, estruturais. São as dicotiledôneas, também chamadas de folhosas e as coníferas. Dentro desta nomenclatura, a espécie é a unidade básica da classificação, isto é, somente com a identificação até a espécie, poderemos ter certeza do seu comportamento com base nas propriedades de caracterização. Como exemplo, segue a classificação botânica de duas espécies conhecidas no mercado (Fonte: LPF/MMA):

Nome Comum	Mogno	Pinheiro do Paraná
Reino	Vegetal	Vegetal
Seção	Fanerogama	Fanerogama
Divisão	Angiospermae	Gymnospermae
Classe	Dicotyledoneae	Coniferae
Ordem	Geraniales	Coniferales
Família	Meliaceae	Araucariaceae
Gênero	<i>Swietenia</i>	<i>Araucária</i>
Espécie	<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Araucaria angustifolia</i>

O Nome Comum ou Nomenclatura Comercial da madeira é o nome popular da árvore de uma determinada espécie. Normalmente são de origem regional e muitas vezes estes nomes são dados pela aparente semelhança com as madeiras já tradicionalmente comercializadas. A extensão territorial do Brasil, a grande quantidade de espécies disponíveis e o pouco conhecimento deste material, explica a existência de múltiplos nomes comuns para uma mesma espécie de madeira, assim como, um mesmo nome para diferentes espécies comercializadas. Já o nome científico é único por espécie, de acordo com o código internacional de nomenclatura botânica. Portanto, é muito importante que na especificação de uma determinada espécie, seu nome científico esteja presente.

1.2. Partes da árvore

A árvore, como todo ser vivo, é constituída de células com propriedades específicas, que se agregam umas as outras formando os elementos que desempenham as funções vitais de seu crescimento, que é a transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e a sustentação do vegetal. Fazendo-se um corte transversal no tronco ou caule de uma árvore (Figura 1.1), as seguintes partes se destacam:

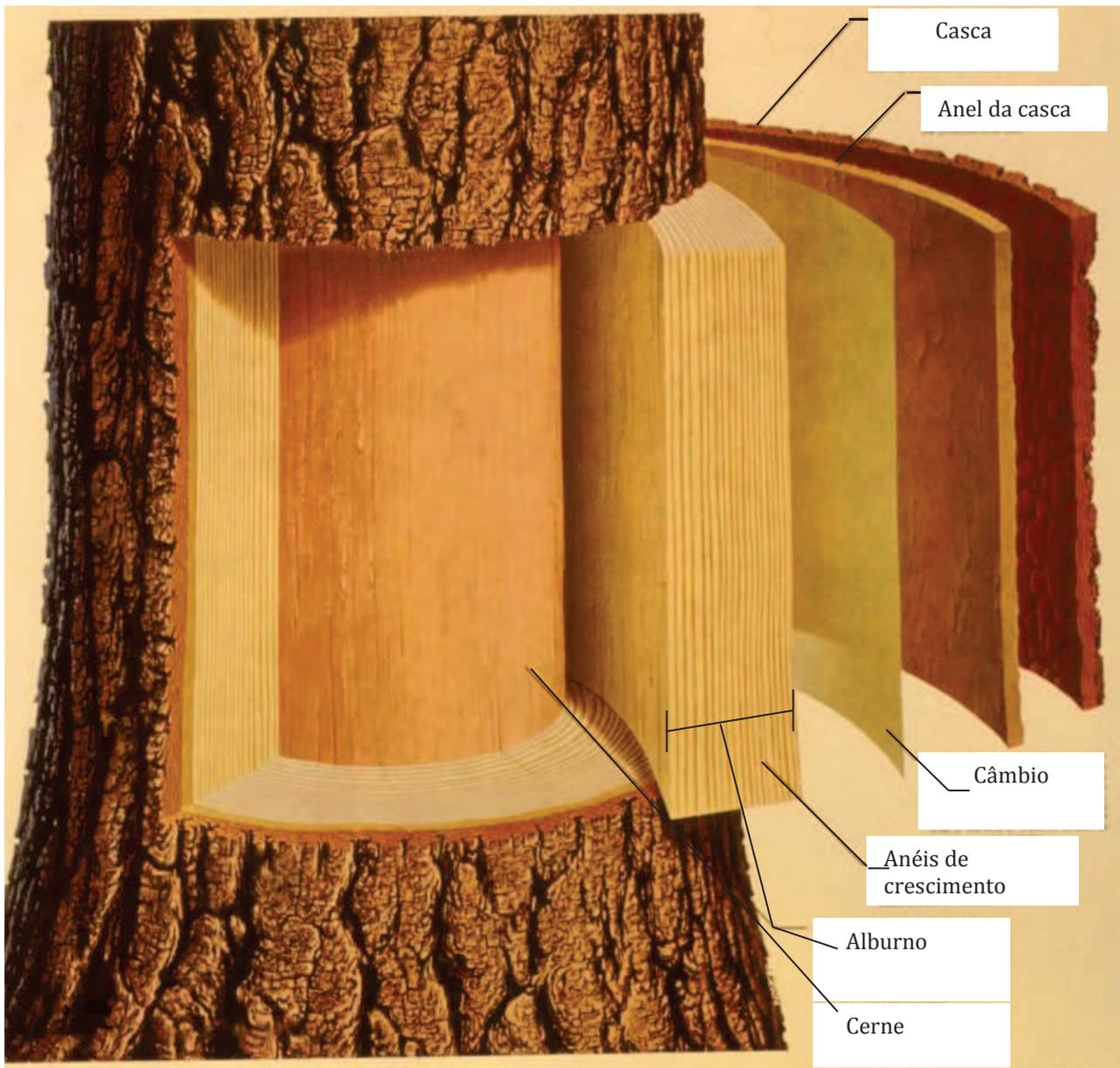


Figura 1.1 - Desenho esquemático de corte transversal no tronco de uma árvore (adaptado: fonte desconhecida).

1.2.1. Casca

A casca é constituída na parte externa por células mortas e na parte interna por tecidos vivos (floema) especializados na condução da seiva elaborada. Têm como função também de proteger a árvore contra as intempéries, ressecamento e ataques de fungos.

1.2.2. Alburno

É formado pela parte mais externa da madeira, onde ocorre o transporte ascendente de líquidos retirados do solo (seiva bruta) e a estocagem de substâncias de reserva. A maioria das células é viva, geralmente apresenta madeira de cor clara, mais leve que o cerne e susceptível ao ataque de fungos e insetos. Entre a casca e o alburno existe uma camada de células denominada câmbio, que por divisões sucessivas vão formando novas camadas de madeiras aumentando o diâmetro do tronco. Assim, à medida que novas camadas de alburno são formadas, elas vão se distanciando do câmbio perdendo gradativamente a função de condução da seiva elaborada, adquirindo uma coloração mais escura em decorrência da decomposição e transformação de algumas substâncias de reservas, dando origem ao cerne. O mesmo fenômeno ocorre com a casca, em que a parte mais externa vai se distanciando do câmbio, perdendo a função de conduzir a seiva e, em consequência, as células morrem. Por ser constituída de madeira menos densa, geralmente contém mais umidade do que o cerne e a parte da madeira mais adequada para o tratamento com preservativos.

1.2.3. Cerne

Está situado logo após o alburno, em direção ao centro do tronco. Nesta região as células estão inativas, os poros de algumas espécies obstruídos por tilos ou gomas e as cavidades celulares impregnadas de substâncias extrativas (tanino, resinas, gorduras e carboidratos) Já não há mais circulação de seiva, e a presença de extrativos, tóxicos aos organismos degradadores da madeira, dá a esta parte da árvore maior durabilidade natural e maior densidade. Normalmente o cerne é de cor mais escura que o alburno, devido a alterações químicas dos extrativos, existindo, portanto, a possibilidade de ambos serem indistintos. Conseqüentemente, a obstrução dos poros e cavidades celulares, torna o cerne mais difícil de secar e mais resistente a impregnação de substâncias preservativas, porém dificulta a ação de fungos e insetos pela ausência de condições ideais de desenvolvimento.

1.2.4. Medula

É a parte mais interna e mais velha do tronco da árvore. Pode ser central ou excêntrica e com diâmetro variável. Em torno da medula, existe uma camada de madeira que se formou na juventude da árvore, quando se iniciou o aumento do diâmetro do tronco, denominado lenho juvenil. Para algumas espécies é frágil, pouco resistente e menos estável que o restante da madeira do tronco, contribuindo para o surgimento de defeitos no processo de secagem. A medula e lenho juvenil são susceptíveis ao ataque de fungos e insetos, dando origem aos ocos no tronco, mesmo na árvore viva.

1.2.5. Anéis de crescimento

É uma série de camadas de crescimento concêntricas, muitas vezes alternados em partes claras e escuras de diferentes espessuras, que vão da medula até a casca, resultantes das divisões sucessivas do câmbio influenciado por condições ambientais e por condições específicas da espécie. Desta forma, as atividades do câmbio não são de forma contínua. Em regiões onde as estações do ano são bem definidas, os anéis de crescimento são bem diferenciados: Na primavera e verão, época mais propícia ao crescimento da árvore, a camada de madeira formada é de menor densidade. Já no outono e inverno, período de repouso vegetativo, a camada de madeira é de maior densidade e de maior resistência. Portanto, o número de anéis de crescimento na seção transversal do tronco, permite avaliar a idade da árvore, considerando que cada anel se desenvolveu durante o ano.

1.3. Elementos anatômicos estruturais da madeira

1.3.1. Célula vegetal

Assim como todo ser vivo, a árvore é constituída por pequenas unidades individuais cimentadas entre si, denominadas células. Possuem formas e dimensões de acordo com as funções que desempenham na madeira. As células possuem camadas envoltórias compostas principalmente das substâncias, celulose e lignina, que são chamadas de paredes de celulose. A celulose é um polímero linear que se dispõe em forma de microfibrilas, constituindo o esqueleto ou estrutura das paredes das células. A lignina atua como o elemento cimentante da estrutura da celulose, dando rigidez ao conjunto e, conseqüentemente, estabelece as características de resistência mecânica da madeira. A Figura 1.2 mostra, de forma esquemática, os elementos anatômicos estruturais da madeira.

1.3.2. Vasos

São células alongadas e cilíndricas dispostas umas sobre as outras ao longo do comprimento do tronco, formando dutos contínuos por onde sobe a água com os nutrientes retirados do solo (seiva bruta), das raízes até as folhas. Ocorrem nas folhosas (dicotiledôneas), possuindo funções básicas de condução da seiva bruta.

1.3.3. Traqueídes

São células alongadas, cilíndricas, fechadas e afiladas nas extremidades. A condução da seiva bruta se verifica através de válvulas especiais (pontuação aureolada), entre células adjacentes ao longo do comprimento do tronco. Ocorrem nas coníferas, com funções de condução da seiva bruta e resistência mecânica.

1.3.4. Raios medulares

São células radiais alongadas, de seção aproximadamente retangular, dispostas na direção radial à seção transversal do tronco, isto é, são perpendiculares aos vasos e traqueídes. Sua função consiste na união dos diferentes componentes do tronco e condução da seiva elaborada da periferia (floema ou camada liberiana) até o cerne.

1.3.5. Fibras

São células alongadas, cilíndricas e afiladas nas extremidades, orientadas no sentido do eixo do tronco, constituindo a maior parte de madeira das folhosas. Não ocorrem nas coníferas, sendo responsáveis pela resistência mecânica da espécie.

Em todas as árvores, encontramos sempre os mesmos tipos de células, formando estruturas definidas, a partir dos elementos descritos acima (fibras, vasos, traqueídes e raios). A diferença entre elas resulta do tipo característico destes elementos, na quantidade e dimensões que ocorrem e na espessura das paredes das células que os compõem.

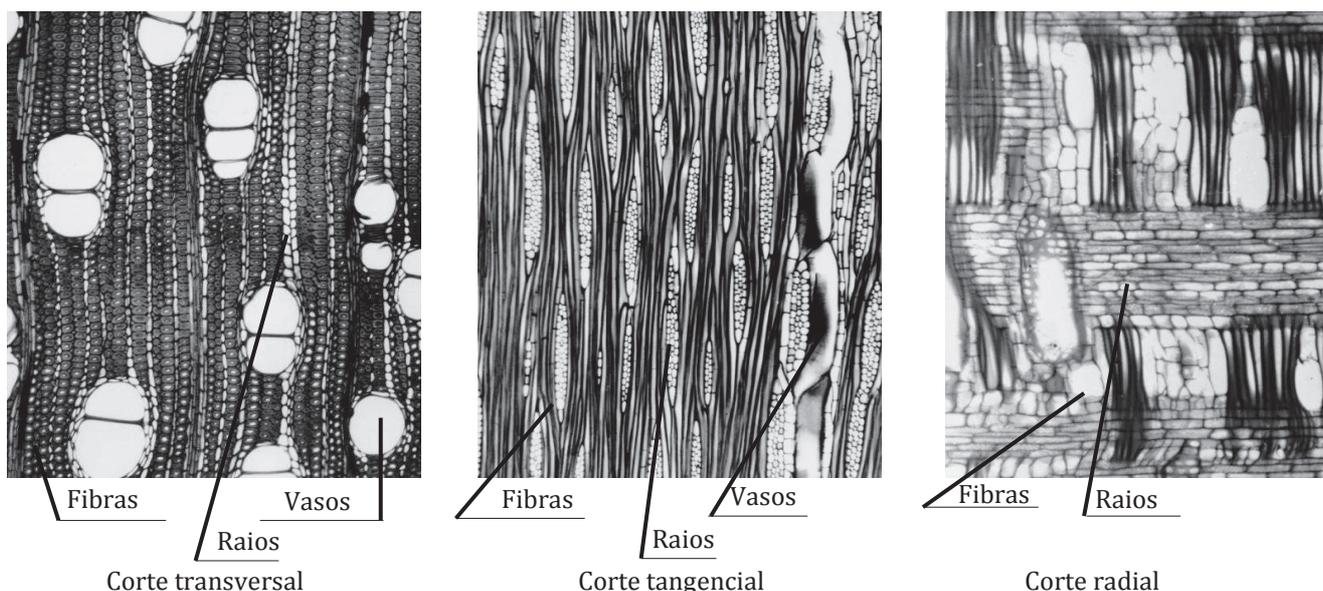


Figura 1.2 - Elementos anatômicos estruturais da madeira (folhosa). Fotos reproduzidas por cortesia do Setor de Anatomia do LPF/SFB/MMA.

1.4. Processo fisiológico de crescimento da árvore

O processo de crescimento da árvore se dá pelo extremo das folhas e pelo nascimento e desenvolvimento de novas células através do câmbio. No início, o crescimento é preferencialmente vertical, ocorrendo posteriormente a formação de camadas sucessivas, por subdivisões (câmbio), contribuindo para aumentar a espessura da casca e incorporar, de forma sobreposta, nas camadas mais antigas, aumentando o diâmetro da árvore.

Através das raízes capilares, a árvore absorve umidade e diversas substâncias minerais em solução (seiva bruta), que pelos vasos ou traqueídes do alburno sobem até as folhas, onde se processa a fotossíntese, utilizando o gás carbônico do ar, catalisado pela luz solar, calor e clorofila, transformando a seiva bruta em seiva elaborada (açúcares, celuloses e outros carboidratos). A seiva elaborada desce pelo floema ou camada liberiana (entre a casca e o alburno), conduzida radialmente pelos raios medulares para o interior do tronco, dando assim, sequência ao processo de crescimento da árvore (Figura 1.3).

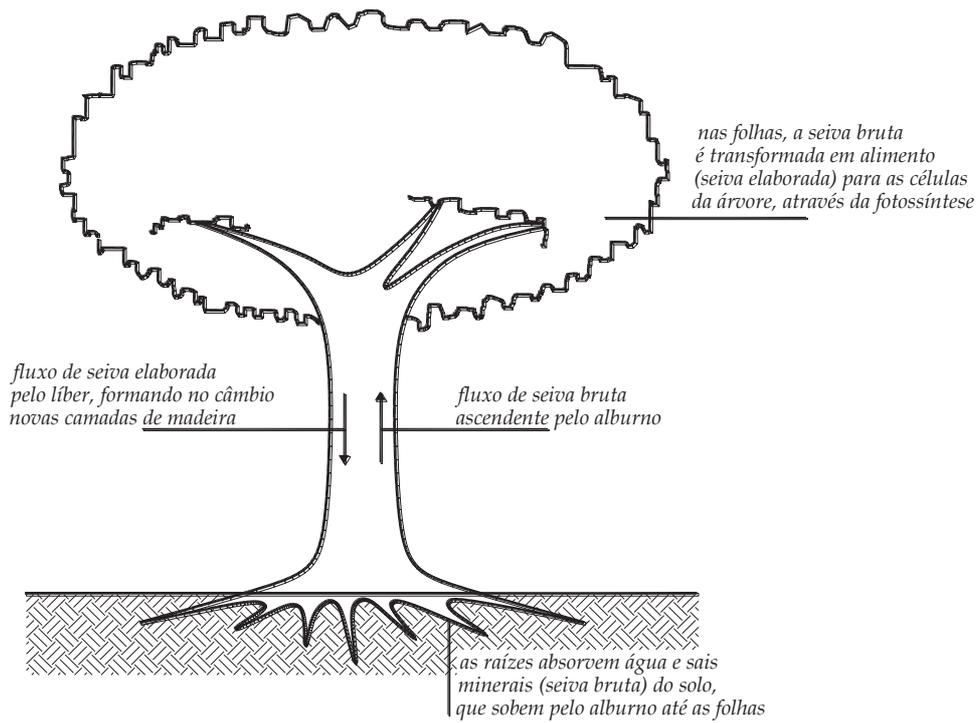


Figura 1.3 - Processo de crescimento da árvore

CAPITULO 2

PROPRIEDADES FÍSICAS

Conforme foi visto no capítulo anterior, a quantidade, disposição, orientação e composição química dos elementos anatômica da madeira, explica a sua natureza heterogênea e anisotrópica. Suas propriedades físicas e mecânicas apresentam comportamentos diferentes, principalmente entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore. Esta variabilidade pode, no entanto, ser medida através de um sistema de amostragem aleatória e representativa, com um erro mínimo de estimativa, realizando-se ensaios em corpos-de-prova isentos de defeitos tais como nós, fibras inclinadas, rachaduras empenamentos. A caracterização física e mecânica da madeira tem como objetivo, identificar os usos específicos da espécie pouco conhecida ou desconhecida e estimar as tensões de cálculo e dimensionamento de estruturas.

Para efeito de caracterização física, pode-se idealizar a madeira como um material anisotrópico, com três direções principais, perpendiculares entre si, coincidentes com a direção longitudinal (ao longo do comprimento da árvore), tangencial (tangente aos anéis de crescimento) e radial (em direção ao centro da árvore). A seguir serão descritas as principais propriedades físicas da madeira.

2.1. Caracteres Gerais

2.1.1. Cor

É uma característica que auxilia na identificação de espécies e classificação em usos finais. A madeira serrada sofre alteração de cor com o passar do tempo, em exposição à luz solar, ataque de fungos e bactérias, ou variação do teor de umidade, pela oxidação de seus elementos orgânicos.

A variação da cor natural da madeira se deve, principalmente, a presença de extrativos (taninos, resinas e óleos) nas células e nas paredes celulares, que se depositam de forma mais acentuada no cerne. Geralmente, as madeiras de cores escuras apresentam maior durabilidade natural, porque alguns destes extrativos são tóxicos aos fungos e insetos. A descrição de cor da madeira era feita, utilizando a tabela de cores de Munsell, para solos. Atualmente se adota o sistema CIE (Comissão Internacional de Iluminantes), cujo método define a sensação de cor baseada em três elementos (luminosidade, tonalidade e cromaticidade). Os dados colorimétricos são obtidos através de um Espectrofotômetro.

2.1.2. Cheiro

O cheiro ocorre em algumas espécies, sendo mais evidente em madeiras com alto teor de umidade. É consequência da presença de substâncias, na sua maioria voláteis, que tendem a diminuir com o passar do tempo. É uma característica importante na identificação de espécies e na classificação em usos finais, devido à possibilidade de desprender odor desagradável. Assim, como exemplo, engradados para transporte de gêneros alimentícios, devem ser fabricados com madeiras inodoras.

2.1.3. Grã

É o termo usado para descrever a direção longitudinal dos elementos anatômicos estruturais da madeira (fibras, vasos e traqueídes) na árvore, em relação ao crescimento axial e na madeira serrada, em relação a uma superfície em exposição. De forma prática, quando se racha uma peça de madeira na direção longitudinal, ela se parte seguindo a direção dos elementos anatômicos, isto é, na direção da grã. No processo de crescimento da árvore, são vários os fatores que influenciam no arranjo e orientação destes elementos. Devido à diversificação dos tipos de grã e sua importância na utilização da madeira, a grã é classificada em grã direita (reta) e grã irregular. Na grã direita, existe o paralelismo dos elementos anatômicos, com a direção longitudinal do tronco ou da peça serrada. Esta é a orientação mais comum e desejável, por fornecer madeira serrada de maior qualidade, tanto em termos de resistência estrutural, quanto de processamento primário e secundário e estabilidade dimensional no processo de secagem. Na grã irregular, os elementos anatômicos podem estar orientados de forma inclinada, em espiral, ondulada ou entrecruzados, em relação ao eixo longitudinal do tronco. Neste tipo de grã, a madeira apresenta uma maior variabilidade de comportamento, dificultando assim, nos processos de caracterização. Porém fornece figuras decorativas bastante interessantes, que são

exploradas, quando o aspecto visual é fator decisivo na escolha de uma determinada espécie. A Figura 2.1 mostra os principais tipos de grã.

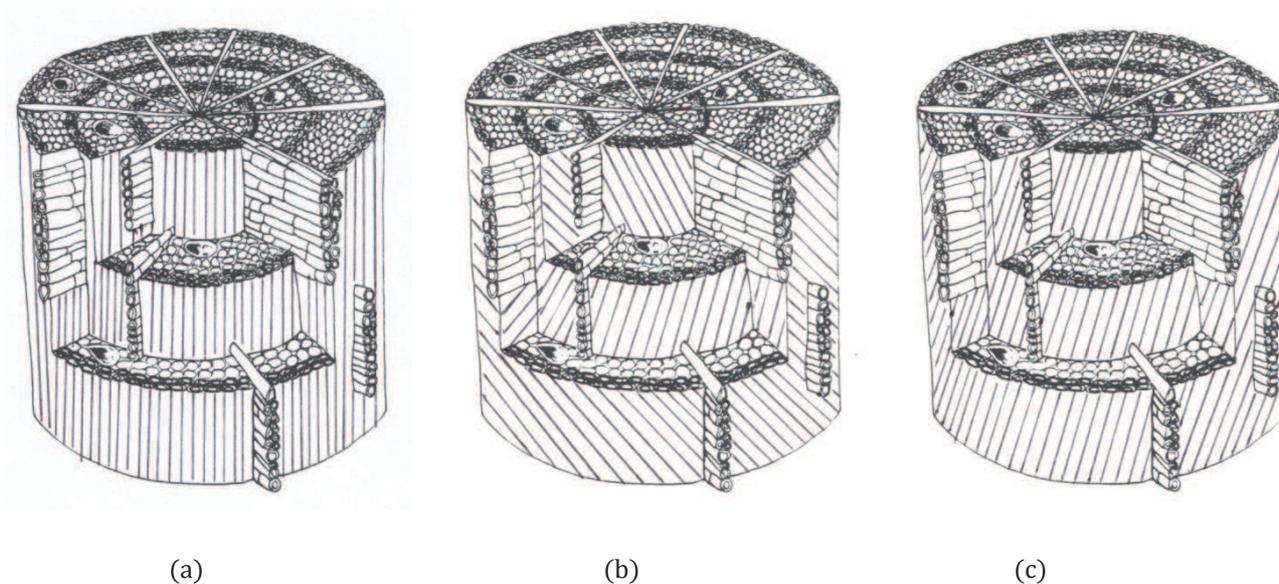


Figura 2.1 - Principais tipos de grã - Direita (a); Reversa (b); inclinada (c)
(Adaptado: fonte desconhecida).

2.1.4. Textura

É o termo utilizado para se referir ao efeito produzido na madeira, pelas dimensões, distribuição e abundância relativa dos elementos anatômicos estruturais da madeira. Geralmente é classificada em textura fina, média e grossa, de acordo com o grau de uniformidade da madeira. Nas folhosas, a medida da textura se refere ao diâmetro e número de vasos e a largura dos raios e nas coníferas, pelo diâmetro na direção tangencial dos traqueídes. Conforme o próprio nome diz, a madeira de textura fina apresenta uma superfície uniforme e lisa, ideal para usos, onde um bom acabamento é essencial.

2.1.5. Figura

O conceito de figura ou desenho que se obtém com a orientação de corte na madeira é bastante subjetivo, sob o ponto de vista estético, sendo consequência de características naturais da espécie, presentes no cerne e alburno, tais como anéis de crescimento distintos, raios diferenciados, core e tipo de grã.

2.2. Teor de umidade

Sendo um material higroscópico, a madeira entra em equilíbrio com o ambiente, perdendo ou absorvendo água, em função da umidade relativa e temperatura do ar. Esta sensibilidade em perder ou ganhar umidade e sua influência nas propriedades físicas e mecânicas, comportamento na secagem, eficiência nos processos de preservação, durabilidade natural, trabalhabilidade, acabamento e produtos derivados, torna esta característica, uma das mais importantes no estudo do comportamento da madeira.

Vimos no capítulo anterior, que os vasos ou traqueídes, fazem o transporte da seiva bruta das raízes até as folhas e a seiva elaborada desce pela camada entre o alburno e a casca (floema), alimentando as células da madeira, através dos raios. A maior parte da seiva é constituída de água, que esta, portanto, preenchendo os vazios dos traqueídes, vasos, raios e espaços intercelulares. Esta água é chamada de água livre e se mantém, por meio de forças capilares. Pode ser retirada com relativa facilidade, por algum processo de secagem, sem alterar suas características dimensionais e as propriedades físicas e mecânicas. Existe também, a água de impregnação ou capilaridade, que se encontra impregnada nas paredes destas células. A retirada desta água requer maior consumo de energia que o da água livre,

ocorrendo o fenômeno de retração, devido à aproximação das cadeias de celulose e, conseqüentemente, alterações significativas nas propriedades da madeira.

A madeira é considerada verde, quando contém água livre e água de impregnação. Quando somente a água livre é removida, permanecendo a água de impregnação, diz-se que a madeira esta com um teor de umidade correspondente ao ponto de saturação das fibras. O ponto de saturação das fibras varia de espécie para espécie, porém, permanecendo em torno de 30 % para a maioria das espécies. Abaixo do ponto de saturação das fibras (a madeira já perdeu toda a água livre e teve início à perda de água de impregnação), a madeira tende a estabilizar-se, quando seu teor de umidade entra em equilíbrio com a temperatura e umidade relativa do ar. Este ponto é chamado de teor de umidade de equilíbrio. Como exemplo, em ambiente com temperatura de 20 °C e umidade relativa do ar de 65 % a madeira tende a atingir um teor de umidade de equilíbrio de 12 %. Assim, pode-se concluir que num país com dimensões territoriais como o Brasil, o teor de umidade de equilíbrio da madeira com o ambiente, é bastante variável.

Como exemplo, o teor de umidade de equilíbrio médio anual da madeira em Porto Alegre é de 14,9 %; em São Paulo, 15,4 %; Belo Horizonte, 13,6 %; Manaus, 17,1 % e Belém, 18,8 % (Galvão, s.d.).

O teor de umidade (T_u) de uma peça de madeira é definido uma relação entre o peso úmido (P_u) e peso seco em estufa (P_s), expresso em porcentagem, conforme a equação a seguir:

$$T_u = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100$$

onde o peso úmido, se refere ao peso da madeira, na umidade em que se encontra e o peso seco em estufa, ao seu peso após secar em estufa a uma temperatura de $103^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$, até atingir peso constante. Este é o processo mais exato de se determinar o teor de umidade. É muito comum, o uso de medidores portáteis, que não são tão precisos, porém possuem as vantagens de ser práticos e rápidos, por permitirem estimar o teor de umidade no local, sem necessidade de cortar e transportar o material para laboratórios. Estes medidores se baseiam nas propriedades elétricas da madeira, que funciona como resistência elétrica para fechar o circuito, quando da penetração de agulhas na peça de madeira.

Em função do uso a que se destina, é muito importante que a madeira, esteja próximo ao teor de umidade de equilíbrio da região, para que sejam evitados problemas indesejáveis, conseqüentes de alterações nas suas formas e dimensões originais. Para fins estruturais, se considera a resistência da madeira em condição seca, quando se encontra com teor de umidade de equilíbrio regional. À medida que o teor de umidade aumenta, a madeira vai perdendo resistência até atingir o ponto de saturação, onde permanece estabilizado, conforme mostra o gráfico esquemático da Figura 2.2.

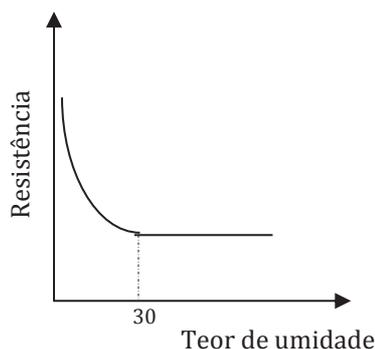


Figura 2.2 - Gráfico esquemático da resistência x teor de umidade.

2.3. Densidade

É definida como massa da amostra por unidade de volume. Por coincidência das definições de unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI), onde as grandezas básicas são o comprimento, a massa e tempo e no Sistema MKS e MKS técnico as grandezas básicas são o comprimento, a força e o tempo, o valor numérico de massa, em unidades do SI, é praticamente igual ao valor numérico de peso, em unidades do MKS técnico. Desta forma, é comum expressar a densidade ou massa específica, como a relação entre peso e volume de uma amostra. Como a massa e o volume, representam a parte sólida

(madeira), líquida (água) e vazios celulares e intercelulares, foram definidos quatro valores de densidades para uma mesma amostra de madeira. Isto se faz, pela importância da densidade como parâmetro referencial de qualidade da madeira em relação a usos específicos, devido a sua alta correlação com várias outras propriedades (Figura 2.3). Portanto, a palavra densidade, pode trazer dúvidas ou interpretações errôneas, se não vier acompanhada das condições de umidade que foi obtida. A densidade do material lenhoso (somente madeira) é de aproximadamente 1500 kg/m^3 , independente da espécie, porém este valor nada representa em condições normais de utilização.

O peso específico é definido como a relação entre o peso da amostra de madeira e o peso do volume de água deslocada, pela imersão da amostra. Portanto, é adimensional. Como no sistema métrico a densidade da água é aproximadamente igual a um, o valor numérico da densidade e peso específico é o mesmo.

As normas de caracterização especificam os procedimentos para obtenção do peso da amostra (dimensões e precisão de balança) e seu volume (medidas diretas com paquímetro, imersão em água ou mercúrio), na determinação dos valores da densidade.

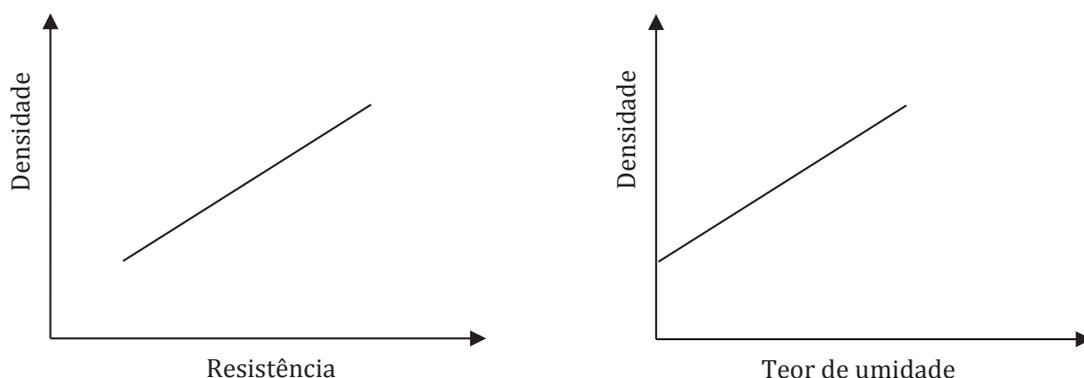


Figura 2.3 - Gráficos esquemáticos: densidade x resistência mecânica e densidade x teor de umidade.

2.3.1. Densidade verde

É a relação entre a massa (m_v) e o volume (v_v), ambos em condição de saturação das fibras e vazios celulares e intercelulares. Nestas condições, se diz simplesmente madeira saturada. Como acima de ponto de saturação das fibras, o volume permanece constante, o mesmo não acontece com o peso, considerando a quantidade de água livre que se encontra nos vazios celulares e intercelulares. Daí, a importância de verificar se a densidade verde é saturada, ou a um determinado teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras, principalmente para madeiras de baixa densidade. É utilizada na estimativa de peso para transporte, peso próprio de estruturas e na aplicação de programas de secagem de madeira. Normalmente, a densidade verde encontrada na bibliografia, é em condição saturada, isto é, também os vazios internos estão completamente cheios de água.

$$D_v = \frac{m_v}{v_v} \quad (\text{expresso em g/cm}^3 \text{ ou kg/m}^3)$$

2.3.2. Densidade seca

É a relação entre a massa (m_s) e o volume (v_s), ambos em condição seca em estufa, a 0 % de teor de umidade. É uma característica importante na escolha de espécies de madeira para fins energéticos.

$$D_s = \frac{m_s}{v_s} \quad (\text{expresso em g/cm}^3 \text{ ou kg/m}^3)$$

2.3.3. Densidade básica

É a relação entre a massa (m_s) seca em estufa a 0 % de teor de umidade e o volume (v_v) verde (saturado). Por ser mais fácil de determinar, ser mais precisa em termos de condições de umidade e através dela ser possível estimar a densidade aparente, a densidade básica é muito usada na comparação entre propriedades de espécies e na condução de programas de secagem.

$$D_b = \frac{m_s}{v_v} \quad (\text{expresso em g/cm}^3)$$

2.3.4. Densidade aparente

É a relação entre a massa (m_{ap}) e o volume (v_{ap}), ambos a um determinado teor de umidade. Normalmente, a densidade aparente é determinada a 12 % ou 15 % de teor de umidade. É a densidade mais difícil de obter, pela necessidade de condicionar a madeira em ambiente climatizado, sendo, portanto um processo demorado, além de muitas vezes, ser necessário corrigir os valores obtidos, devido à variação que normalmente ocorrem em torno do teor de umidade desejado. É utilizada na avaliação do peso próprio de estruturas em viga laminada colada, em madeira maciça e comparação de espécies para usos específicos.

$$D_{ap} = \frac{m_{ap}}{v_{ap}} \quad (\text{expresso em g/cm}^3 \text{ ou kg/m}^3)$$

A densidade aparente (D_{ap}) pode ser determinada através da densidade básica (D_b) e contração volumétrica, de acordo com as equações seguintes,

$$D_{ap} = \left(\frac{1 + \frac{U_i}{100}}{1 - \frac{CV_{U_i}}{100}} \right) D_b \dots \text{para } U_i < 30\%$$

$$D_{ap} = \left(1 + \frac{U_i}{100} \right) D_b \dots \text{para } U_i \geq 30\%.$$

onde, U_i é o teor de umidade desejado em porcentagem e CV_{U_i} o valor da contração volumétrica da madeira saturada até o teor de umidade U_i .

2.4. Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional é a capacidade que a madeira possui de retrair ou expandir com a perda ou ganho de umidade. Esta característica é de grande importância na definição de usos finais, tais como portas, janelas, móveis, pisos, forros, escadas e no estabelecimento de programas de secagem adequados.

Abaixo do ponto de saturação das fibras, a variação no teor de umidade, é acompanhada de alterações nas dimensões da peça de madeira, devido ao ganho ou perda da água de impregnação das paredes celulares. Estas alterações são medidas quantitativamente, segundo os três eixos principais: tangencial (DT), radial (DR) e longitudinal (DL), conforme mostra a Figura 2.4. A estabilidade dimensional da madeira se aproxima de uma função linear em relação ao teor de umidade. A contração na direção tangencial é sempre maior do que na direção radial e na direção longitudinal é bastante pequena, variando em torno de 0,5%. Madeiras mais estáveis possuem baixos valores de contração e relação entre contração tangencial e radial menor ou igual a dois. Podemos determinar a contração tangencial, radial, longitudinal e volumétrica da madeira, entre o ponto de saturação das fibras e 0% de teor de umidade, através da equação,

$$\text{Contração dimensional (\%)} = \frac{D_v - D_s}{D_s} \times 100$$

$$\text{Inchamento dimensional (\%)} = \frac{D_s - D_v}{D_v} \times 100$$

Onde D_v é o valor dimensional verde e D_s é o valor dimensional seco em estufa

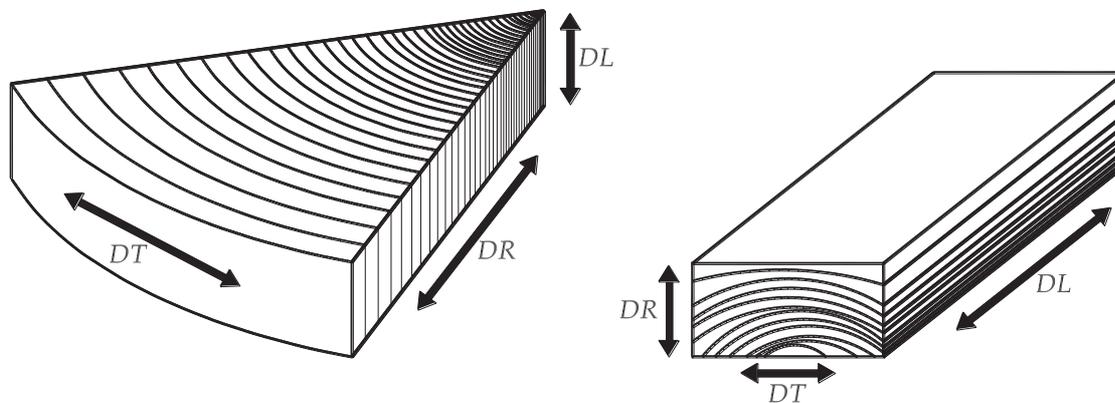


Figura 2.4 - Direções principais.

A relação entre a contração tangencial (CT), contração radial (CR), contração longitudinal (CL) e contração volumétrica (CV), com o teor de umidade é aproximadamente linear, conforme mostra o gráfico esquemático da Figura. 2.5.

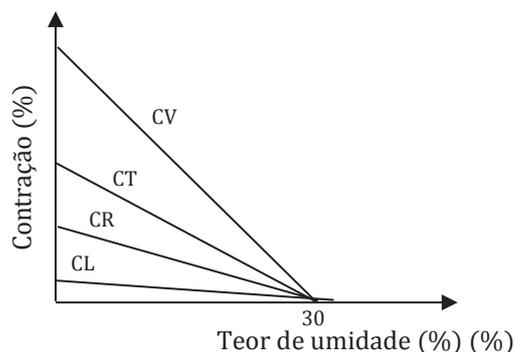


Figura 2.5 - Gráfico esquemático de contração x teor de umidade.

Exemplo

Determinar a largura final de uma tábua tangencial (maior dimensão da seção transversal, tangente aos anéis de crescimento) de 2,5x30 cm, que se encontra saturada (verde), até atingir o teor de umidade de equilíbrio de 12%. A contração tangencial total (de saturada a 0% de teor de umidade) é de 8%. Utilizar o ponto de saturação das fibras (P.S.) igual a 30%.

Resolução

Como a contração ocorre praticamente de forma linear, utiliza-se a regra de três simples,

(De 30% a 0% de teor de umidade) —————> (Contraí 8%)
 (De 30% a 12% de teor de umidade) —————> (contraí x)

$$x = (30\% - 12\%)8\% / 30\% = 4,8\%$$

$$30 \text{ cm} \times 4,8\% = 1,4 \text{ cm}$$

$$\text{Largura final: } 30 \text{ cm} - 1,4 \text{ cm} = 28,6 \text{ cm}$$

CAPITULO 3

PROPRIEDADES MECÂNICAS

Um material que possui as mesmas propriedades em qualquer direção é chamado de material isotrópico. Quando as propriedades variam de uma direção para outra é denominado de anisotrópico. Quando um material apresenta simetria em três direções e suas propriedades não variam numa mesma direção, porém variam de uma direção para outra, são chamados de ortotrópicos. A existência de três direções ortogonais bem definidas e simétricas na madeira, que são as direções, longitudinal, tangencial e radial, permite a concepção simplificada de considerar a madeira como um material ortotrópico para efeito de determinação de suas propriedades de resistência. Desta forma, seria necessário determinar estas propriedades para cada um dos três eixos principais. Porém, como as propriedades de resistência não variam significativamente em relação às direções tangenciais e radiais, as normas de caracterização recomendam que os ensaios sejam realizados na direção mais desfavorável, de forma que, para efeitos práticos de cálculo e dimensionamento de estruturas, basta que se determine o esforço nas direções paralela e perpendicular às fibras.

As propriedades de resistência da madeira estão diretamente relacionadas com a densidade. De forma geral, as madeiras mais densas são mais resistentes, porém podemos encontrar espécies de mesma densidade, onde algumas propriedades de resistência sejam maiores ou menores do que de outra espécie.

O gráfico, tensão x deformação, apresenta um trecho inicial praticamente reto ficando bem definido o limite de proporcionalidade (Figura. 3.1). Neste trecho, a madeira se comporta como um material linearmente elástico, onde as deformações se tornam nulas, quando se retira a carga aplicada. A inclinação da curva mostra que o módulo de elasticidade a tração paralela às fibras é um pouco superior ao módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras.

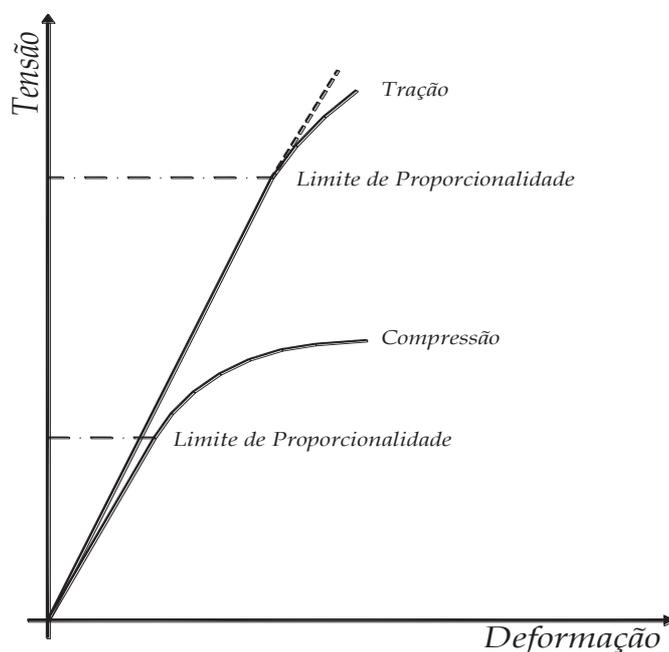


Figura 3.1 - Gráfico esquemático da resistência a tração e compressão paralela às fibras.

3.1. Tipos de ensaios

Os ensaios de caracterização em pequenos corpos-de-prova sem defeitos têm como objetivo determinar o potencial de usos das espécies de madeiras seja através de análise destas propriedades ou pela comparação com espécies já tradicionalmente utilizadas no mercado. O alto custo de caracterização de peças em tamanho estrutural, fez com que a maioria das normas de dimensionamento de estruturas utilizasse os valores destes ensaios para determinar as tensões de cálculo de estruturas. As peças estruturais passam por um processo de classificação visual e/ou mecânico de resistência e a

partir dos ensaios em pequenos corpos-de-prova sem defeitos, são determinadas as tensões de cálculo. O uso de pequenos corpos-de-prova sem defeitos permite eliminar a influência de defeitos tais como nós, rachaduras, inclinação das fibras, teor de umidade, etc. na caracterização de madeiras.

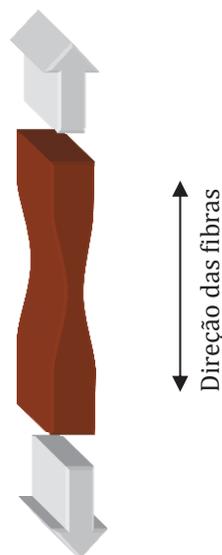
Assim, as espécies de madeiras podem ser comparadas, sem a influência destas variáveis, que alteram significativamente as propriedades de resistência de forma aleatória, dificultando a análise das reais características físicas e mecânicas de uma determinada espécie de madeira.

Os ensaios de caracterização descritos a seguir são realizados em corpos-de-prova com teor de umidade na condição verde e a 12% ou 15%, conforme metodologia de normas específicas, onde é definido o sistema de amostragem, a velocidade de carregamento, dimensão do corpo-de-prova, esquema estático e o número de corpos-de-prova em função da precisão desejada.

3.1.1. Tração paralela às fibras

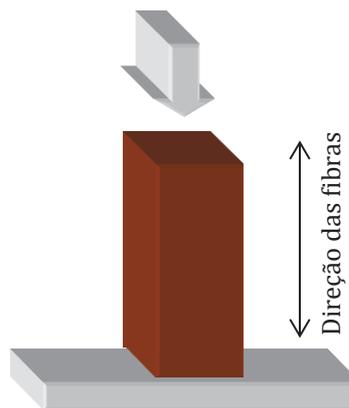
Existem poucas informações disponíveis sobre a resistência a tração paralela às fibras. O corpo-de-prova de difícil execução, a possibilidade das garras da máquina de ensaios esmagarem as fibras na compressão perpendicular, leva a resultados de ensaios pouco confiáveis. Outro fator relevante é que nas estruturas correntes, normalmente são as conexões de extremidade que define a área necessária para resistir a esforços. Esta propriedade tem importância no dimensionamento de treliças e comparação entre espécies.

Na tração perpendicular às fibras a madeira possui baixa resistência, apresentando um alto coeficiente de variação nos resultados de ensaios. A resistência na direção radial é um pouco superior a resistência na direção tangencial, porém pode chegar a quase 40 vezes maior na direção paralela às fibras. É utilizada nas estruturas em arco.



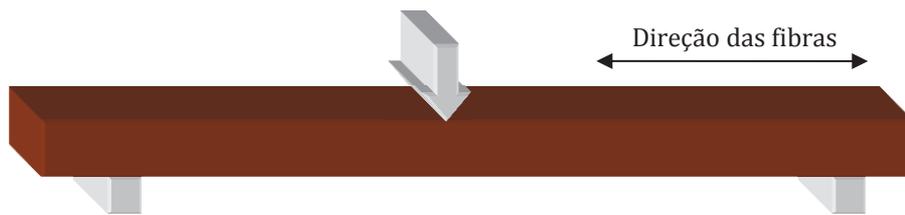
3.1.2. Compressão paralela às fibras

Normalmente o ensaio é realizado em corpos-de-prova de seção quadrada, cuja altura é de quatro vezes a largura da seção (peças curtas) determinando a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade. Esta propriedade é usada para dimensionamento de pilares ou colunas, comparação entre espécies e Dligações. O módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras é aproximadamente igual ao módulo de elasticidade na flexão, para madeiras tropicais, com teor de umidade acima do ponto de saturação as fibras.



3.1.3. Flexão estática

Normalmente o ensaio é realizado em corpos-de-prova de seção quadra, com esquema estático de viga isostática bi apoiada com carga concentrada central ou dois pontos de carga equidistantes dos apoios determinando a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade. A relação, vão livre/altura da peça fica em torno de 14 a 20. Estas propriedades são usadas para dimensionamento de peças fletidas, comparação entre espécies e arqueamento.



Dentro do regime elástico, a peça fletida é solicitada por tensões de compressão paralela às fibras (f_c) acima da linha neutra, tração paralela às fibras (f_t) abaixo da linha neutra e cisalhamento paralelo às fibras. Como a madeira é mais resistente a tração do que a compressão, a ruptura se dará em primeiro lugar a compressão e posteriormente a tração paralela às fibras, conforme mostra o gráfico esquemático da Figura 3.2.

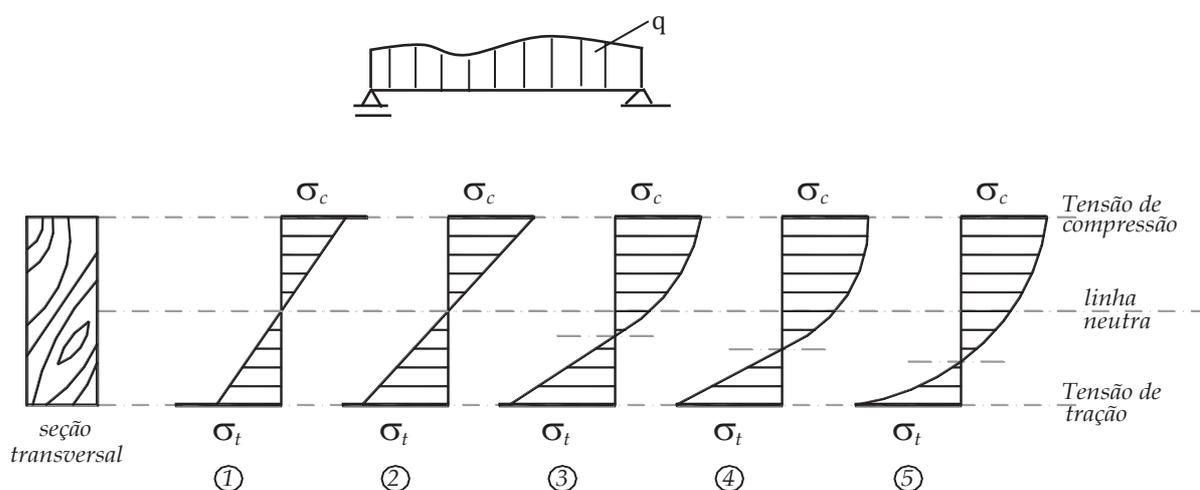


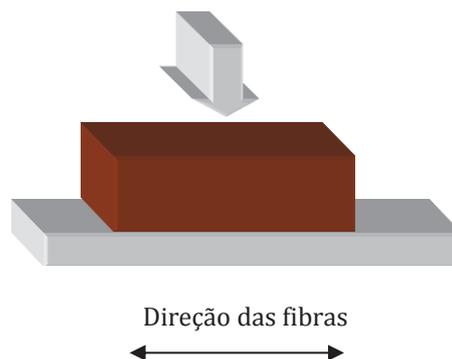
Figura 3.2 - Gráficos das tensões internas em peças fletidas.

Para incrementos de carga ocorrem as seguintes situações de comportamento, quanto às solicitações internas:

- Gráfico (1) – tensões resistentes menores que as tensões de compressão e tração paralela às fibras (dentro do regime elástico);
- Gráfico (2) – tensões de compressão paralela às fibras no limite de elasticidade;
- Gráfico (3) – plastificação das fibras superiores (compressão paralela às fibras);
- Gráfico (4) – tensões de tração paralela às fibras no limite de elasticidade;
- Gráfico (5) – plastificação das fibras inferiores (tração paralela às fibras).

3.1.4. Compressão perpendicular às fibras

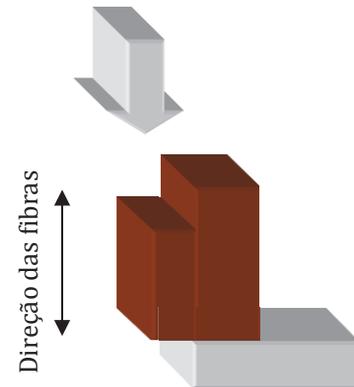
Como o esforço é perpendicular ao eixo das fibras, o que ocorre é a compactação das fibras (eliminação dos vazios) e conseqüentemente o aumento da capacidade de carga da peça de madeira. Sob a ação de cargas pontuais (parafusos, por exemplo) a resistência da madeira aumenta devido à alta resistência das fibras na tração. A resistência máxima é caracterizada pela capacidade de carga no limite proporcional. A tensão no limite proporcional na compressão perpendicular às fibras é de aproximadamente cinco vezes menor que a tensão de



ruptura na compressão paralela às fibras, para madeiras tropicais, com teor de umidade acima do ponto de saturação as fibras. Esta propriedade é usada no dimensionamento do apoio de vigas, treliças, dormentes e comparação entre espécies.

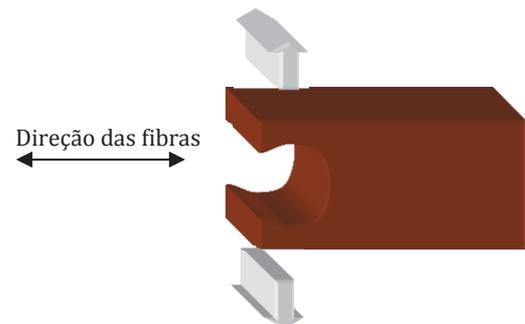
3.1.5. Cisalhamento paralelo às fibras

Considerando as três direções principais na madeira, temos o cisalhamento paralelo às fibras que ocorre no plano radial ou tangencial, perpendicular às fibras que ocorre no plano radial ou tangencial (deslizar as fibras sobre si mesmas) e perpendicular às fibras no plano de corte das fibras. Normalmente não se considera o cisalhamento perpendicular às fibras no plano de corte, devido à alta resistência de corte das fibras, cujo esforço necessário, com certeza já terá causado a ruptura por outro tipo de sollicitação, como por exemplo, na compressão perpendicular as fibras ou flexão. Apesar de que algumas normas recomendam que os ensaios de cisalhamento paralelo às fibras sejam feitos com 50% dos corpos-de-prova no plano tangencial e 50% no plano radial, a variação da resistência não é significativa em termos de utilização estrutural. Esta propriedade tem importância no dimensionamento de vigas, ligações e comparação entre espécies.



3.1.6. Fendilhamento

Mede a resistência de a madeira rachar no sentido longitudinal. Tem importância nos entalhes de apoio de vigas, rachaduras com a penetração e resistência com a extração de pregos.



3.1.7. Resistência ao impacto

Existem dois tipos de ensaios de determinação da resistência ao impacto na madeira. A flexão dinâmica que se caracteriza pela aplicação de cargas rápidas e sucessivas e a tenacidade, que utiliza o princípio básico do pêndulo. O ensaio de tenacidade fornece dados mais confiáveis. Sabe-se que o comportamento da madeira sob impacto é diferente quando comparado com o carregamento estático. O estudo do comportamento dinâmico da madeira tem aplicação em aeronaves, máquinas, equipamentos esportivos, dormentes, embalagens, escadas, carrocerias em geral e cabos de ferramentas.

3.1.8. Dureza

Consiste na penetração de uma semiesfera, na direção paralela e perpendicular às fibras. Esta propriedade possui uma boa correlação com as outras propriedades de resistência da madeira e é utilizada na comparação de propriedades entre espécies.

3.2. Fatores que afetam a resistência da madeira

3.2.1. Variabilidade natural do material

Sendo de origem botânica, é de se esperar que a madeira apresente diferenças em relação às suas propriedades físicas e de resistência. As variações na sua composição e estrutura orgânica se refletem em diferenças significativas nas propriedades entre espécies distintas, entre árvores de uma mesma espécie e também dentro de uma mesma árvore. Para algumas propriedades esta variabilidade tende a ser maior do que para outras. Como as propriedades de resistência de uma mesma espécie tendem para uma distribuição normal, a variabilidade é medida através do coeficiente de variação. A Tabela 3.1 mostra o coeficiente de variação médio de algumas propriedades da madeira. Estes valores foram obtidos em ensaios normalizados com corpos-de-prova sem defeitos de 150 espécies caracterizadas pelo LPF/MMA. Para efeito de caracterização é importante que o sistema de amostragem leve em consideração toda esta variabilidade, para se conseguir uma representatividade significativa de uma determinada espécie de madeira. Um método de amostragem de caracterização é mostrado no item 3.2.7.

Tabela 3.1 - Coeficiente de variação médio de espécies da Amazônia.

Propriedade	Coeficiente de variação (%)	
	Verde	Seco
Módulo de elasticidade – Flexão	14	12
Tensão de ruptura – Compressão paralela às fibras	15	13
Tensão de ruptura – Compressão perpendicular às fibras	23	18
Tensão de ruptura – Flexão estática	15	14
Tensão de ruptura – Cisalhamento paralela às fibras	17	18
Densidade básica	9	

3.2.2. Teor de umidade

A madeira varia consideravelmente as propriedades de resistência, com a variação do teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras que fica em torno de 30%. À medida que a madeira vai secando, sua resistência aumenta. A resistência aumenta de aproximadamente 4%, e a rigidez de aproximadamente 2%, para um decréscimo de 1% no teor de umidade. Em geral isto acontece pela aproximação das cadeias de celulose, devido à perda de água de impregnação, com o conseqüente aumento da rigidez e do atrito nos diversos elementos anatômicos da madeira.

O teor de umidade tem grande influência nas propriedades físicas e mecânicas, comportamento na secagem, eficiência nos processos de preservação, durabilidade natural, trabalhabilidade, acabamento e produtos derivados, tornando essencial a sua secagem até a umidade de equilíbrio regional para uma utilização racional e econômica.

3.2.3. Defeitos naturais

Os ensaios em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos não refletem a realidade do comportamento de peças estruturais de madeira sob a ação de cargas, devido a características peculiares associadas ao processo de crescimento da árvore. Os nós, inclinação das fibras, rachaduras, defeitos de secagem, etc. são os defeitos mais comuns que têm influência diferenciada na resistência da madeira em função do tipo de solicitação. Daí a necessidade de se realizar ensaios específicos para determinar esta influência e posteriormente estabelecer um sistema de classificação visual ou mecânico não destrutivo, a ser empregado em peças estruturais comerciais.

- Grã

Conforme foi visto anteriormente, o termo grã é usado para descrever a direção longitudinal dos elementos anatômicos estruturais da madeira. A grã inclinada afeta consideravelmente o comportamento estrutural de peças de madeira. Espécies de madeira com grã reta apresentam menor variabilidade nas suas propriedades de resistência, maior qualidade no processamento primário e

secundário e maior estabilidade dimensional, sendo as mais indicadas para uso estrutural. Madeiras com grã reta racham com maior facilidade do que aquelas com grã entrecruzada, devido ao paralelismo de seus elementos anatômicos. Desta forma, normalmente é necessário fazer pré-furo com broca para penetração de pregos e nos entalhes que sofrem esforço perpendicular às fibras, deve-se tomar cuidado com a possibilidade de rachaduras por fendilhamento.

- Nós

Os nós são consequências do surgimento dos galhos durante o crescimento da árvore. Se o galho é vivo, seus tecidos são contínuos com os tecidos do tronco da árvore. Se o galho morre, não existe mais continuidade dos tecidos, ficando o nó solto no tronco. A influência do nó no comportamento estrutural da madeira depende do seu tamanho, posição e tipo de esforço atuante. A influência do nó na tração é maior que na compressão, devido à descontinuidade e desvio da inclinação das fibras em relação às fibras do tronco. As normas de classificação visuais fornecem as dimensões e localizações dos nós considerados aceitáveis em peças estruturais.

- Secagem

A secagem da madeira em estufa, se não for bem conduzida pode levar ao aparecimento de defeitos tais como empenamento, arqueamento, torcimento, acanoamento, colapso, etc. que influenciam na sua resistência e na sua qualidade. Conforme será visto posteriormente, estes defeitos podem ser minimizados, utilizando programas de secagem adequados.

3.2.4. Influência do tempo de carregamento

Normalmente os ensaios de caracterização mecânica de espécies de madeira são realizados com aplicação de carga num tempo relativamente curto em torno de 5 minutos. Na prática, as peças estruturais são submetidas a carregamento de longa duração, ocorrendo deformações adicionais que dependem do tempo. Este fenômeno, comum em outros materiais de construção, é denominado fluência da madeira. Devido às características visco elásticas da madeira estas deformações podem crescer durante vários anos até estabilizar. Este efeito tende a aumentar com o aumento do teor de umidade e do carregamento. Outro fenômeno visco elástico da madeira é a relaxação que se manifesta quando, ao se manter a deformação constante, os esforços necessários vão diminuindo ao longo do tempo.

3.2.5. Biodeterioração

Por ser de origem orgânica e natural, quando a madeira fica exposta a certas condições de temperatura e umidade, pode ser degradada por agentes biológicos, agentes químicos e em menor escala por certas formas de energia. Os agentes biológicos são os fungos, que provocam a podridão e os insetos, que formam galerias no interior da madeira, destruindo suas células. Alguns ácidos e álcalis causam a degradação da lignina e da celulose. A forma de energia mais comum na degradação da madeira é o calor. Todos eles afetam as propriedades físicas e mecânicas da madeira. Conforme será visto posteriormente, existem vários métodos de combate e controle dos agentes que afetam a qualidade da madeira.

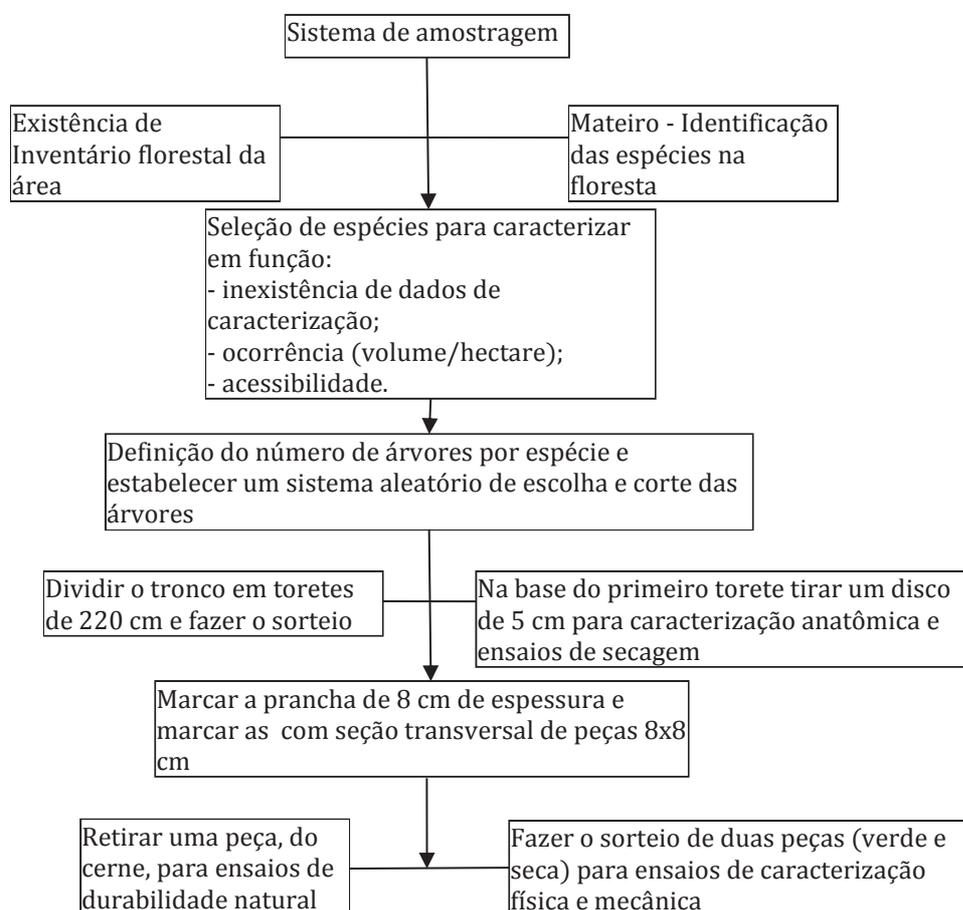
3.2.6. Temperatura

A influência da temperatura nas propriedades de resistência da madeira é mais significativa, quando fica exposta a temperaturas altas por um longo período de tempo. Para curtos períodos de duração com a temperatura variando em torno de 220°C, a resistência da madeira diminui, porém recupera a resistência com a diminuição da temperatura. A madeira seca é menos sensível a variação de temperatura do que madeira verde.

3.2.7. Sistema de amostragem aleatório para caracterização de espécies de madeira

Considerando a heterogeneidade da floresta amazônica, a região e espécies a serem amostradas ficam condicionadas a existência de Inventários Florestais. Para efeito de caracterização sem fins específicos, a escolha das espécies de madeira é feita em função da falta de conhecimento de suas propriedades, da

ocorrência (volume por hectare), da possibilidade de identificação das espécies na floresta e acessibilidade. No que concerne aos custos e confiabilidade nos resultados, a intensidade da amostragem deve ser reduzida numa primeira etapa, em relação ao número e tipo de ensaios. Uma das possibilidades de diminuir os tipos de ensaios é tirar partido da alta correlação que existe entre propriedades e numa mesma propriedade em condição de umidade verde ou seca. Após a caracterização, que fornecerá o potencial das espécies, a amostragem pode ser intensificada em função do grau de confiabilidade exigido para determinados usos específicos.



A prática tem demonstrado que a variabilidade nas propriedades da madeira é maior entre árvores do que dentro de uma mesma árvore. Alguns autores recomendam retirar uma a duas amostras em dez árvores por espécie, aproximadamente. O grau de confiabilidade em função do tamanho da amostragem é apresentado na Tabela 3.2, conforme estudos realizados por Noack (1970).

Tabela 3.2 – Número de árvores a serem amostradas ao acaso por espécie de madeira

Intervalo de confiança da média a um nível de confiança de 95% (%)	Número de amostras por árvore			
	Uma		Duas	
	Densidade	Propriedade mecânica	Densidade	Propriedade mecânica
	Número de árvores		Número de árvores	
± 15	4	6	3	5
± 10	5	12	4	8
± 5	20	35	12	20
± 2,5	70	150	40	80

A diversidade de espécies, dificuldade de acesso e existência de poucos Inventários Florestais da Amazônia torna praticamente impossível realizar uma amostragem dentro do conceito de seleção

puramente ao acaso. Desta forma, a escolha das espécies a serem caracterizadas, geralmente é baseada em Inventários Florestais realizados em regiões que tenha acesso por via terrestre ou fluvial. Uma das maneiras de selecionar as árvores é estabelecer um ponto de referência a partir do qual são demarcados pontos quilométricos (terrestre) ou horários (fluvial).

Utilizando uma tabela de números fortuitos, os pontos são sorteados em função do número de espécies e árvores a serem coletadas. A partir de cada ponto sorteado, o encarregado do trabalho de campo deverá mover-se para dentro da floresta, segundo um azimute escolhido ao acaso, marcando a primeira árvore por espécie encontrada.

Devido à dificuldade de transporte do material, raramente se penetra mais que um ou dois quilômetro dentro da floresta. Em cada um destes pontos deve ser coletada uma árvore por espécie. O responsável pela coleta deve preencher um formulário constando a data de corte da árvore, nome da área e indicação do ponto de localização, nome comum regional e nome científico da espécie, altura total, diâmetro da copa, altura comercial, DAP, forma do fuste, presença de sapopema e outros dados considerados relevantes. Também devem ser coletadas amostras botânicas (folhas, flores, frutos, etc.) de cada árvore e enviadas, juntamente com amostra de madeira do cerne, alburno e casca, para entidades idôneas para que possam ser identificadas. A correta identificação das espécies é de fundamental importância na credibilidade de todo o trabalho.

Esta árvore deve estar livre de defeitos e por razões práticas, com diâmetro a altura do peito (DAP) entre 40 cm e 80 cm. Após o corte da árvore, a parte comercial da árvore é dividida em toretes com comprimento que atenda as necessidades planejadas de corpos-de-prova para ensaios de caracterização, de acordo com as normas adotadas.

O comprimento do torete é aproximadamente igual à somatória do comprimento dos corpos-de-prova mais 30%, devido à possibilidade do aparecimento de defeitos ao longo da peça e também de seus extremos.

A seleção ao acaso de cada torete é feita pela probabilidade proporcional ao seu volume (Figura 1). Monta-se uma tabela dos diâmetros de cada torete demarcado, medido na parte superior, elevando ao quadrado e expressando o diâmetro ao quadrado acumulado como porcentagem do último torete. A escolha ao acaso pode ser feita usando-se uma tabela de números fortuitos de 1 a 100. A Tabela 3.3 mostra um exemplo ilustrativo.

Tabela 3.3 – Seleção dos toretes proporcional ao volume.

Torete	Diâmetro do torete	Diâmetro ao quadrado	Diâmetro ao quadrado acumulado	Porcentagem acumulada
1	70	4900	4900	22
2	67	4489	9389	43
3	63	3969	13358	61
4	58	3364	16722	77
5	52	2704	19426	89
6	48	2304	21730	100

Se o número 75 for selecionado numa tabela de números aleatórios, o torete de número 4 deverá ser escolhido para retirar as amostras de ensaios (Figura 3.3).

Num estudo preliminar de caracterização, adotando um intervalo de confiança da média de 15%, a um nível de confiança de 95%, serão necessários dois toretes de cada árvore, totalizando cinco árvores por espécie (Tabela 3.2).

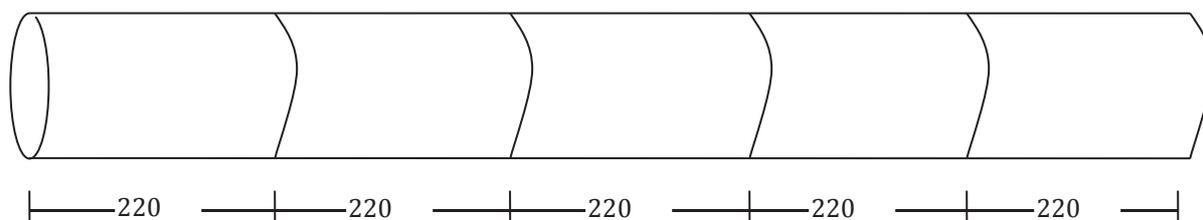


Figura 3.3 - Divisão da parte comercial da árvore em toretes de 220 cm de comprimento. A escolha dos toretes para caracterização é feita por sorteio proporcional ao volume.

De cada torete é retirada uma prancha de casca a casca, equidistante da medula, cuja espessura é função das dimensões dos corpos-de-prova. Estas operações podem ser realizadas com motosserras potentes, adaptadas com sabre alongado e fixadas numa grade metálica, permitindo o desdobro com um operário de cada lado do torete (Figura 3.4).

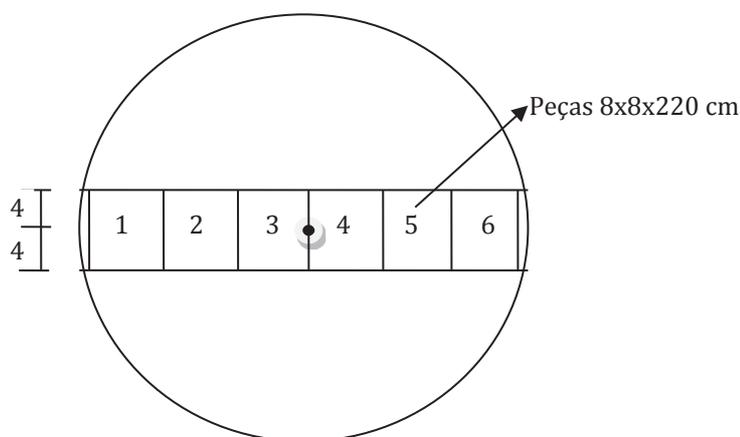


Figura 3.4 - Divisão da prancha central em peças de 8x8 cm. As peças são numeradas e a escolha é feita por sorteio.

Alguns ensaios são realizados com corpos-de-prova orientados em relação aos anéis de crescimento. Devido às perdas de dimensões com a secagem e com a preparação dos corpos-de-prova, recomenda-se que a espessura da prancha seja de 40% a 50% maior. A espessura da prancha é o lado dos quadrados que são demarcados na mesma, equidistantes da medula. Nestas peças, utilizando qualquer técnica de escolha ao acaso, é selecionada uma amostra para ensaio verde (saturado de umidade), uma amostra para ensaio seco (12% de teor de umidade) e uma amostra para preservação e durabilidade natural. Após o corte das amostras, elas deverão ser pulverizadas com um produto fungicida e inseticida e aquelas destinadas a ensaios na condição verde de umidade, acondicionadas em plásticos para evitar a perda de umidade. Todas as amostras deverão ser codificadas numericamente com o nome da espécie, local de coleta, número da amostra e número do torete.

Nos toretes anteriores aos toretes sorteados são retiradas as amostras para ensaios de secagem artificial, cujas dimensões dependem da secadora e deve ser marcado no torete de forma equidistante da medula. Após o corte das amostras, elas deverão ser pulverizadas com um produto fungicida e inseticida e acondicionadas em plásticos para evitar a perda de umidade. Todas as amostras deverão ser codificadas numericamente com o nome da espécie, local de coleta, número da amostra e número do torete.

De cada árvore coletada é retirado um disco de aproximadamente 5 cm de espessura, na altura do peito (DAP), para a descrição dos caracteres gerais macroscópicos e microscópicos e identificação botânica da espécie. Deverão ser codificadas numericamente com o nome da espécie e local de coleta.

A Figura 3.5, mostra a sequência dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos.

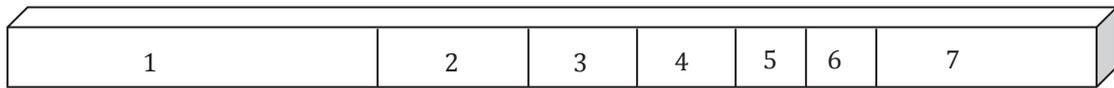


Figura 3.5 – Posição de retirada dos corpos-de-prova de caracterização
Onde,

- 1 – Flexão estática
- 2 - Compressão paralela às fibras
- 3 - Compressão perpendicular às fibras
- 4 – Dureza Janka
- 5 – Cisalhamento paralelo às fibras
- 6 – Tração perpendicular às fibras
- 7 – Densidades e estabilidade dimensional

CAPITULO 4

ASPECTOS DE SECAGEM E DE DURABILIDADE DA MADEIRA

4.1. Secagem de madeira

O teor de umidade presente na madeira tem grande influência nas propriedades físicas e mecânicas, comportamento na secagem, eficiência em alguns processos de preservação, durabilidade natural, trabalhabilidade, colagem, acabamento e produtos derivados, tornando esta característica, uma das mais importantes no estudo do comportamento da madeira.

Retirar a água da madeira requer o conhecimento de técnicas específicas, que tem como objetivo evitar o aparecimento de defeito que possam diminuir seu valor comercial levando em conta a rapidez e economia no processo de secagem.

Trabalhar a madeira seca (em torno de 15% de teor de umidade) resulta em produtos de qualidade, maior aproveitamento (menor ocorrência de defeitos), maior estabilidade dimensional, menor custo de transporte, aumento da resistência mecânica e isolamento térmico, acústico e elétrico, impedem a ação de fungos apodrecedores, aceita melhor o tratamento preservativo, a cola e pintura de forma geral.

O teor de umidade de equilíbrio da madeira depende da umidade relativa do ar e da temperatura. Como estes dois parâmetros variam bastante de uma região para outra e também, ao longo do ano numa mesma região é comum estabelecer como umidade de equilíbrio da madeira, o valor médio anual regional. Como exemplo, a madeira com um teor de umidade qualquer, colocada num ambiente cuja temperatura é de 21°C e umidade relativa do ar de 65% tende a perder ou ganhar umidade até estabilizar numa umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%. A tabela 4.1 mostra a variação do teor de umidade de equilíbrio médio mensal e a média anual, para algumas cidades brasileiras (Galvão, s.d.).

Tabela 4.1- Média mensal e anual do teor de umidade de equilíbrio da madeira.

Cidade	Mensal												Anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Belém	19,9	21,0	21,0	20,4	18,8	17,5	17,0	17,0	17,5	17,0	16,6	17,9	18,5
Belo Horizonte	14,6	14,1	14,6	14,2	14,0	13,7	12,4	11,2	11,5	12,8	14,1	16,1	13,6
Curitiba	16,9	17,6	17,7	17,8	14,4	17,3	16,3	15,7	16,3	17,0	16,2	16,5	16,6
Fortaleza	14,9	15,8	16,6	16,6	15,9	15,2	14,3	13,6	13,9	13,6	13,9	14,3	14,9
Goiânia	16,4	16,8	16,8	15,3	13,7	12,7	11,4	9,6	9,8	12,5	15,2	16,8	13,9
Manaus	19,3	19,3	19,3	19,3	18,3	17,0	15,9	14,9	15,2	15,5	16,6	17,9	17,4
Porto Alegre	12,9	14,0	14,3	15,4	16,6	17,4	16,6	15,6	15,2	14,4	13,1	12,5	14,8
Rio de Janeiro	15,2	15,2	15,5	15,6	15,7	15,3	15,0	14,7	15,3	15,3	15,6	15,6	15,3
Salvador	15,5	15,2	15,9	16,7	16,7	16,4	16,0	15,6	16,0	16,0	16,0	15,9	16,0
Sã Paulo	16,8	16,8	16,1	16,5	15,8	15,6	15,3	13,9	14,2	17,0	15,7	16,9	15,9

O processo de secagem ocorre quando a madeira esta com um teor de umidade acima da umidade de equilíbrio local. Inicialmente ela perde a água livre, que se encontra nos poros da madeira ou dentro das células, por capilaridade. Esta água não causa alterações nas suas propriedades mecânicas. Quando a madeira perde toda a água livre, ela fica com um teor de umidade que é chamado de ponto de saturação das fibras. O ponto de saturação das fibras varia de 24% a 30%, dependendo da espécie de madeira. Posteriormente, ela começa a perder a água de impregnação, que se encontra dentro das paredes celulares, até atingir a umidade de equilíbrio do local onde se encontra. Como a água de impregnação faz parte da estrutura da parede celular, a sua perda altera esta estrutura, causando o fenômeno conhecido como contração. Como a contração na direção tangencial é sempre maior do que na direção radial e esta bem maior do que na direção longitudinal, ele pode apresentar uma série de

defeitos que são principalmente as rachaduras e os empenamentos. Como a contração depende da espécie de madeira é de se esperar que nas espécies com baixas contrações e com diferenças entre as contrações tangenciais e radiais, também baixas, a tendência a apresentar defeitos durante a secagem é menor.

A secagem da madeira depende da temperatura, ventilação e umidade relativa do ar. A temperatura faz com que a água se transforme em vapor, a ventilação se encarrega de transportar este vapor que é absorvido pelo ar seco do ambiente. A velocidade de secagem depende basicamente da espécie de madeira e espessura das peças. Madeiras de baixa densidade, normalmente secam mais rapidamente; o alburno, por ser mais permeável que o cerne, apresenta maior facilidade de secar; em relação à orientação de corte, o fluxo de umidade no sentido longitudinal é cerca de 12% maior do que no sentido transversal e cerca de 35% maior na direção radial do que na direção tangencial. Quanto à espessura, o tempo de secagem não segue uma função linear. Dobrando a espessura, o tempo de secagem fica em torno de quatro vezes maior.

Os processos mais comuns de secar madeira são: Secagem natural ou secagem ao ar livre e secagem artificial ou convencional.

4.1.1. Secagem natural

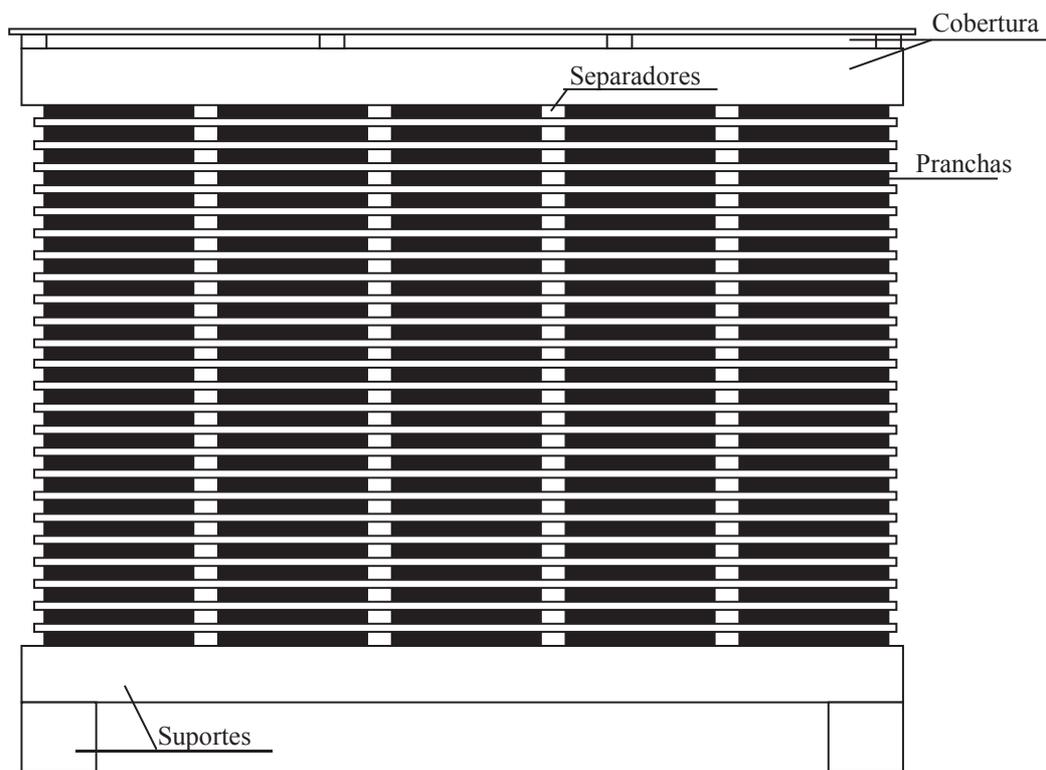
Também conhecida como secagem ao ar livre, a secagem natural consiste no empilhamento da madeira na horizontal e elevada do piso, utilizando sarrafos de madeira seca como separadores, em área coberta e aberta nos lados, para que o vento, a temperatura e umidade do ar ambiente se encarreguem de secá-la até atingir a umidade de equilíbrio do local. A função dos separadores é permitir que a circulação do ar entre as peças retire a umidade da madeira.

4.1.2. Secagem artificial

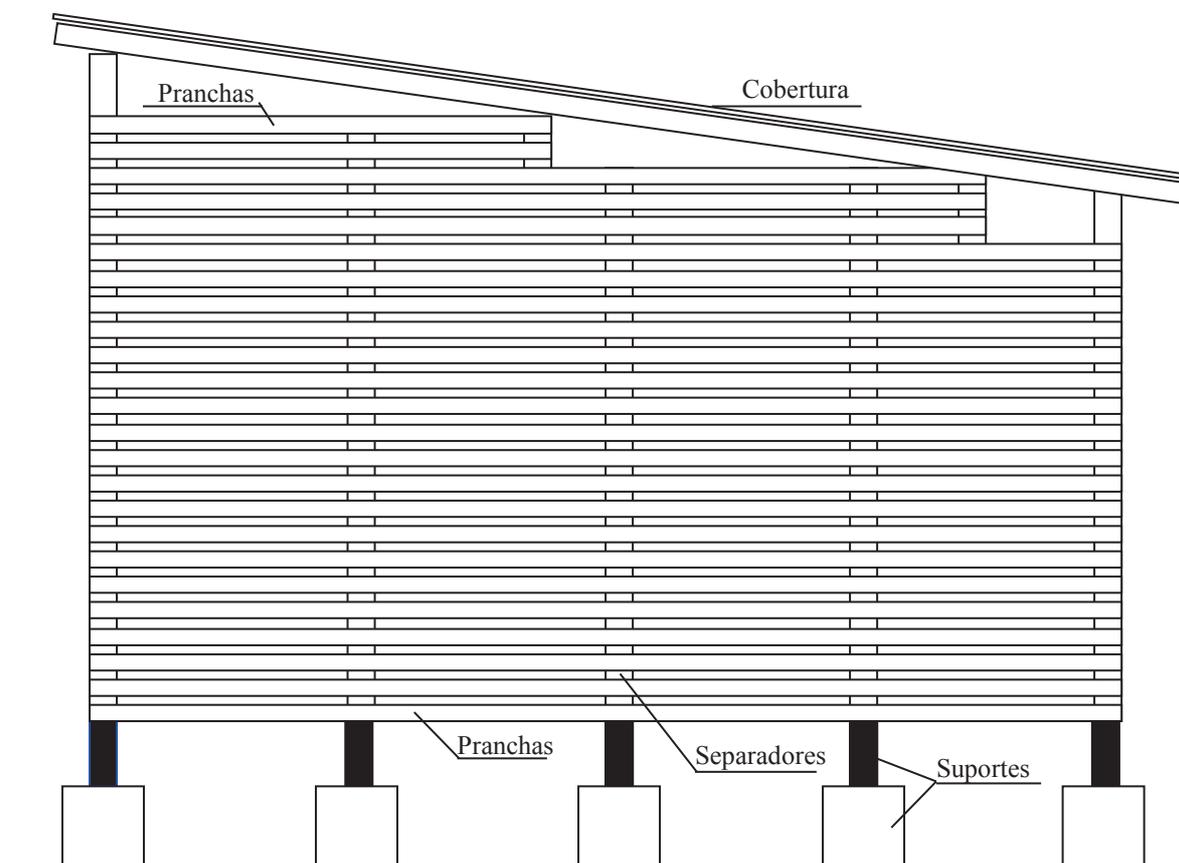
Apesar de ter um custo mais elevado, a secagem artificial ou secagem convencional é consideravelmente mais rápida, permite um maior controle dos defeitos de secagem e, ao final da secagem é possível atingir teores de umidade bem inferior à umidade de equilíbrio regional. Consta basicamente, de uma câmara fechada com dispositivos para fornecer calor, umidade e ventilação. O aquecimento do ar no interior do secador é realizado através de serpentinhas de vapor gerado em caldeiras ou ar quente gerado diretamente na queima de carvão ou resíduos de serrarias. A umidificação é feita através da injeção de vapor de água a baixa pressão e a circulação do ar através de ventiladores. De forma simplificada, a ventilação tem a função de distribuir uniformemente a temperatura ao longo da altura, do comprimento e entre as peças de madeira empilhada de forma adequada dentro do secador. A umidificação tem a função de impedir a perda excessiva de água na superfície, para evitar rachaduras superficiais, sendo um fator extremamente importante no controle de velocidade da secagem.

Qualquer que seja o processo utilizado na secagem, o controle de temperatura, umidade e ventilação é básico na obtenção de peças com qualidade. No secador convencional, isto se faz através da utilização de programas de secagem, que contem informações de quando e como estas variáveis devem ser alteradas no secador. Eles são elaborados em ensaios de laboratórios, para otimizar a secagem em termos de tempo e minimizar a presença de defeitos numa determinada espécie. Assim, o programa de secagem pode apresentar variações significativas de uma espécie para outra. Diz-se que uma espécie é difícil de secar quando o processo é lento e com possibilidades de surgir defeitos que possam causar prejuízos significativos.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram formas de empilhamento de madeira serrada para secagem natural e a Figura 4.3, uma secadora artificial sendo carregada para secagem.



Vista transversal



Vista longitudinal

Figura 4.1 - Desenho esquemático de empilhamento para secar madeira serrada



Figura 4.2 - Desenho esquemático de empilhamento para secar madeira serrada
<http://www.madeidura.com/procedimentos-industriais/serragem-da-madeira>

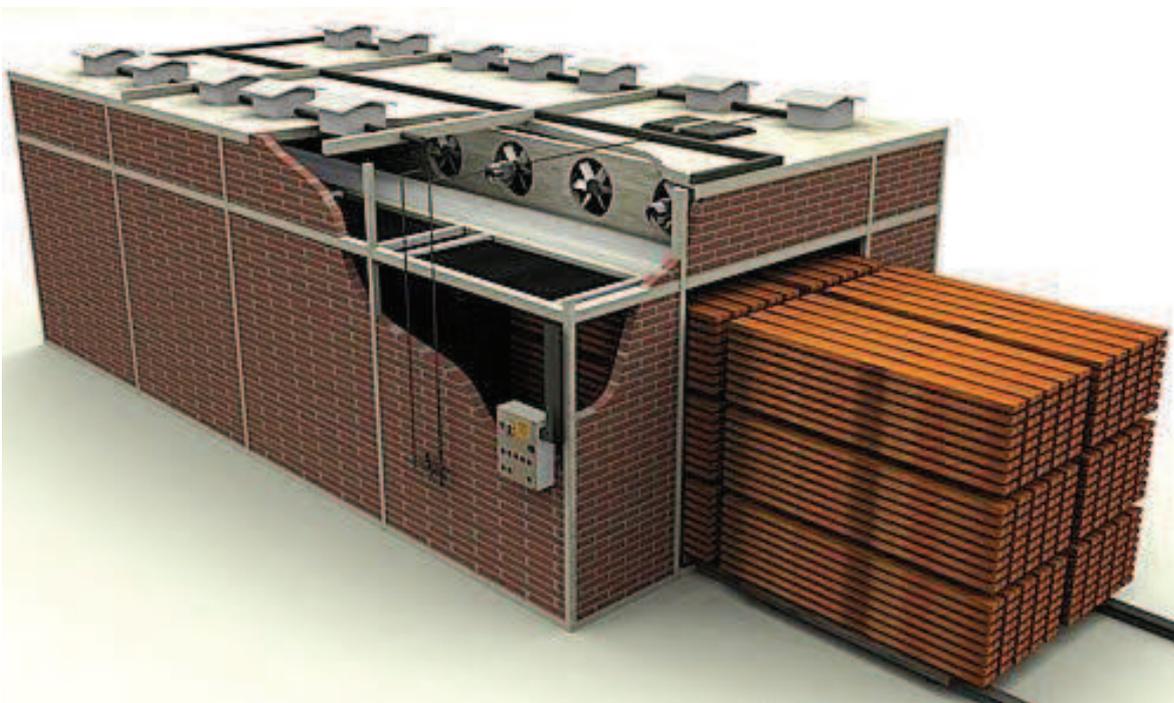


Figura 4.3 - Equipamento de secagem de madeira
<http://www.nei.com.br/busca/produtos/estufas+para+secagem+de+madeira/>

4.2. Degradação da madeira e prevenção natural

O processo de deterioração inicia-se com o abate da árvore, principalmente entre espécies de baixa densidade face ao ataque de organismos vivos, denominados xilófagos, que se nutrem e se abrigam na madeira. Em função disso, devem ser tomados cuidados especiais com relação à época de abate, rapidez na preservação química, transporte e condições de armazenamento das toras, desdobro primário e secagem. É responsabilidade do usuário, dar continuidade a esse processo de conservação e preservação, procurando adequar a diversidade de aplicações com técnicas construtivas apropriadas e escolha de espécies de madeira que apresentem propriedades naturais coerentes com os usos finais.

Durabilidade natural é a resistência da madeira ao ataque de agentes biológicos (fungos e insetos) e não biológicos (desgaste mecânico e degradação física e química). A maioria de dados sobre durabilidade natural existente se baseia em observações práticas empíricas obtidas ao longo dos anos, de maneira informal, não sendo utilizado nenhum critério metodológico de avaliação. Os ensaios de durabilidade natural em campo normalmente são de difícil execução, considerando a sua longevidade e, conseqüentemente, a continuidade das avaliações que devem ser realizadas periodicamente. Geralmente, as espécies de madeiras de maior densidade são mais duráveis na sua forma natural. No

entanto deve-se salientar que algumas espécies de madeira de alta densidade apresentam pouca durabilidade natural em ambiente muito agressivo, como por exemplo, em contato direto com o solo. É muito importante em termos de economia e durabilidade, que cada espécie seja avaliada individualmente para que seu emprego seja feito de forma eficaz, considerando as condições de exposição definidas em projeto, tais como, lançamento da estrutura, detalhes construtivos e manutenção.

As técnicas modernas de preservação de madeiras possibilitaram o aumento de sua durabilidade, eliminando sua maior desvantagem como material pouco durável, proporcionando-lhe características semelhantes ou melhores do que outro material tradicionalmente utilizado na construção.

Assim como todos os materiais, a madeira sofre degradação ao longo do tempo. A degradação na madeira é causada principalmente por fungos, insetos, fatores físicos e químicos e desgaste mecânico. O conhecimento prático da forma como agem e alteram o aspecto natural da madeira e as condições ideais de proliferação, permite que se tome medida preventiva adequada e em último caso, que se identifique o problema para que possa ser combatido com eficiência.

A presença de substâncias nutritivas na madeira permite que certo número de organismos vivos encontre as condições favoráveis de desenvolvimento e multiplicação. Dentre eles, os fungos e insetos são os maiores responsáveis pela deterioração da madeira, causando grandes prejuízos que vão desde o corte da árvore até sua utilização final.

A vulnerabilidade da madeira ao ataque destes organismos é bastante variável, dependendo principalmente da espécie florestal e em maior ou menor escala da densidade, quantidade de cerne presente na madeira, substâncias nutritivas (açúcares e amido), substâncias tóxicas (taninos, resinas e gomas) e teores de umidade. A presença de substâncias tóxicas nos extrativos naturais presentes no cerne torna esta parte do tronco mais durável do que o alburno.

4.2.1. Fungos

Os fungos são micro-organismo heterotróficos, portanto incapazes de manufaturar seus próprios alimentos devido a ausência de clorofila e sendo, portanto, parasitas que sobrevivem de matéria orgânica, como a madeira, decompondo a celulose e a lignina em produtos digeríveis, que são absorvidos e aproveitados como fonte de energia para o seu desenvolvimento.

A maioria dos fungos degradadores depende das seguintes condições ambientais para a sua proliferação e destruição da estrutura interna da madeira:

- temperatura. A maioria dos fungos se desenvolve com temperaturas entre 20°C e 35°C;
- oxigênio. Na ausência do oxigênio livre (ar), os fungos apodrecedores não se desenvolvem;
- umidade. A madeira com teor de umidade abaixo de 20%, não apodrece, isto é, os fungos não se desenvolvem, permanecendo inativos por longos períodos;
- alimento. Os fungos se alimentam principalmente da celulose e da lignina e de substâncias tais como amido e açúcares, armazenados em algumas células;
- pH. O desenvolvimento de fungos requer um PH com acidez de 4.5 a 5.5 na madeira.

4.2.2. Insetos

Depois dos fungos, os insetos são os maiores predadores da madeira. Dentre as 26 Ordens de insetos existentes, os Isópteras (Cupins ou Térmitas) e Coleópteras (Carunchos, Brocas e Besouros) são os que mais atacam a madeira no Brasil.

- Cupins ou Térmitas. Os cupins são pequenos insetos sociais que vivem em colônias bem organizadas, de forma semelhante às abelhas. Em função de seus hábitos e comportamentos existem dois grupos principais, que ocorrem com frequência no Brasil: cupins de solo e cupins de madeira seca;
- Carunchos, Brocas e Besouros;
- Brocas marinhas.

4.3. Métodos de preservação da madeira

4.3.1. Prevenção natural

O conhecimento das condições de exposição e o uso de espécies de madeiras adequadas diminuem sensivelmente os riscos de ataques por agentes destruidores tornando muitas vezes dispensável o uso

de preservativos químicos. A seguir serão descritos alguns cuidados que devem ser tomados, como forma preventiva para aumentar a durabilidade da madeira em serviço:

- evitar a presença de muita umidade, dando declividade no terreno ou elevando a área a ser construída;
- sempre que possível, manter os apoios de pilares a uma distância mais ou menos 15 cm do piso;
- remoção de entulhos da obra;
- os blocos de concreto, com pilares embutidos, não devem apresentar fissuras ou trincas e possuir um sistema de drenagem na sua parte inferior, para evitar o armazenamento de água;
- utilizar tintas ou produtos impermeabilizantes incolores;
- verificar a qualidade da madeira, evitando a presença de alburno, rachaduras e sinais de ataque de fungos e insetos;
- beirais grandes para proteção de chuva e sol;
- manter um espaço entre o forro e a telha para ventilação ou colocar uma manta impermeabilizadora;
- utilizar espécies de madeira que apresente a durabilidade natural necessária para o uso em questão;
- exigir do projetista um sistema construtivo que apresente uma certa facilidade na substituição de peças, que elimine a possibilidade de acúmulo de água e que permita a maior ventilação possível.
- o uso de peças de madeira com seção transversal acima das necessidades de cálculo, nos locais de grandes riscos, tende a elevar a sua vida útil.

4.3.2. Tratamento com preservativos

São utilizadas substâncias químicas (tóxicas) com o objetivo de envenenar os nutrientes para inibir o desenvolvimento de fungos e insetos. Os preservativos para madeira (fungicidas e inseticidas) podem ser hidrossolúveis (solúveis em água) e oleossolúveis (solúveis em óleo).

O creosoto é o preservativo oleossolúvel, mais comumente utilizado. Sendo oleoso é repelente a água, não aceita pintura, apresenta tonalidade escura e normalmente é empregado em ambiente aberto e ventilado (postes de eletrificação, dormentes, moirões de cerca) devido ao cheiro característico desagradável.

O CCA (cobre, cromo e arsênio) e o CCB (cobre, cromo e boro) são os preservativos hidrossolúveis mais comumente utilizados. Como são solúveis em água, aceitam pintura e apresentam tonalidade superficial esverdeada, que pode ser eliminada no lixamento.

Os tratamentos da madeira com produtos oleossolúveis são considerados mais eficientes em termos de durabilidade. Para tratamento com produtos oleossolúveis é necessário que a madeira esteja seca. Para os produtos hidrossolúveis, é recomendado que as peças de madeira sejam tratadas após seis meses do abate da árvore.

Os vários métodos de tratamento da madeira com preservativos existentes apresentam eficiência variável. A escolha do método a ser empregado depende basicamente de aspectos econômicos e das condições de exposição. Qualquer que seja o método de tratamento da madeira, deste que utilizado de forma adequada, tende a aumentar significativamente a vida útil da peça de madeira. Os mais comumente utilizados são:

4.3.2.1. Tratamento com pressão

O preservativo penetra praticamente em todo o alburno ou brancal da madeira e fixando nas suas paredes celulares. O processo dura em torno de quatro horas e o produto está pronto para utilização, assim que sai da autoclave. Consiste basicamente da colocação da madeira num cilindro de aço (autoclave), que é hermeticamente fechado. Com um vácuo inicial, a autoclave é preenchida com a solução preservativa e aplica-se pressão por um período que depende da espécie e penetração desejada. Em seguida, é liberada a pressão, a solução restante é retirada da autoclave e com um vácuo final é retirado o excesso do produto da superfície da madeira. Peças roliças devem ficar pelo menos 6 meses secando, antes de serem preservadas.

É o método mais eficiente industrializado e indicado para condições de exposição agressivas, tais como poste, pilares, estacas, pergolados e estruturas de forma geral. A vida útil do produto está condicionada à aplicação do preservativo de acordo com as recomendações do fabricante e também com as peças de madeira com teor de umidade especificado. A garantia de durabilidade dada pelas empresas pode variar de 15 a 20 anos. Existe no mercado autoclaves que preservam peças com até 25

m de comprimento. A qualidade do tratamento pode ser verificada enviando amostras do produto final para institutos de pesquisas com o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) em São Paulo.

A Figura 4.4 foi retirada da página da Montana Química S.A.

<http://www.montana.com.br/Produtos/Consumidores/Saiba-mais-sobre-Madeira-Tratada-Industrialmente/Madeira-Osmopressurizada>



Figura 4.4 - Autoclave de preservação de madeira com pressão

4.3.2.2. Substituição da Seiva

As peças roliças devem ser descascadas e colocadas verticalmente com a base submersa em um tambor contendo a solução preservativa, no máximo em 24 horas após a abate da árvore. A saída da água por capilaridade deixa o lugar para a solução de preservativo hidrossolúvel. O processo tem duração de 3 a 4 dias sendo mais utilizado em instalações rurais, devido a sua simplicidade e baixo custo de implantação. A utilização deste método está condicionada ao tempo de abate da árvore, porém resulta em produtos mais duráveis. Existe o inconveniente do descarte dos resíduos.

A Figura 4.5 foi retirada do trabalho de Washington Luiz Esteves Magalhães, da Embrapa Florestas http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus_2ed/Tecnologia_Madeira.html



Figura 4.5 - Tratamento por substituição de seiva

4.3.2.3. Banho Quente - Frio

As peças de madeira com teor de umidade abaixo de 25%, são colocada em tanque com o preservativo quente por aproximadamente duas horas e, em seguida transferida para um tanque com o preservativo na temperatura ambiente por mais quatro horas. O choque térmico causa uma contração no ar e conseqüentemente uma maior penetração do preservativo na madeira. É indicado para instalações rurais, devido a sua simplicidade e baixo custo de implantação. Existe o inconveniente de descarte dos resíduos.

4.3.2.4. Tratamento por imersão

As peças de madeira com teor de umidade abaixo de 25%, são colocada por alguns minutos, em tanques contendo soluções preservativas. É indicado para situações de usos em áreas protegida de chuvas, como telhados, tratamento de tábuas após o desdobro e espécies de baixa durabilidade natural.

4.3.2.5. Pincelamento e aspersão

Por ser um tratamento muito superficial é considerado o menos eficiente. É indicado para situações de usos em áreas protegida de chuvas, como telhados, tratamento de tábuas após o desdobro e espécies de madeira de baixa durabilidade natural. O pincelamento é feito com rolo, brocha ou pincel e a aspersão com pulverizador costal. Tem o inconveniente de não penetrar nas trincas ou rachaduras das peças de madeiras.

4.4. Acabamento e manutenção

A madeira quando exposta à luz solar, por períodos prolongados, sofre um processo de deterioração superficial perdendo sua cor natural e adquirindo um aspecto escuro e acinzentado. Desta forma é necessário o uso de produtos de acabamento que tem a função de impermeabilizar e manter a madeira com uma aparência agradável ao longo do tempo.

Para exteriores, os vernizes são os mais utilizados, porém como a aplicação e manutenção periódica, nunca são realizada de acordo com as especificações do fabricante, sua vida útil fica bastante reduzida exigindo muita mão-de-obra na recuperação, devido à necessidade de retirar todo o produto velho para dar início a uma nova pintura.

Os “stain” têm as vantagens de uniformizar a cor da madeira, visualizar a sua textura, possuir pigmentos fungicidas e inseticidas e de fácil manutenção, já que não há necessidade de remover o produto velho, bastando limpar ou lixar a superfície e aplicar o produto novamente.

Sendo a madeira um material de aparência agradável, a tendência natural é utilizar acabamentos transparentes para permitir sua visualização. Numa edificação composta de diferentes materiais, esta tendência é justificada pela possibilidade de tirar partido da combinação de contrastes. Já numa edificação toda em madeira, a pintura com tinta de cor têm as vantagens de impermeabilizar, aumentar a sua durabilidade e melhorar o conforto do ambiente em relação à temperatura, considerando que na maioria das vezes, as madeiras utilizadas na construção são escuras. Conforme já foi visto, como regra geral, madeiras de alta durabilidade natural são pesadas e madeiras pesadas são escuras.

Uma telha quebrada ou trincada pode causar infiltração no forro ou na estrutura de cobertura elevando a umidade e, conseqüentemente ao apodrecimento.

A região mais vulnerável dos postes, estacas e pilares é próxima ao nível do piso ou do solo. As condições ideais de desenvolvimento dos fungos apodrecedores (umidade, temperatura e ar), ocorrem no intervalo aproximado de 15 cm acima e 50 cm abaixo deste nível. A importância da verificação periódica do estado de sanidade desta região, esta na possibilidade de se fazer um tratamento preservativo no local, utilizando produtos (pastas e mantas preservativas) e técnicas disponíveis no mercado, que podem aumentar significativamente a vida útil da peça de madeira, a um custo relativamente baixo.

O combate de insetos em móveis ou partes da construção (estrutura de cobertura, pisos, escadas, janelas, portais e portas), é mais eficiente e econômico a partir da sua identificação. Os cupins de solo são identificados pelas galerias ou túneis que constroem para seus deslocamentos até a fonte de alimento que é a madeira. A forma mais eficiente e econômica de combate é encontrar seu ninho e destruir a rainha. Outra forma de combate é através da instalação de uma barreira química em volta da construção.

Os cupins de madeira seca se instalam diretamente na madeira, onde se desenvolvem sem qualquer ligação com o solo. A forma mais comum de eliminá-los é através da fumigação com gases tóxicos que são capazes de penetrar na madeira através dos canais feitos pelos insetos. Existem gases especiais que são utilizados com aplicadores específicos para este fim e pastilhas, que quando na presença do ar liberam gases tóxicos. O processo consiste em colocar a peça num ambiente hermeticamente fechado e injetar o gás ou as pastilhas. Por exemplo, um móvel pode ser facilmente embalado num plástico, um piso pode ser isolado com plástico ou fechando o ambiente, tomando o cuidado de isolar todas as frestas existentes. Já numa cobertura ou edificação, apesar de ser mais complicado e dispendioso, existem casos da prática deste procedimento. Como estes gases tendem a evaporar logo após a retirada do sistema de isolamento é necessário aplicar um produto preservativo superficial para proteger contra possíveis ataques futuros.

CAPÍTULO 5

DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Para que uma estrutura tenha um comportamento adequado a sua segurança, ela deve ser projetada e construída para suportar as solicitações previstas durante a sua execução e sua utilização a um custo razoável de construção e de manutenção. Para que isto aconteça, os esforços solicitantes e de resistência não deve ultrapassar determinados valores limites, que dependem do material, forma da estrutura e do sistema construtivo.

O conhecimento do comportamento mecânico do material, obtido através da sua caracterização, permite que sejam estabelecidos coeficientes de segurança regulamentados por meio de normas de dimensionamento de estruturas, que são aplicados às ações e/ou às resistências. No método de dimensionamento pelas tensões admissíveis o coeficiente de segurança é aplicado nos valores de resistência do material, enquanto que no método probabilístico de dimensionamento pelos estados limites, o coeficiente de segurança é aplicado às ações na estrutura e nos valores de resistência do material.

- Ações: São forças, momentos externos ou deformações aplicadas à estrutura;
- Resistência: É a capacidade máxima de um elemento da estrutura de suportar as tensões impostas pelas ações.

A norma de cálculo e dimensionamento de estruturas de madeira - NBR 7190/81, que utilizava o método das tensões admissíveis, sofreu uma revisão bastante significativa a partir de 1997, adotando a metodologia dos estados limites no dimensionamento de estruturas de madeira. Em curto prazo, a adoção dos estados limites, não resultará em alterações significativas na otimização e economia de madeira numa estrutura, em comparação com o método das tensões admissíveis. Ainda são bastante limitadas as informações de caracterização disponíveis, de madeiras tropicais, tais como variabilidade, influência dos defeitos na sua resistência, classificação de qualidade, classes de resistência, metodologia de ensaios, influência e controle do teor de umidade, ensaios estruturais, etc. Em relação à comercialização, falta padronização e diversificação de bitolas comerciais, controle de qualidade, disponibilidade de uma maior variedade de espécies, controle do teor de umidade, etc. A longo prazo, este método se torna vantajoso, pela possibilidade de discriminar e quantificar a influência de cada uma das variáveis que compõem o coeficiente de segurança, tanto pela combinação de ocorrência destas variáveis, quanto pela sua otimização através de ensaios de caracterização em laboratórios.

A seguir serão descritos alguns tópicos da NBR 7190/97 e a extinta NBR 7190/81, de forma a permitir sua utilização no dimensionamento de estruturas de madeira. A justificativa de mostrar os procedimentos da antiga norma é por estarmos em fase de transição numa metodologia nova, com alterações radicais e uma metodologia antiga de fácil aplicação e cujos resultados finais não diferem de forma significativa em curto prazo, conforme foi comentado no parágrafo anterior.

5.1. Método das tensões admissíveis

O método das tensões admissíveis consiste em aplicar um coeficiente de segurança nas propriedades de resistência do material de forma que o mesmo tenha um comportamento elástico e cujas ações são consideradas no seu valor real estimado. Atende a dois requisitos de segurança: de resistência, onde os esforços aplicados à estrutura devem ser menores que os esforços admissíveis e de deformação, onde as deformações de elementos e/ou da estrutura devem ser menores que as deformações admissíveis. O coeficiente de segurança leva em consideração uma série de fatores que afetam a resistência da madeira, tais como tempo de duração de carga, teor de umidade, defeitos e a variabilidade da resistência entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore. Pela antiga NBR 7190, este coeficiente possui valor constante para cada direção de solicitação e é aplicado sobre o valor médio de ensaios de caracterização, realizados em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos, na condição verde, conforme metodologia e sistemas de amostragens normalizados. Desta forma, as tensões admissíveis para cada tipo de solicitação são fornecidas pelos valores a seguir. O Anexo 9.1 fornece as tensões admissíveis para algumas espécies de madeiras brasileiras.

- Tensão admissível na flexão: $\bar{\sigma}_f = 0,15 \sigma_{f,rupt}$.
 - Tensão admissível na compressão paralela às fibras: $\bar{\sigma}_c = 0,20 \sigma_{c,rupt}$.
 - Tensão admissível na tração paralela às fibras: $\bar{\sigma}_t = 0,15 \sigma_{f,rupt}$.
 - Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras: $\bar{\sigma}_n = 0,3 \bar{\sigma}_c \gamma'$
 - Tensão admissível no cisalhamento paralelo às fibras (na flexão): $\bar{\tau}_f = 0,10 \tau_{f,rupt}$.
 - Módulo de elasticidade na flexão: $E_p = 2/3 E$ (cargas permanentes)
 - Módulo de elasticidade na flexão: $E_a = E$ (cargas acidentais)
 - Módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras: $E_c = E$
- onde,
- $\sigma_{f,rupt}$ = valor médio da tensão de ruptura na flexão, obtida a partir de ensaios normalizados em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos saturados de umidade.
 - $\sigma_{c,rupt}$ = valor médio da tensão de ruptura na compressão paralela às fibras, obtida a partir de ensaios normalizados em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos saturados de umidade.
 - γ' = coeficiente fornecido pela Tabela 5.2.
 - $\tau_{f,rupt}$ = valor médio da tensão de ruptura no cisalhamento paralelo às fibras, obtido a partir de ensaios normalizados em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos saturados de umidade.
 - E = valor médio do módulo de elasticidade na flexão, obtido a partir de ensaios normalizados em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos saturados de umidade.

A seguir será fornecido o roteiro para cálculo e dimensionamento de estruturas convencionais, em função do tipo de solitação, considerando as disposições gerais:

- o peso próprio da estrutura deve ser determinado com a densidade da madeira verde;
- o peso próprio da estrutura dimensionada, não deve diferir de mais de 10% do peso próprio inicialmente admitido para o cálculo;
- as tensões admissíveis são determinadas a partir de ensaios em pequenos corpos-de-prova isentos de defeito, com madeira verde. Os coeficientes de segurança adotados são para peças estruturais de segunda qualidade. No caso de peças de primeira qualidade, as tensões admissíveis serão iguais a 140% das correspondentes às peças de segunda qualidade;
- vigas e pilares de seções circulares solicitados à compressão, flexão ou cisalhamento serão consideradas como se fossem de seção quadrada, de área equivalente;
- devido à resistência natural da madeira sob a ação de cargas rápidas, os esforços solicitantes podem ser divididos por dois, devido à ação do vento.

Exercício proposto

Determinar as tensões admissíveis das espécies a seguir:

Acacia polyphylla – Espinheiro-preto/Monjoleiro

Apuleia leiocarpa – Garapa

Aspidosperma desmanthum – Araraganga

Endopleura uchi - Uxi

5.2. Dimensionamento na flexão simples

A natural necessidade de vencer os maiores vãos possíveis faz com que nas estruturas convencionais, a seção transversal seja quase sempre definida através da flecha admissível. Isto se deve ao baixo módulo de elasticidade da madeira e também a impossibilidade de se dar contra flecha em vigas de madeira maciça.

Nas peças fletidas devem ser feitas as seguintes verificações de acordo com a teoria da elasticidade:

5.2.1. Flecha

O valor da flecha admissível, $\bar{\Delta} = L/350$, é válido para qualquer esquema estático de carregamento. A partir da equação da linha elástica, podemos determinar a flecha máxima e conseqüentemente a seção transversal necessária. O Anexo 9.3 fornece as equações de linhas elásticas, para as situações de carregamentos mais comuns. Alguns casos omissos podem ser determinados, pela simples combinação

de carregamentos, de acordo com o princípio da superposição de efeitos (as tensões e deformações calculadas para determinadas cargas são iguais às tensões e deformações das cargas).

A maioria das normas de caracterização fornece o valor do módulo de elasticidade na flexão (E), determinado em pequenas amostras sem defeitos, no esquema de carregamento com carga concentrada central, incluindo, portanto, a componente do cisalhamento.

A antiga NBR 7190 estabelece, para o módulo de elasticidade na flexão, as relações que se seguem:

- Para cargas permanentes: $E_p = 2/3E$
- Para cargas acidentais: $E_a = E$
- Condição de segurança: $\Delta_{atuante} \leq \bar{\Delta}$

5.2.2. Tensão de flexão

A tensão de flexão nas fibras mais solicitada (σ_f) é calculada através da equação para flexão da teoria da elasticidade,

$$\sigma_{f,at.} = \frac{M}{I} y \leq \bar{\sigma}_f$$

onde,

M = momento fletor máximo

I = momento de inércia em relação ao eixo horizontal que passa pela linha neutra da seção transversal (Anexo 9.2)

y = distância da linha neutra a borda mais solicitada

$\bar{\sigma}_f$ = tensão admissível na flexão (Anexo 9.1)

5.2.3. Tensão de cisalhamento

Para a verificação do cisalhamento longitudinal (τ_f), devido à flexão, as tensões de cisalhamento são calculadas de acordo com a expressão,

$$\tau_{f,at.} = \frac{VS}{bI} \leq \bar{\tau}_f$$

onde,

V = força cortante máxima

S = momento estático em relação à linha neutra, da área da seção transversal acima ou abaixo do plano de corte, onde se deseja determinar a tensão de cisalhamento (Anexo 9.2).

b = largura da seção transversal, na posição do plano de corte considerado

$\bar{\tau}_f$ = tensão admissível de cisalhamento longitudinal, na flexão (Anexo 9.1)

5.2.4. Estabilidade lateral

As vigas devem ser contraventadas adequadamente para evitar o tombamento lateral nas fibras comprimidas. Para os elementos de seção retangular, a verificação da necessidade de contraventamento pode ser feita utilizando os critérios empíricos dados a seguir.

$$\lambda' = \frac{L}{b} \quad e \quad \lambda'_0 = \frac{0,39E_p}{k \bar{\sigma}_f}$$

onde

L = distância entre apoios ou contraventamentos laterais.

b = largura da seção transversal.

E_p = módulo de elasticidade na flexão, para carga permanente.

$\bar{\sigma}_f$ = tensão admissível na flexão.

k = coeficiente que é função de altura h e largura b da seção transversal da peça (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Coeficiente k.

h/b	k	h/b	k
1	2,12	11	15,0
2	3,31	12	15,3
3	4,53	13	17,7
4	5,78	14	19,1
5	7,05	15	20,5
6	8,34	16	21,9
7	9,65	17	23,3
8	10,97	18	24,7
9	12,30	19	26,1
10	13,65	20	27,6

$$\text{Para } \lambda' \leq \lambda'_0 \quad \Longrightarrow \quad \sigma'_{f,at.} = \frac{4}{3} \sigma_{f,at.} \left(1 - \frac{\lambda'}{2\lambda'_0} \right) \leq \bar{\sigma}_f$$

$$\text{Para } \lambda' > \lambda'_0 \quad \Longrightarrow \quad \sigma'_{f,at.} = \frac{0,26E_p}{K\lambda'} \leq \bar{\sigma}_f$$

onde,

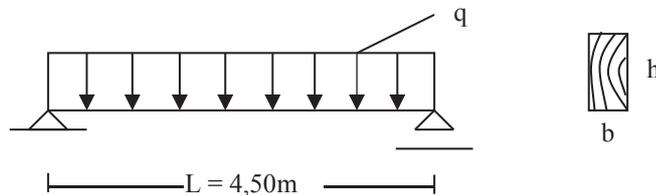
$\sigma'_{f,at.}$ = tensão atuante para efeito de verificação da estabilidade lateral

$\sigma_{f,at.}$ = tensão de flexão atuante na viga

$\bar{\sigma}_f$ = tensão admissível à flexão simples

Exemplo

Determinar a seção transversal nominal de uma viga de madeira maciça para o carregamento permanente, conforme o esquema estático a seguir,



Dados:

Espécie – *Cassia scleroxylon* – muirapixuna

$E = 14800 \text{ MPa}$ (Anexo 9.1)

$\bar{\sigma}_f = 19,6 \text{ MPa}$

$\bar{\tau}_f = 1,7 \text{ MPa}$

$\bar{\sigma}_c = 15,4 \text{ MPa}$

$\bar{\sigma}_n = 0,3 \cdot \bar{\sigma}_c = 0,3 \times 15,4 \text{ MPa} = 4,6 \text{ MPa}$

$q = 1260 \text{ N/m} = 12,6 \text{ N/cm}$

$E_p = 2E/3 = 9866 \text{ MPa} = 986\,600 \text{ N/cm}^2$

- determinação da seção transversal através da flecha admissível,

$$\text{Flecha admissível} = \bar{\Delta} = \frac{L}{350}$$

$$\text{Flecha atuante} = \Delta_{at.} = \frac{5qL^4}{384E_p I} \quad (\text{Anexo 9.3})$$

fazendo a flecha admissível = flecha atuante, temos

$$\bar{\Delta} = \Delta_{at.}$$

$$\frac{L}{350} = \frac{5qL^4}{384E_pI} \rightarrow \frac{1}{350} = \frac{5(12,6\text{N/cm})(450\text{cm})^3}{(384)(986\,600\text{N/cm}^2)I}$$

$$I = 5303 \text{ cm}^4$$

como $I = bh^3/12 = 5303 \text{ cm}^4$, (Anexo 9.2)

fazendo $b = 8 \text{ cm}$, temos $h = 19,96 \text{ cm}$

adoto a seção $8 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, com momento de inércia de

$$I = bh^3/12 = (8\text{cm})(20\text{cm})^3/12 = 5333 \text{ cm}^4$$

- Verificação da seção $8 \times 20 \text{ cm}$ na tensão de flexão

$$\sigma_{f,at.} = \frac{M}{I}y \text{ (tensão de flexão atuante)}$$

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{(12,6\text{N/cm})(450\text{cm})^2}{8} = 318\,937\text{N}\cdot\text{cm} \text{ (Anexo 9.3)}$$

$$y = h/2 = 20/2 = 10 \text{ cm}$$

$$\sigma_{f,at.} = \frac{318\,937\text{N}\cdot\text{cm}}{(5\,333\text{cm})^4} 10\text{cm} = 598\text{N/cm}^2 = 5,98 \text{ MPa}$$

como $\sigma_{f,at.} < \bar{\sigma}_f$, atende as condições de segurança

- verificação da seção $8 \times 20 \text{ cm}$ no cisalhamento longitudinal

$$\tau_{f,at.} = \frac{VS}{bI} = \frac{(2835\text{N})(400\text{cm})^3}{(8\text{cm})(5\,333\text{cm})^4} = 26,5\text{N/cm}^2 = 0,265 \text{ MPa (tensão de cisalhamento atuante)}$$

onde,

$$V = qL/2 = ((12,6 \text{ N/cm})(450 \text{ cm}))/2 = 2\,835 \text{ N} \quad \text{(Anexo 9.3)}$$

$$S = b h^2/8 = ((8 \text{ cm})(20 \text{ cm})^2)/8 = 400 \text{ cm}^3 \quad \text{(Anexo 9.2)}$$

$$b = 8 \text{ cm}$$

$$I = 5\,333 \text{ cm}^4$$

como $\tau_{f,at} < \bar{\tau}_f$, a peça atende as condições de segurança.

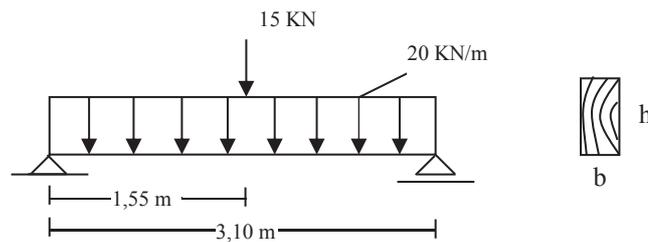
Obs. Quando a peça não passar na verificação da tensão de cisalhamento, lembrar que a antiga NBR 7190/81 permite que seja utilizada a força cortante (V) a uma distância de $3h$ do apoio.

- verificação da estabilidade lateral

Esta verificação se faz necessária, para vigas relativamente altas e esbeltas. Como as peças de madeira numa estrutura ficam aparente, a proporção entre altura e largura da viga faz parte do aspecto visual da edificação.

Exercício proposto

Dimensionar a viga com carga concentrada permanente e carga distribuída acidental, para a espécie de madeira, *Terminalia amazonica* – Cuiarana, considerando a largura da seção transversal de 12 cm.



5.3. Dimensionamento na compressão simples paralela às fibras – Flambagem

Em peças estruturais submetidas à compressão axial, dificilmente pode-se evitar pequenas excentricidades do carregamento em relação ao seu eixo, conseqüentes de erros construtivos, ações imprevistas no dimensionamento e momentos fletores que possam surgir em função do tipo de ligação utilizado. Desta forma, nos pilares deve ser considerada uma excentricidade mínima e dimensionados na flexão composta (item b). Nesta seção será considerada a condição de compressão axial ideal. Em pré-dimensionamento e estruturas convencionais onde a possibilidade de ocorrer esta excentricidade é mínima, ela pode ser desprezada.

Os pilares ou colunas podem ser de seção maciça, seção composta ou formada de elementos espaçados. Para peças com seção maciça ou composta utiliza-se o procedimento a seguir no seu dimensionamento, desde que seja assegurada a condição de seção composta perfeitamente solidarizada. Para o caso de seção com elementos espaçados, o procedimento para seu dimensionamento deve seguir normas específicas.

No dimensionamento de peças comprimidas axialmente, considera-se três tipos diferentes de comportamento: Peças curtas, peças intermediárias e peças longas. O comprimento de flambagem (L_{fl}) é igual ao comprimento teórico (L) da peça para os diversos esquemas estáticos usuais, exceto para pilares engastados numa extremidade e livre na extremidade de aplicação da carga axial, onde o comprimento de flambagem é considerado como o dobro do comprimento teórico.

5.3.1. Peças curtas ($\lambda \leq 40$)

$$\lambda = \frac{L_{fl}}{i}$$

λ = índice de esbeltez

L_{fl} = comprimento de flambagem

$$i = \text{raio de giração} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

I = momento de inércia mínimo

A = área da seção transversal

A tensão admissível na compressão paralela às fibras, para peças curtas é dada por,

$$\bar{\sigma}_{fl} = \bar{\sigma}_c = 0,20\sigma_{c,rupt.}$$

onde,

$\bar{\sigma}_c$ = tensão admissível na compressão paralela às fibras

$\sigma_{c,rupt}$ = valor médio da tensão de compressão paralela às fibras, obtida a partir de ensaios normalizados em pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos

Exemplo

Verificar se a peça de seção transversal indicada abaixo, com 140 cm de comprimento (L_{fl}), suporta a solicitação axial permanente de 120000 N e acidental de 45000 N. As cargas atuam no seu centro de gravidade. Utilizar a madeira da espécie Cuiarana (*Terminalia amazônica*). Não considerar excentricidade acidental.

i) Dados

$$\bar{\sigma}_c = 10,4 \text{ MPa} = 1040 \text{ N/cm}^2 \text{ (Anexo 9.1)}$$

$$L = L_{fl} = 140 \text{ cm}$$

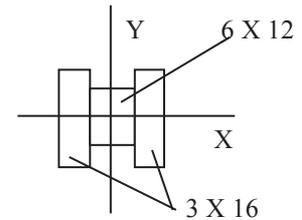
$$A = 168 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{2(3\text{cm})(16\text{cm})^3}{12} + \frac{(6\text{cm})(12\text{cm})^3}{12} = 2912 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{(16\text{cm})(12\text{cm})^3}{12} - \frac{2(2\text{cm})(16\text{cm})^3}{12} = 2232 \text{ cm}^4$$

$$i_{\min.} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2232 \text{ cm}^4}{168 \text{ cm}^2}} = 3,64 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L_{fl}}{i_{\min.}} = \frac{140 \text{ cm}}{3,64 \text{ cm}} = 38,5$$



ii) Resolução

Como $\lambda < 40$, a peça é curta

$$\bar{\sigma}_{fl.} = \bar{\sigma}_c = 1040 \text{ N/cm}^2 \therefore \bar{p} = \bar{\sigma}_c A = 1040 \text{ N/cm}^2 \times 168 \text{ cm}^2 = 174720 \text{ N}$$

como a carga atuante $p = 165000 \text{ N}$ é menor que a carga admissível, atende as condições de segurança.

Obs. A antiga NBR 7191/82, permite que os esforços atuantes devido ao vento, sejam reduzidos em 50%.

5.3.2. Peças intermediárias ($40 < \lambda \leq \lambda_0$)

A tensão admissível na compressão paralela às fibras, para peças intermediárias é dada por,

$$\bar{\sigma}_{fl.} = \bar{\sigma}_c \left[1 - \frac{1}{3} \left\langle \frac{\lambda - 40}{\lambda_0 - 40} \right\rangle \right]$$

onde,

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi^2 E}{8 \bar{\sigma}_c}}$$

E = valor médio do módulo de elasticidade na flexão

$\bar{\sigma}_c$ = tensão admissível na compressão paralela às fibras

Obs. A norma permite utilizar os valores médios: $\lambda_0 = 65$ para as folhosas

$\lambda_0 = 85$ para as coníferas

Exemplo

Verificar se a peça de seção transversal 6x16 cm e 110 cm de comprimento de flambagem suporta as solicitações axiais permanente (35000 N) e acidental (12000 N), atuando no seu centro de gravidade. Utilizar a madeira da espécie Itauba (*Mezilaurus itauba*).

i) Dados

$$\bar{\sigma}_c = 8,4 \text{ MPa (Anexo 9.1)}$$

$$\lambda_0 = 65 \text{ (valor médio para as folhosas)}$$

$$A = 96 \text{ cm}^2$$

$$I_{\min.} = 288 \text{ cm}^4$$

$$L_{fl.} = L = 110 \text{ cm}$$

$$i_{\min.} = \sqrt{\frac{I_{\min.}}{A}} = \sqrt{\frac{288 \text{ cm}^4}{96 \text{ cm}^2}} = 1,73 \text{ cm}$$

$$\lambda = L/i = 110 \text{ cm}/1,73 \text{ cm} = 63,5$$

ii) Resolução

Como $40 < \lambda < \lambda_0$, a peça é intermediária

$$\bar{\sigma}_{fl.} = \bar{\sigma}_c \left[1 - \frac{1}{3} \left\langle \frac{\lambda - 40}{\lambda_0 - 40} \right\rangle \right] = 8,4 \text{ MPa} \left[1 - \frac{1}{3} \left\langle \frac{63,5 - 40}{65 - 40} \right\rangle \right] = 5,7 \text{ MPa} = 570 \text{ N/cm}^2$$

$$\bar{p} = \bar{\sigma}_{fl.} A = (570 \text{ N/cm}^2)(96 \text{ cm}^2) = 54\,720 \text{ N}$$

Como a carga atuante $p = 47\,000 \text{ N}$ é menor que a carga admissível, atende as condições de segurança.

Obs. A NBR 7191/82, permite que os esforços atuantes devido ao vento, sejam reduzidos em 50%.

5.3.3. Peças longas ($\lambda_0 < \lambda \leq 140$)

A tensão admissível na compressão paralela às fibras, para peças longas é dada por,

$$\bar{\sigma}_{fl.} = \frac{\pi^2 E}{4\lambda^2}$$

Exemplo

Determinar a capacidade de carga axial de uma peça roliça de *Eucalyptus citriodora* osmopressurizado, com diâmetro a 1/3 da menor extremidade de $d = 20 \text{ cm}$ e comprimento útil $L = 5,00 \text{ m}$. Considerar o comprimento de flambagem $L_{fl} = L$ e a carga atuando no centro de gravidade da seção transversal. Não considerar excentricidade acidental.

i) Dados:

$$\bar{\sigma}_c = 12,2 \text{ MPa (Anexo 9.1)}$$

$$E = 16500 \text{ MPa (Anexo 9.1)}$$

$$L_{fl.} = 500 \text{ cm (comprimento de flambagem)}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(20 \text{ cm})^2}{4} = 314,2 \text{ cm}^2$$

$$I = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi(20 \text{ cm})^4}{64} = 7854 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{7\,854 \text{ cm}^4}{314,2 \text{ cm}^2}} = 5,0 \text{ cm}$$

$$\lambda = L_{fl.}/i = 500 \text{ cm}/5,0 \text{ cm} = 100$$

$$\lambda_0 = 65 \text{ (folhosas)}$$

A norma permite utilizar a equivalência de área, da seção circular para seção quadrada.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = b^2, \text{ resultando num quadrado de lado} = 17,7 \text{ cm, com área de } 313,3 \text{ cm}^2$$

ii) Resolução

como $\lambda_0 < \lambda \leq 140$, é uma peça longa, logo

$$\bar{\sigma}_{fl.} = \frac{\pi^2 E}{4\lambda^2} = \frac{\pi^2 16\,500 \text{ MPa}}{4 \times 100^2} = 4,07 \text{ MPa} = 407 \text{ N/cm}^2$$

como,

$$\bar{\sigma}_{fl.} = \frac{\bar{p}}{A} \therefore \bar{p} = \bar{\sigma}_{fl.} \cdot A = (407 \text{ N/cm}^2)(314,2 \text{ cm}^2) = 127\,894 \text{ N}$$

Portanto, a carga admissível do pilar roliço é de 127 894 N.

Exercício proposto

Determinar o máximo comprimento e a carga que suporta de uma peça comprimida, com carga atuando no centro de gravidade da seção de 15x20 cm. Considerar o comprimento da peça igual ao comprimento de flambagem. Não considerar excentricidade accidental.

Espécie de madeira: *Laetia procera* - Pau jacaré

5.4. Dimensionamento na compressão perpendicular ou normal às fibras

A tensão de compressão perpendicular às fibras ($\sigma_{n.at.}$) deve ser verificada nos apoios e em outros pontos onde haja cargas concentradas em pequenas áreas.

$$\sigma_{n.at.} = \frac{V}{A} \leq \bar{\sigma}_n$$

onde

V = força aplicada ou a reação de apoio

A = área de contato ou apoio

$\bar{\sigma}_n$ = tensão admissível na compressão perpendicular às fibras (Anexo 9.1)

A tensão admissível normal às fibras ($\bar{\sigma}_n$) é dada pela expressão,

$$\bar{\sigma}_n = 0,3 \bar{\sigma}_c \gamma'$$

onde,

$\bar{\sigma}_c$ = tensão admissível na compressão paralela às fibras

γ' = coeficiente que considera o efeito de carga pontual na resistência da madeira. Quando a extensão da carga na direção das fibras for menor ou igual a 15 cm e estiver afastada de pelo menos 7,5 cm da extremidade da peça, este coeficiente tem os valores fornecidos pela Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - coeficiente γ' na compressão normal às fibras.

Extensão da carga normal medida paralela às fibras	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	15 cm
Coeficiente γ'	2,00	1,70	1,55	1,40	1,30	1,15	1,10	1,00

As tensões de compressão numa face que faça um ângulo θ com as direções das fibras, não deverão ultrapassar o seguinte valor,

$$\bar{\sigma}_\theta = \frac{\bar{\sigma}_c \bar{\sigma}_n}{\bar{\sigma}_c \sin^2 \theta + \bar{\sigma}_n \cos^2 \theta}$$

onde,

$\bar{\sigma}_c$ = tensão admissível na compressão paralela às fibras

$\bar{\sigma}_n$ = tensão admissível normal às fibras

Exemplo

No exemplo de flexão anterior, verificar a compressão perpendicular na viga apoiada num pilar de 15x15 cm.

$$\sigma_{n,at.} = \frac{V}{A} = \frac{2835 \text{ N}}{8\text{cm} \times 15\text{cm}} = 23,6\text{N/cm}^2 = 0,23 \text{ MPa (tensão de compressão perpend. atuante)}$$

onde,

V = reação de apoio da viga

A = área de apoio da viga no pilar

$$\bar{\sigma}_n = 0,3 \times 15,4 \text{ MPa} \times 1 = 4,6 \text{ MPa}$$

como $\sigma_{n,at.} < \bar{\sigma}_n$, a peça atende as condições de segurança.

5.5. Dimensionamento na tração paralela às fibras

Na tração axial, quando a solicitação atua no centro de gravidade da seção, o dimensionamento é feito comparando a tensão atuante com a tensão admissível à tração paralela às fibras dada no Anexo 9.1.

5.6. Dimensionamento na flexão composta

A tensão admissível na flexão composta ($\bar{\sigma}_{fc}$) na borda comprimida, não deverá ultrapassar um valor intermediário entre as tensões admissíveis na compressão paralela às fibras ($\bar{\sigma}_c$) e na flexão simples ($\bar{\sigma}_f$), determinado com o auxílio da relação entre a tensão na borda comprimida devido apenas à flexão (σ_f) e a tensão total devida à flexão composta (σ_{fc}),

$$\varepsilon = \frac{\sigma_f}{\sigma_{fc}} = \frac{\frac{|M|}{I}y}{\frac{|M|}{I}y + \frac{|N|}{A}}$$

sendo,

|M| = valor absoluto do momento fletor atuante

|N| = valor absoluto da força axial de compressão

A = área da seção transversal

$$\lambda = L_{fl}/i$$

onde,

λ = índice de esbeltez

L_{fl} = comprimento de flambagem

i = raio de giração

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

I = momento de inércia

A = área da seção transversal

5.6.1. Peças com $\lambda < 40$

A tensão admissível ($\bar{\sigma}_{fc}$) na borda comprimida não deve ultrapassar o valor,

$$\bar{\sigma}_{fc} = \bar{\sigma}_c + (\bar{\sigma}_f - \bar{\sigma}_c)\varepsilon$$

5.6.2. Peças com $40 \leq \lambda < \lambda_0$

A tensão admissível ($\bar{\sigma}_{fc}$) na borda comprimida não deve ultrapassar o valor,

$$\bar{\sigma}_{fc} = \bar{\sigma}_{fl.} + (\bar{\sigma}_f - \bar{\sigma}_{fl.})\varepsilon$$

onde,

$$\bar{\sigma}_{fl.} = \bar{\sigma}_c \left[1 - \frac{1}{3} \left\langle \frac{\lambda - 40}{\lambda_0 - 40} \right\rangle \right]$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi^2 E}{8 \bar{\sigma}_c}}$$

E = valor médio do módulo de elasticidade na flexão

$\bar{\sigma}_c$ = tensão admissível na compressão paralela às fibras

Obs. A norma permite utilizar os valores médios: $\lambda_0 = 65$ para as folhosas

$\lambda_0 = 85$ para as coníferas

5.6.3. Peças com $\lambda_0 < \lambda \leq 140$

Na ausência de uma teoria mais rigorosa, pode-se adotar o seguinte critério, onde a tensão admissível ($\bar{\sigma}_{fc}$) na borda comprimida não deve ultrapassar o valor,

$$\varepsilon_0 = 1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^2$$

para $\varepsilon \leq \varepsilon_0$

$$\bar{\sigma}_{fc} = \frac{\pi^2 E}{4\lambda^2}$$

para $\varepsilon > \varepsilon_0$

$$\bar{\sigma}_{fc} = \frac{2}{3} \bar{\sigma}_c + \left(\bar{\sigma}_f - \frac{2}{3} \bar{\sigma}_c \right) (\varepsilon - \varepsilon_0)$$

onde,

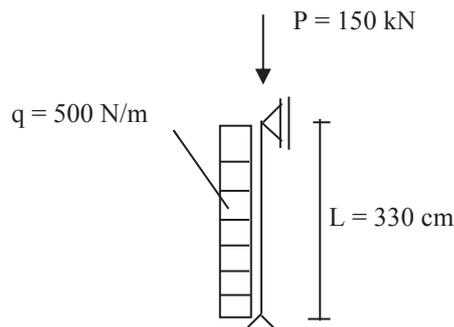
E = valor médio do módulo de elasticidade na flexão

$\bar{\sigma}_c$ = tensão admissível na compressão paralela às fibras

As tensões de tração na borda tracionada de peças solicitadas por flexão composta não deverão ultrapassar a tensão admissível de tração paralela às fibras $\bar{\sigma}_t$.

Exemplo

Verificar a peça comprimida de seção quadrada 18x18 cm, atuando uma carga axial central permanente de 150 kN e carga lateral de vento de 500 N/m, conforme esquema estático a seguir. Espécie de madeira: Maparajuba – *Manilkara amazônica*



i) Dados

$$\bar{\sigma}_f = 16,2 \text{ MPa} = 1620 \text{ N/cm}^2 \text{ (Anexo 9.1)}$$

$$\bar{\sigma}_c = 10,8 \text{ MPa} = 1080 \text{ N/cm}^2 \text{ (Anexo 9.1)}$$

$$\lambda_0 = 65 \text{ (valor médio para as folhosas)}$$

$$A = (18\text{cm})(18\text{cm}) = 324 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{min.}} = 8\,748 \text{ cm}^4$$

$$L_{\text{fl.}} = L = 330\text{cm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{8\,748\text{cm}^4}{324\text{cm}^2}} = 5,2\text{cm}$$

$$\lambda = L_{\text{fl.}} / i = 330\text{cm} / 5,2\text{cm} = 63,5$$

ii) Resolução

Como $40 < \lambda < \lambda_0$, a peça é intermediária

$$N = P = 150\,000 \text{ N}$$

$$M = q L^2 / 8 = (5,0\text{N/cm})(330\text{cm})^2 / 8 = 68\,063 \text{ N.cm}$$

Como a seção é quadrada, podemos utilizar a equação simplificada de ε ,

$$\text{Fazendo, } e = \frac{|M|}{|N|} = \frac{68\,063\text{N.cm}}{150\,000\text{N}} = 0,45 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \frac{6e}{h + 6e} = \frac{6(0,45\text{cm})}{18\text{cm} + 6(0,45\text{cm})} = 0,13$$

$$\bar{\sigma}_{\text{fl.}} = \bar{\sigma}_c \left[1 - \frac{1}{3} \left\langle \frac{\lambda - 40}{\lambda_0 - 40} \right\rangle \right] = 1080\text{N/cm}^2 \left[1 - \frac{1}{3} \left\langle \frac{63,5 - 40}{65 - 40} \right\rangle \right] = 741\text{N/cm}^2$$

A tensão admissível na flexo-compressão:

$$\bar{\sigma}_{\text{fc}} = \bar{\sigma}_{\text{fl.}} + (\bar{\sigma}_f - \bar{\sigma}_{\text{fl.}}) \varepsilon = 741\text{N/cm}^2 + (1620 \text{ N/cm}^2 - 741 \text{ N/cm}^2)0,13 = 855 \text{ N/cm}^2$$

Tensão de flexo-compressão atuante:

$$\sigma_{\text{fc,at.}} = \frac{|M|}{I} y + \frac{|N|}{A} = \frac{68\,063\text{N.cm}}{8\,748\text{cm}^4} \times \frac{18\text{cm}}{2} + \frac{150\,000\text{N}}{324\text{cm}^2} = 533 \text{ N/cm}^2$$

como a tensão atuante é menor que a tensão admissível, atende as condições de segurança.

Exercício proposto

Determinar as equações simplificadas de ε para a seção quadrada e circular.

Exercício proposto

Verificar a peça comprimida com diâmetro de 25 cm, onde atua uma carga axial permanente de 10 kN, com excentricidade de 15 cm e com $L_{\text{fl.}} = 4,00$ m. Espécie de madeira: *Mezilaurus lindaviana* - Itauba

Obs. A norma permite que se faça a equivalência de área: $b \cdot b = \pi \frac{d^2}{4}$

5.7. Flambagem de peças compostas espaçadas

Índice de esbeltez ideal, maior que o real e fornecido pela teoria da estabilidade elástica, através da expressão de Engesser.

$$\lambda_{ix} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2}$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2}\lambda_2^2}$$

onde,

λ_{ix} e λ_{iy} , são os coeficientes de esbeltez ideais, da peça composta, segundo os eixos x e y. Adota-se, naturalmente, o maior.

λ_1 e λ_2 , são os coeficientes de esbeltez dos elementos da peça composta.

λ_x e λ_y , são os coeficientes de esbeltez da peça composta.

m = número de elementos da peça composta.

Exemplo

Calcular a capacidade de carga da peça composta, solicitada por compressão simples.

Espécie de madeira – *Cassia scleroxylon* – Muirapixuna.

E = 14800 MPa (Anexo 9.1)

$\bar{\sigma}_c = 15,4$ MPa (Anexo 9.1)

$$I_1 = \frac{6\text{cm}(12\text{cm})^3}{12} = 864\text{cm}^4$$

$$A_1 = (6\text{cm})(12\text{cm}) = 72\text{cm}^2$$

$$I_x = 2 \left(\frac{6\text{cm}(12\text{cm})^3}{12} \right) = 1\,728\text{cm}^4$$

$$A_x = 2(6\text{cm})(12\text{cm}) = 144\text{cm}^2$$

$$I_2 = \frac{12\text{cm}(6\text{cm})^3}{12} = 216\text{cm}^4$$

$$A_2 = (6\text{cm})(12\text{cm}) = 72\text{cm}^2$$

$$I_y = \frac{12\text{cm}(24\text{cm})^3}{12} - \frac{12\text{cm}(12\text{cm})^3}{12} = 12\,096\text{cm}^4$$

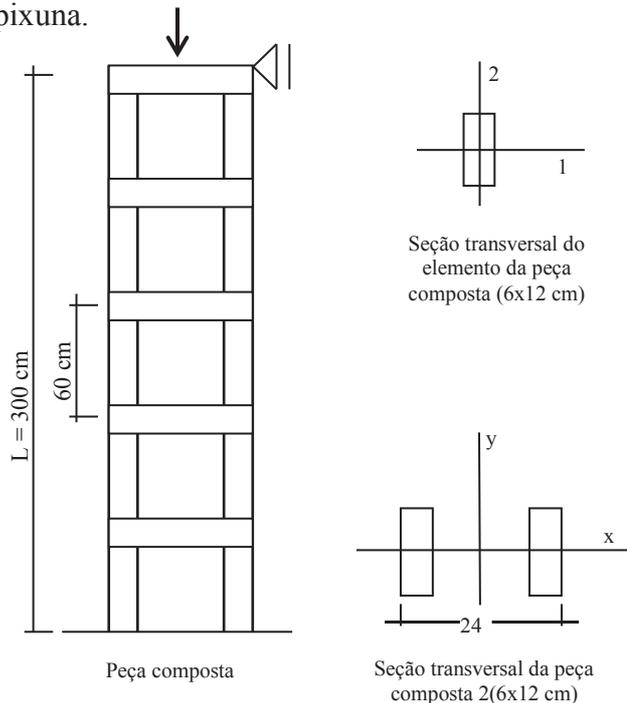
$$A_y = 2(6\text{cm})(12\text{cm}) = 144\text{cm}^2$$

$$i_1 = \sqrt{\frac{I_1}{A_1}} = \sqrt{\frac{864\text{cm}^4}{72\text{cm}^2}} = 3,46\text{cm}$$

$$i_2 = \sqrt{\frac{I_2}{A_2}} = \sqrt{\frac{216\text{cm}^4}{72\text{cm}^2}} = 1,73\text{cm}$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_x}} = \sqrt{\frac{1\,728\text{cm}^4}{144\text{cm}^2}} = 3,46\text{cm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_y}} = \sqrt{\frac{12\,096\text{cm}^4}{144\text{cm}^2}} = 9,16\text{cm}$$



$$\lambda_1 = \frac{L_{fl}}{i_1} = \frac{300\text{cm}}{3,46\text{cm}} = 86,7$$

$$\lambda_2 = \frac{L_{fl}}{i_2} = \frac{60\text{cm}}{1,73\text{cm}} = 34,7$$

$$\lambda_x = \frac{L_{fl}}{i_x} = \frac{300\text{cm}}{3,46\text{cm}} = 86,7$$

$$\lambda_y = \frac{L_{fl}}{i_y} = \frac{300\text{cm}}{9,16\text{cm}} = 32,8$$

$$\lambda_{ix} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2}\lambda_1^2} = \sqrt{86,7^2 + \frac{2}{2}86,7^2} = 122,5$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2}\lambda_2^2} = \sqrt{32,8^2 + \frac{2}{2}34,7^2} = 47,7$$

Fazendo $\lambda_0 = 65$ e utilizando o maior índice de esbeltez $\lambda_{ix} = 122,5$, temos, $\lambda_{ix} > \lambda_0$, peça longa

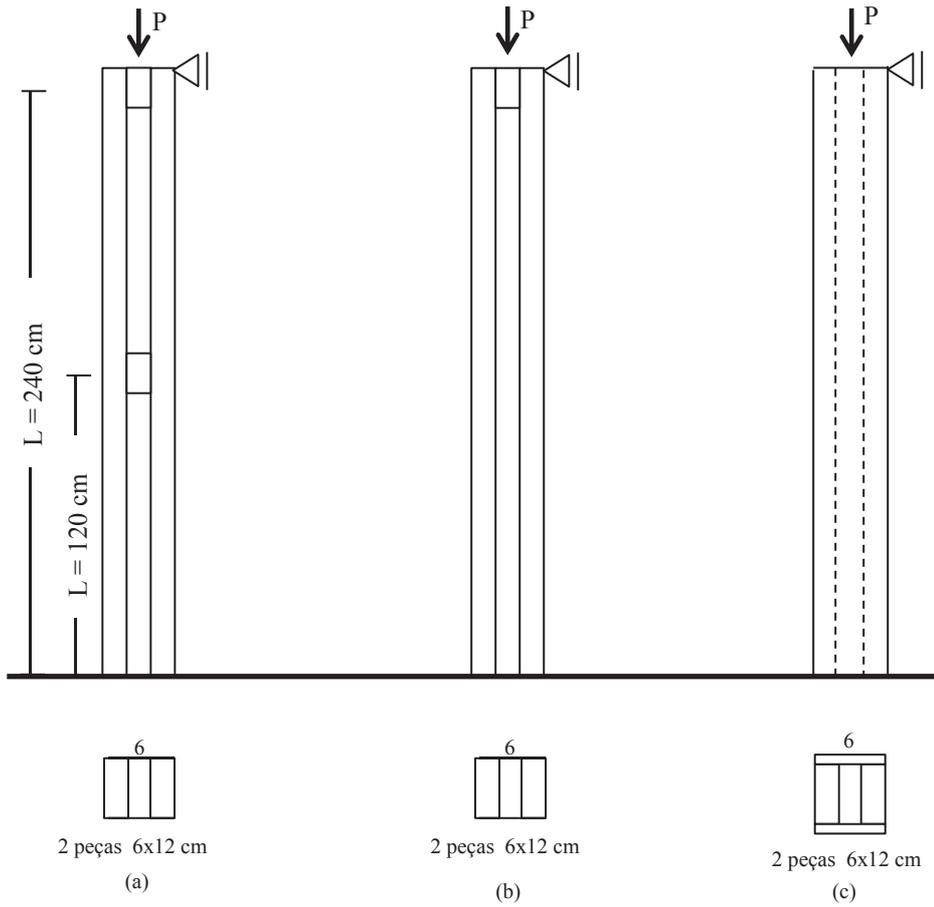
$$\bar{\sigma}_{fl.} = \frac{\pi^2 E}{4\lambda_{ix}^2} = \frac{\pi^2 14\,800\text{MPa}}{4(122,5)^2} = 2,43\text{MPa} = 243\text{N/cm}^2$$

$$\bar{p} = \bar{\sigma}_{fl.} \times A = 243\text{N/m}^2 \times 144\text{cm}^2 = 34\,992\text{N}$$

Exercício proposto

Determinar a capacidade de carga das peças comprimidas a abaixo. As peças estão espaçadas de 6 cm. Em (c) as duas peças estão fixadas com duas tábuas de 2 cm de espessura, ao longo do seu comprimento. Considerar a carga atuando no seu centro de gravidade.

Espécies de madeira: *Vantanea parviflora*– Uxirana



CAPÍTULO 6

LIGAÇÕES

Muito poucos trabalhos foram realizados até o momento, sobre o comportamento de madeiras brasileiras em relação a sua capacidade de carga como elemento de ligação. Nas estruturas treliçadas, onde se consegue vencer maiores vãos, o conhecimento deste comportamento é muito importante, pois na maioria das vezes a dimensão das seções transversais das peças das treliças é definida em função da quantidade de parafusos ou outros elementos de ligações utilizados. A antiga NBR 7190 fornece metodologia para calcular os esforços admissíveis em parafusos e pregos de aço estabelecendo as seguintes disposições construtivas:

- as tensões normais de tração ou compressão nas peças de aço não deverão ultrapassar:
 - 1/2 do limite de escoamento mínimo do aço especificado, para força axial;
 - 5/8 do limite de escoamento mínimo do aço especificado, para flexão;
 - 1/3 do limite de escoamento mínimo do aço especificado, para cisalhamento.
- espessura mínima de chapa metálica:
 - 3/8" (9 mm) nos elementos principais de pontes;
 - 1/4" (6 mm) nos demais casos.
- não considerar o atrito entre os elementos de ligação;
- colocar no mínimo dois parafusos por ligação;
- as fórmulas que se seguem são para cobre juntas metálicas. No caso de se utilizar cobre juntas de madeira considerar 80% do valor da tensão admissível por parafuso, na compressão paralela às fibras. Neste caso o valor de b (largura das peças de madeira, medida na direção do eixo do parafuso) não pode ter valor superior ao dobro da largura da peça lateral menos espessa. Os Anexos 7.4 e 7.5 mostram os principais tipos de pregos e parafusos comumente utilizados em ligações com madeira.

6.1. Ligações parafusadas com duas peças laterais metálicas

Na falta de ensaios com madeiras brasileiras, são adotados os seguintes valores básicos, que são aplicados em pequenas espessuras de madeiras, com base na tensão admissível de apoio da madeira no plano diametral do parafuso:

- Tensão básica paralela às fibras, na área projetada do parafuso.

$$\bar{\sigma}_{bp} = 0,90\bar{\sigma}_c$$

- Tensão básica perpendicular às fibras, na área projetada do parafuso.

$$\bar{\sigma}_{bn} = 0,25\bar{\sigma}_{bp}$$

A força admissível paralela às fibras, por parafuso, de uma peça principal de madeira e duas peças laterais metálicas é dada pela equação empírica,

$$\bar{F}_p = \bar{\sigma}_{bp} \cdot \omega_p \cdot b \cdot \delta \quad (\text{em N})$$

A força admissível perpendicular às fibras, por parafuso, de uma peça principal de madeira e duas peças laterais metálicas é dada pela equação empírica,

$$\bar{F}_n = \bar{\sigma}_{bn} \cdot \omega_n \cdot b \cdot \delta \cdot \eta \quad (\text{em N})$$

onde,

b = comprimento de contato do parafuso com a peça de madeira, medida na direção do eixo do parafuso (em cm) – ver item 6.5.4.

δ = diâmetro do parafuso (em cm)

η = coeficiente que é função do diâmetro do parafuso (Tabela 6.1)

$$\omega_p = \frac{22,6 + 0,63\omega'_p + 0,00575\omega'^2_p}{100} \quad \text{para } \omega'_p \leq 33,3$$

$$\omega_p = \frac{25,0 + 0,75\omega'_p}{100} \leq 1 \text{ para } \omega'_p > 33,3$$

$$\omega'_p = \frac{59\sigma_e\delta^2}{\bar{\sigma}_{bp}b^2}$$

onde σ_e é o limite mínimo de escoamento especificado para o aço do parafuso.

$$\omega_n = \frac{22,6 + 0,63\omega'_n + 0,00575\omega_n'^2}{100} \text{ para } \omega'_n \leq 33,3$$

$$\omega_n = \frac{25,0 + 0,75\omega'_n}{100} \leq 1 \text{ para } \omega'_n > 33,3$$

$$\omega'_n = \frac{26,2\sigma_e\delta^2}{\bar{\sigma}_{bn}b^2}$$

Tabela 6.1 – coeficiente η .

Diâmetro do parafuso (δ)	0,62 cm	0,95 cm	1,25 cm	1,6 cm	1,8 cm	2,2 cm
Coeficiente η	2,50	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33
Diâmetro do parafuso (δ)	2,5 cm	3,1 cm	3,8 cm	4,4 cm	5,0 cm	7,5 cm
Coeficiente η	1,27	1,19	1,14	1,10	1,07	1,00

6.2. Ligações parafusadas com duas peças laterais de madeira

O procedimento de cálculo é o mesmo descrito acima, para cobre juntas metálicas, com a ressalva de se considerar 80% do valor da tensão admissível por parafuso, na compressão paralela às fibras. Neste caso o valor de b (largura das peças de madeira, medida na direção do eixo do parafuso) não pode ter valor superior ao dobro da largura da peça lateral menos espessa.

6.3. Ligação excêntrica – duas peças de madeira

A força admissível será igual à metade da força calculada no item anterior.

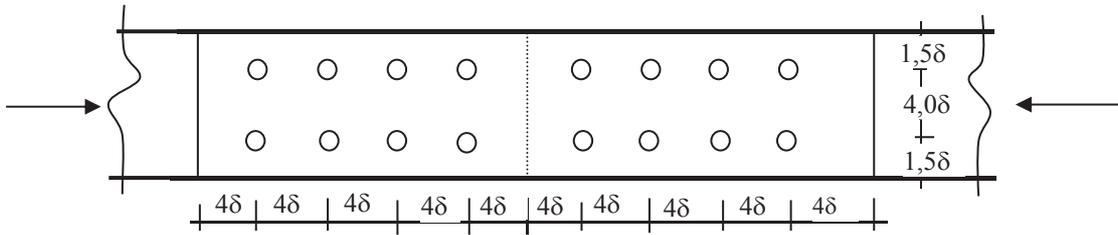
6.4. Esforços inclinados em relação às fibras

Como a maior capacidade de carga da madeira nas ligações é paralela às fibras e a menor é perpendicular às fibras, a fórmula a seguir (Hankinson) permite determinar os valores intermediários da força admissível por parafuso (\bar{F}_θ) em função do ângulo (θ) da direção do esforço com a direção das fibras.

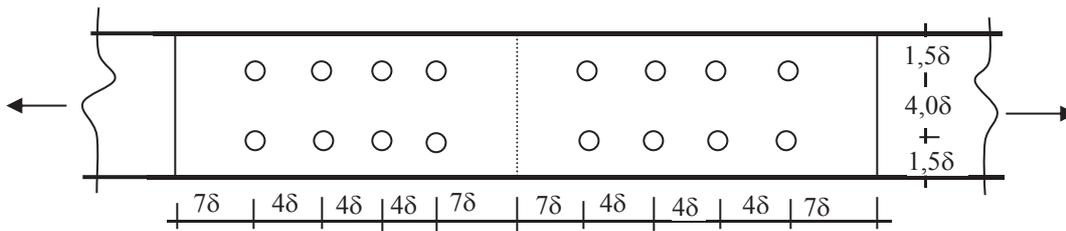
$$\bar{F}_\theta = \frac{\bar{F}_p \cdot \bar{F}_n}{\bar{F}_p \cdot \text{sen}^2\theta + \bar{F}_n \cdot \text{cos}^2\theta}$$

6.5. Espaçamentos mínimos entre parafusos – uma peça principal com duas peças laterais (cobre juntas) de madeira

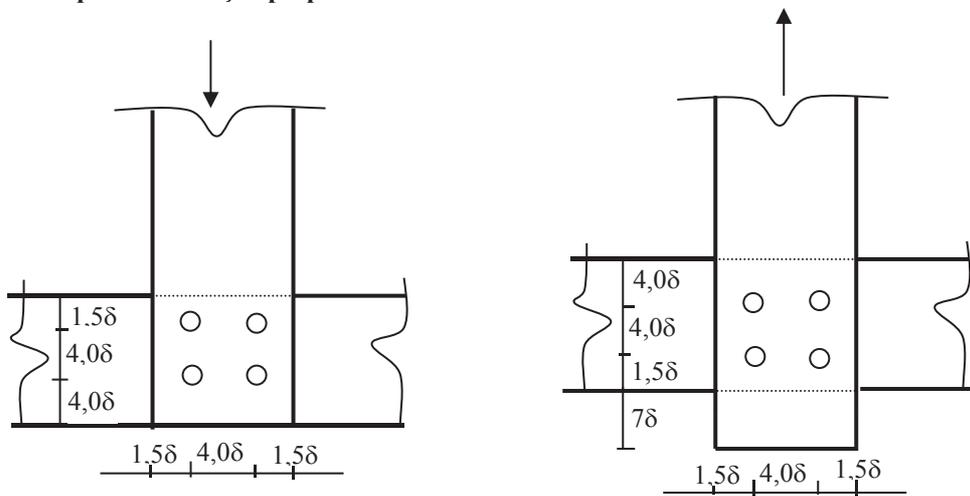
6.5.1. Compressão paralela às fibras



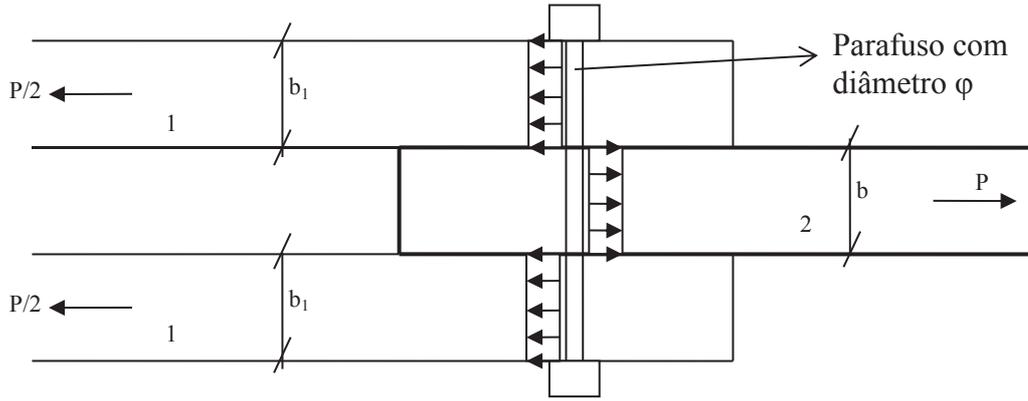
6.5.2. Tração paralela às fibras



6.5.3. Compressão e tração perpendicular às fibras



6.5.4. Carga nos parafusos – determinação do valor numérico de b



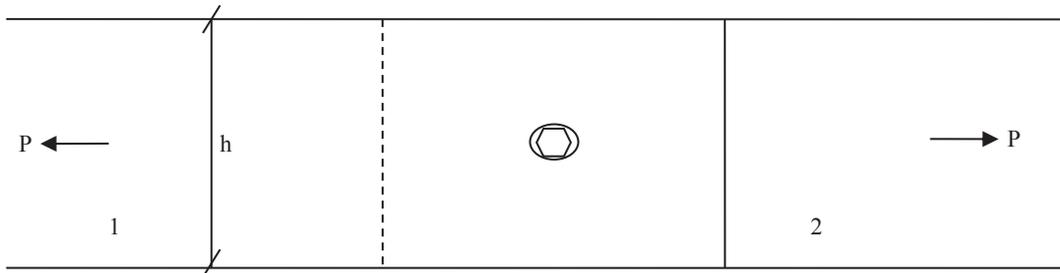
Vista superior
Sem escala

$$\sigma_1 = \frac{p/2 + p/2}{A} = \frac{p}{(b_1 + b_1)\varphi} = \frac{p}{2b_1 \cdot \varphi}$$

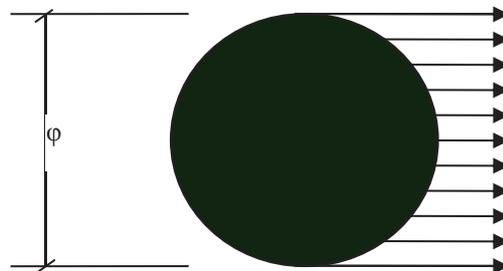
$$\sigma_2 = \frac{p}{A} = \frac{p}{(b)\varphi}$$

Como $\sigma_1 = \sigma_2$, temos

$$\frac{p}{2b_1 \cdot \varphi} = \frac{p}{(b)\varphi} \Rightarrow 2b_1 = b \Rightarrow b_1 = b/2$$



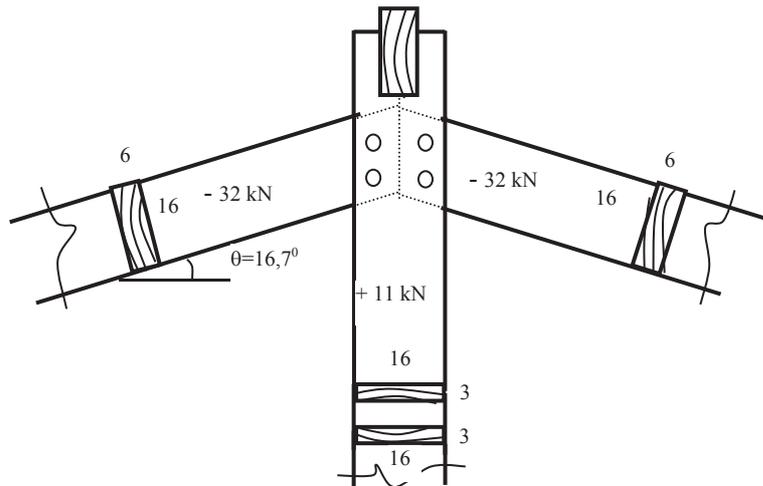
Vista lateral
Sem escala



Corte no parafuso
Sem escala

Exemplo

Dimensionar a ligação com madeira da figura seguinte utilizando parafusos de 12,5 mm (1/2”).



i) Dados:

Espécie de madeira – *Astronium leiconte* (Muiracatiara)

$$\bar{\sigma}_c = 10,4 \text{ MPa (Anexo 9.1)}$$

$$\sigma_e = 240 \text{ MPa}$$

- Cálculo das tensões básicas:

$$\bar{\sigma}_{bp} = 0,90\bar{\sigma}_c = 0,90 \times 10,4 \text{ MPa} = 9,4 \text{ MPa} = 940 \text{ N/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{bn} = 0,25\bar{\sigma}_{bp} = 0,25 \times 9,4 \text{ MPa} = 2,3 \text{ MPa} = 230 \text{ N/cm}^2$$

ii) Cálculo da capacidade de carga por parafuso:

$$\omega'_p = \frac{59\sigma_e\delta^2}{\bar{\sigma}_{bp}b^2} = \frac{59 \times 240 \text{ MPa} (1,25 \text{ cm})^2}{9,4 \text{ MPa} \times (6 \text{ cm})^2} = 65,4$$

$$\omega'_n = \frac{26,2\sigma_e\delta^2}{\bar{\sigma}_{bn}b^2} = \frac{26,2 \times 240 \text{ MPa} (1,25 \text{ cm})^2}{2,3 \text{ MPa} \times (6 \text{ cm})^2} = 118,6$$

como ω'_p e ω'_n são maiores que 33,3, temos,

$$\omega_p = \frac{25,0 + 0,75\omega'_p}{100} = \frac{25,0 + 0,75 \times 65,4}{100} = 0,74$$

$$\omega_n = \frac{25,0 + 0,75\omega'_n}{100} = \frac{25,0 + 0,75 \times 118,6}{100} = 1,14$$

como $\omega_n > 1$, adoto $\omega_n = 1$ (maior rigidez na ligação)

$$\bar{F}_p = \bar{\sigma}_{bp} \cdot \omega_p \cdot b \cdot \delta = 940 \text{ N/cm}^2 \times 0,74 \times 6 \text{ cm} \times 1,25 \text{ cm} = 5\,217 \text{ N}$$

para cobre juntas de madeira:

$$\bar{F}_p = 5\,217 \text{ N} \times 0,80 = 4\,173 \text{ N}$$

$$\bar{F}_n = \bar{\sigma}_{bn} \cdot \omega_n \cdot b \cdot \delta \cdot \eta = 230 \text{ N/cm}^2 \times 1,0 \times 6 \text{ cm} \times 1,25 \text{ cm} \times 1,68 = 2\,898 \text{ N}$$

$$\bar{F}_n = 2\,898 \text{ N}$$

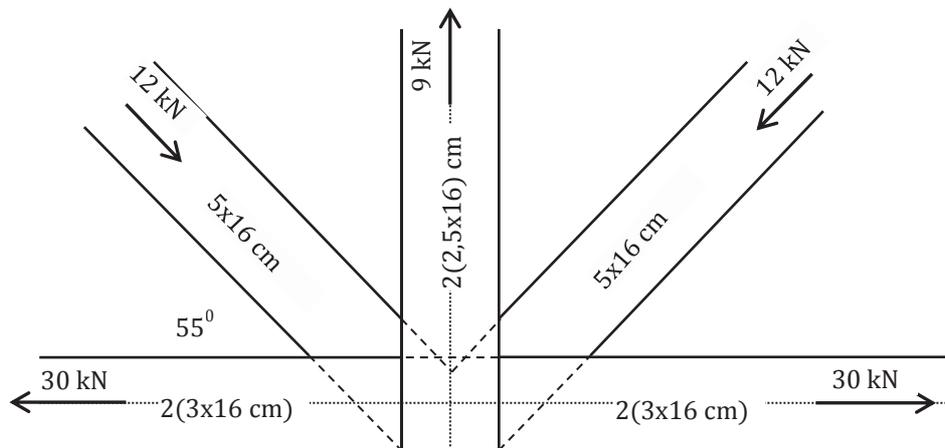
onde $\eta = 1,68$ para parafusos de diâmetro 12,5 mm (tabela 6.1).
 Como o esforço é inclinado em relação às fibras de $\theta = 73,3^\circ$, temos

$$\bar{F}_\theta = \frac{\bar{F}_p \cdot \bar{F}_n}{\bar{F}_p \cdot \sin^2\theta + \bar{F}_n \cdot \cos^2\theta} = \frac{4\,173\text{N} \times 2\,898\text{N}}{4\,173\text{N} \times 0,92 + 2\,898\text{N} \times 0,08} = 2\,970\text{N}$$

iii) Cálculo do número de parafusos para ligar o tirante nos banzos da tesoura:
 $11\,000\text{ N} / 2\,970\text{ N} \cong 4$

Exercício proposto

Dimensionar a ligação com parafuso de 12,5 mm. Cotar os espaçamentos entre parafusos e bordas das peças de madeira. Utilizar *mezilaurus itauba* (Itaúba)



6.6. Ligações com pregos (Anexo 7.4)

Na falta com ensaios de caracterização de ligações pregadas, o esforço admissível por pregos (\bar{F}) com penetração na peça de madeira, do lado da ponta, de pelo menos 2/3 de seu comprimento total poderá ser calculado pela fórmula,

$$\bar{F} = k\delta^{1,5} \text{ (em N)}$$

onde,

$k = 45$ para madeiras com densidade aparente (15% de teor de umidade) $\leq 0,65\text{ g/cm}^3$

$k = 75$ para madeiras com densidade aparente (15% de teor de umidade) $> 0,65\text{ g/cm}^3$

$\delta =$ diâmetro do prego em mm

No caso de madeira verde, o esforço admissível por prego deve ser reduzido para 75%. No caso de pregação de topo, o esforço admissível deve ser reduzido para 60%. Recomenda-se que seja feito pré-furo com broca apropriada e que os espaçamentos entre pregos sejam pelo menos de 10δ na direção das fibras, 5δ perpendicular às fibras e 12δ em relação aos extremos.

CAPITULO 7

A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

É comum na construção encontrar situações, em que a falta de conhecimento do comportamento de um determinado material, pode causar complicações que dificulta ou até mesmo inviabiliza a execução do projeto. Praticamente todos os materiais utilizados na construção são extensivamente caracterizados, promovidos e divulgados no meio técnico e acadêmico. Isto não acontece com a madeira que, mesmo sendo competitiva com outros materiais em termos de características físicas e mecânicas e se encontrar bastante integrada aos conceitos de sustentabilidade na construção, é utilizado de forma restrita em obras duradouras e maciçamente em obras provisórias. Na maioria das vezes a criatividade e concepção projetual do arquiteto são tolhidas pela falta de conhecimento da versatilidade deste material. Isto pode ser observado na maioria das construções em madeira onde predomina a prática e tradição de carpinteiros no projeto, no dimensionamento e na escolha de espécies e do sistema construtivo que estão atrelados às experiências passadas que deram certo. Normalmente é estruturas convencionais, apresentando pouca ousadia em termos de vão livre e sistema construtivo, emprego excessivo de madeira e utilização de um número limitado de espécies conhecidas como madeiras de lei. A previsão de projeto de estrutura de madeira é praticamente desconhecida.

O conhecimento das propriedades, do comportamento e da qualidade da madeira esta restrita a uma pequena comunidade de pesquisadores e profissionais que, dentro de suas possibilidades, procuram promove-la e divulga-la através do ensino, da pesquisa e da experimentação em projetos executivos. Assim como para outros materiais estruturais, o projeto de estrutura de madeira deve constar de memorial de cálculo (análise e descrição do comportamento global da estrutura, ações e condições de carregamento, propriedades das espécies utilizadas e dimensionamento das peças, emendas e ligações) e os desenhos do sistema construtivo representados de forma clara e transparente, com identificação de todas as peças estruturais (seção transversal e comprimento), detalhamento de fixação, emendas e ligações, indicação de espécies adequadas em função das condições de exposição e listagem detalhada de materiais (madeira, parafusos, pregos, chapas e telhas.)

A execução de obras com projetos de estruturas detalhados têm como vantagens imediatas, a economia de material através da eficiência do lançamento estrutural na otimização da relação entre vão livre e seção transversal e a conseqüente diminuição de mão de obra, a indicação de espécies de madeira com resistência e durabilidade compatíveis com a sua função na estrutura, permite verificar a qualidade e identificação da espécie de madeira adquirida, vencer a resistência da prática do carpinteiro mostrando suas potencialidades e diminuir o desperdício resultante da improvisação.

7.1. Processamento da madeira

Após o abate da árvore, a parte retilínea do tronco é dividida em toras, cujos comprimentos estão condicionados aos fatores de transporte, infraestrutura física e capacidade do equipamento da serraria, etc. As toras são desdobradas em pranchas utilizando serras circulares grandes ou serras de fita, simples ou múltiplas. Esta fase de processamento é conhecida como processamento primário. O processamento secundário consiste na etapa posterior de serragem, para a obtenção de peças comerciais, de forma a atender ao mercado consumidor. A Figura 7.1 mostra uma tora preparada para o desdobro.



Figura 7.1 - Tora de madeira para desdobro

O desdobro pode ser feito de três maneiras distintas: Peças tangenciais, cujos anéis de crescimento são tangentes a sua largura; peças radiais, cujos raios são paralelos a sua largura e, conseqüentemente, perpendiculares aos anéis de crescimento; peças oblíquas, que seguem uma orientação arbitrária. Como a contração na direção tangencial é cerca de duas vezes maior que a contração na direção radial, peças radiais são mais estáveis dimensionalmente, ocorrendo menores distorções e defeitos durante o processo de secagem.

O equipamento (serra simples ou múltipla) e o manejo da tora no carro da serra tem grande influência na qualidade e rendimento de madeira serrada. O corte tangencial (Figura 7.2) é o mais comumente utilizado por apresentar uma maior produção, já que não é necessário girar a tora durante a serragem. É comum nas espécies com tensões de crescimento significativas, alternar os cortes entre ambos os lados da tora. O corte radial é realizado, quando se pretende obter madeira mais estável dimensionalmente e também em espécies com fortes tensões de crescimento. A Figura 7.3 mostra dois tipos de cortes radiais diferentes.

7.1.1. Processamento primário

- Ocorre na serraria - Madeira bruta



Figura 7.2 – Desdobro tangencial de toras em pranchas
(<http://grandpacliff.com/Science/Thinking.htm>)

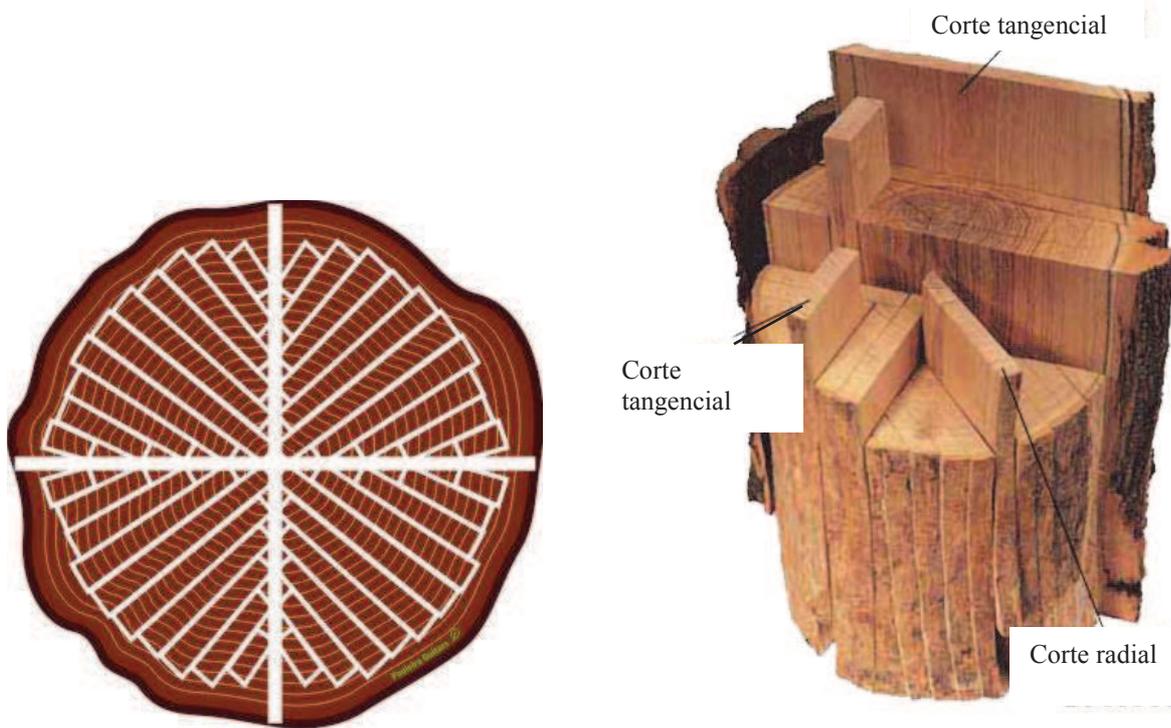


Figura 7.3 – Desdobro radial e tangencial de toras em pranchas
(http://guitarra99.blogspot.com.br/2012_08_01_archive.html)

7.1.2 Processamento secundário

- Ocorre na serraria/madeiraira/Carpintaria

A Figura 7.4 mostra o processamento das pranchas em peças com seções transversais comerciais. O aparelhamento de peças é feito a partir deste desdobro

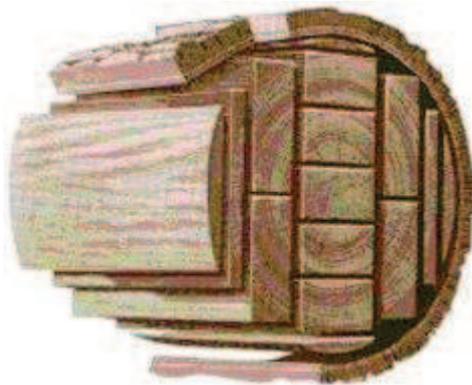


Figura 7.4 – Desdobro de pranchas em peças com seções transversais comerciais
(<http://www.jcpaiva.net/files/ensino/alunos/20022003/teses/020370017/madeiras/madeiras.htm>)

7.2. Seções comerciais de madeira serrada e madeira bruta

A inexistência de padronização de bitolas (ou dimensões) de peças, de qualidade e de identificação da madeira no comércio exige que sejam tomadas medidas efetivas para evitar o desperdício e prejuízo provocados por especificações inadequadas. A NBR 14807/02 – (Peças de madeira serrada - Dimensões), que especifica dimensões das peças; a NBR 12551 – (Terminologia), que especifica os nomes das peças e a NBR 9480 – (Classificação de madeira serrada de folhosas), que estabelece a qualidade da madeira, são ignoradas pelos setores de produção e comercialização de madeira serrada.

As seções transversais de madeira serrada comercializada no Brasil apresentam variações regionais, que geralmente são estabelecidas pela maior demanda do mercado consumidor. Os comprimentos das peças são variáveis, geralmente múltiplos de 50 cm, variando de 2 m a 7 m. Estas seções são denominadas de madeira bruta, por apresentar superfícies ásperas. Para obter uma superfície lisa e com aspecto visual agradável é necessário que a peça seja aparelhada em máquinas de carpintaria ou com lixadeira elétrica apropriada. A aparelhagem com máquina de carpintaria diminui pelo menos 1 cm em dois lados da seção transversal. Já o uso de lixadeira elétrica, praticamente não altera a seção transversal da peça.

A seguir são listadas a nomenclatura usual e seções transversais mais comumente encontradas no mercado:

- ripa - 1,5x5cm (madeira bruta);
- ripão - 2x5cm ; 2,5x5cm (madeira bruta);
- caibros - 5x5cm; 5x6cm; 5x7cm (madeira bruta);
- vigas, vigotas - 5x10cm; 5x14cm; 5x11cm; 5x15cm; 6x12cm; 6x16cm; 6x20cm; 8x20cm (madeira bruta);
- tábuas – 2x10 cm; 2x15 cm; 2x23 cm; 2x30 cm; 2,5x23 cm; 2,5x30 cm (madeira bruta);
- pranchas - (4 cm a 8 cm) x (20 cm a 40 cm) (madeira bruta);
- postes - 10x10 cm; 12x12 cm; 15m x15 cm; 20m x20 cm (madeira bruta);
- forro/lambri - 1x10 cm; 1,5x10 cm (madeira aparelhada);
- tábua corrida - 2x10 cm; 2x15 cm; 2x20 cm (madeira aparelhada).

7.3. Especificação e armazenamento

7.3.1. Especificação

- nome comum / nome científico;
- madeira bruta ou aparelhada;
- teor de umidade;
- qualidade da madeira - Presença de defeitos (nó, empenamento, rachaduras, alborno), bitola e esquadro.

7.3.2. Armazenamento

- empilhamento (direto, cruzado ou com separadores);
- área coberta ou sombreada;
- uso com madeira seca – Empilhamento com separadores em local ventilado e coberto.

7.4. Coberturas convencionais - nomenclatura

A cobertura de uma edificação é composta de uma estrutura, que tem a função suportar telhado, o isolamento térmico e acústico e o forro. No caso específico de cobertura com estrutura de madeira, o conjunto de componentes que são interligados entre si, apresenta denominações conceituais que são identificadas em relação a sua posição e função na cobertura. A estrutura é constituída de treliças (tesouras), vigas, pontaletes sobre a laje, ripas, caibros e terças, conforme sua função, definida a seguir:

7.4.1. Ripa

Peças de madeira onde apoiam as telhas cerâmicas. Possui seção transversal usual de 1,5 x 5 cm, sendo fixadas nos caibros com pregos 15x15 ou 13x18. São usadas para espaçamento de 40 a 50 cm entre caibros. As ripas de 2,5 x 5 cm são conhecidas como ripão. São fixados com pregos 17x21, cujo espaçamento entre caibros pode chegar a 100 cm dependendo da espécie de madeira e do peso da telha. Não existe dimensão padronizada de telha no Brasil. O espaçamento entre ripas (galga) depende do tipo

de telha e do fabricante. A Figura 7.5 mostra o desenho do gabarito da galga. Ele independe de largura uniforme da ripa. A última ripa deve ser colocada em dobro para manter a inclinação de todo o telhado (Figura 7.6).

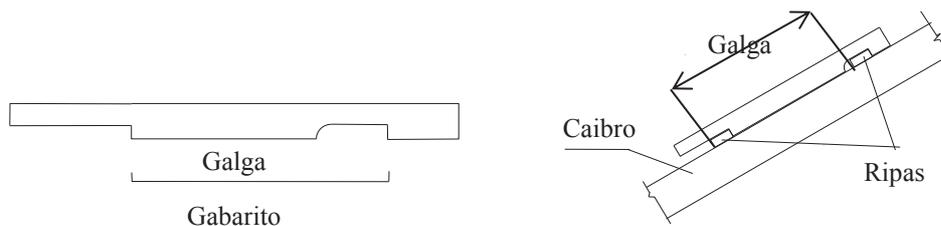


Figura 7.5 - Gabarito do espaçamento entre ripas (galga)

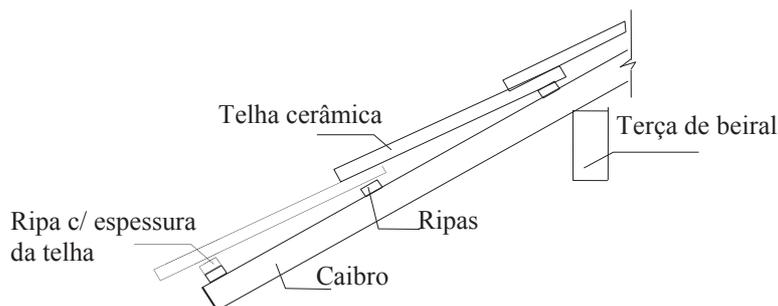


Figura 7.6 - Ripa de borda ou beiral

7.4.2. Testeira

A utilização de testeira faz a função da ripa dupla, conforme mostra a Figura 7.7. Sua utilização é mais estética. Em telhado com espaçamento entre caibro muito grande, a testeira é essencial, principalmente no final de espigão ou rincão, onde funcionam como apoio do caibro

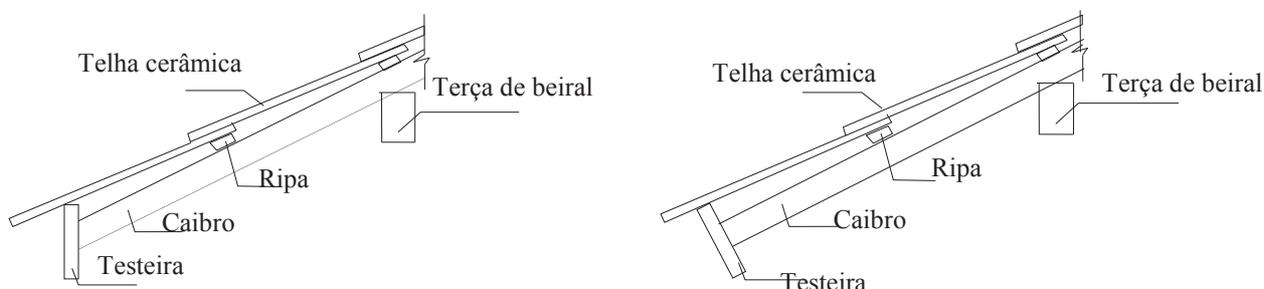


Figura 7.7 – Tipos de beiral com testeira

7.4.3. Caibro

Recebe as ripas e se apoia nas terças. Caibros com seção transversal de 5 x 6 cm, espaçados de 50 cm, podem atingir um vão livre de até 180 cm dependendo do peso da telha e da espécie de madeira. Para uma seção transversal de 6 x 10 cm, a distância entre terças pode chegar a 300 cm, para espaçamentos de 50 cm. São fixados nas terças com pregos 17x27 ou 18x30, pregados nas laterais dos caibros de forma a penetrar pelo menos a metade de seu comprimento na terça.

7.4.4. Terça

Recebe os caibros e se apoiam em tesouras, vigas, pontaletes ou diretamente sobre paredes.

7.4.5. Terça de cumeeira

É a terça que fica na parte mais alta do telhado, dividindo águas.

7.4.6. Frechal

É uma denominação específica de terça que se apoia na parede da extremidade inferior do telhado. Tem a função de distribuir a carga concentrada de caibros, diretamente sobre a parede e também possibilitar a extensão do telhado, criando o beiral.

7.4.7. Viga, treliça e pontaletes

Recebem as terças.

7.4.8. Mão francesa

Peça disposta de forma inclinada com a finalidade de contraventar a estrutura e diminuir o vão livre de terças.

7.4.9. Espigão

Possui a mesma função da terça, porém disposto de forma inclinada dividindo duas águas de telhado.

7.4.10. Rincão

Possui a mesma função da terça, porém disposto de forma inclinada recebendo duas águas de telhado.

7.5. Levantamento de material de cobertura

7.5.1. Telha

A quantidade de telha que se compra a mais em função das perdas que ocorrem no transporte e assentamento depende da qualidade do produto. Telhas que não atendem as especificações de norma geram maior quantidade de entulhos.

- capa/canal = (projeção da área do telhado/cosseno do ângulo de inclinação) x número de telha/m² + 5% a 10%;

- cumeeira = 3 unidades por metro de terça de cumeeira e de espigão. Como geralmente são necessários um pouco menos de 3 telhas por metro, não se adiciona praticamente nenhuma telha na compra em função de perdas com transporte e colocação.

7.5.2. Ripa

Projeção da área do telhado/cosseno do ângulo de inclinação x 100 cm/galga da telha + 10% = metros de ripas.

7.5.3. Caibro

É quantificado por comprimento (múltiplo de 50 cm)/cosseno do ângulo de inclinação do telhado mais trespasse de emenda quando necessário. É recomendado que se coloque de 5% a 10% a mais, sobre as peças de maior comprimento, porque atente a todas as dimensões necessárias de projeto.

7.5.4. Terça

É quantificado por comprimento (múltiplo de 50 cm) mais trespasse de emenda quando necessário.

7.5.5. Espigão

É quantificado por comprimento (múltiplo de 50 cm)/cosseno do ângulo de inclinação do espigão mais trespasse de emenda quando necessário.

7.5.6. Rincão

É quantificado por comprimento (múltiplo de 50 cm)/cosseno do ângulo de inclinação do rincão mais trespasse de emenda quando necessário.

7.5.7. Viga/vigota/barrote/apoio de barrote

É quantificado por comprimento (múltiplo de 50 cm) mais trespasse de emenda quando necessário.

7.5.8. Pilar

É quantificado por comprimento (múltiplo de 50 cm) + contra piso + trecho embutido no bloco de concreto.

7.5.9. Tábua de piso

É quantificado por metro quadrado

7.5.10. Índice de consumo de madeira por m² de construção

Volume de madeira em m³/Área de construção em m²:

- Cobertura;
- Cobertura com forro;
- Cobertura com forro e pilares;
- Cobertura com forro, pilares e estrutura intermediária.

7.6. Orientações para aquisição de madeira

As observações a seguir servem como orientação para se adquirir madeira com qualidade e características apropriadas para algum uso específico. Cada uma destas recomendações será definida e detalhada posteriormente.

- Verificar qual das espécies encontrada no mercado é adequada para o uso desejado;
- Especificar o nome comum junto com o nome científico da espécie;
- Verificar se o teor de umidade da peça de madeira esta dentro das condições de exposição de projeto;
- Atentar para a disponibilidade, no comércio, de seção transversal bruta próxima às necessidades, de forma a permitir o aparelhamento nas dimensões desejadas;
- Conferir o esquadro da seção transversal e se estas dimensões são constantes ao longo da peça.
- Dimensões muito irregulares, principalmente em peças de grande porte, podem acarretar uma perda significativa do material e maior gasto com mão de obra;
- Verificar se as peças de madeiras devem ser brutas ou aparelhadas;
- Observar a qualidade da madeira, verificando a presença de defeitos naturais tais como: nós, rachaduras e empenamentos. Verificar se a presença de alburno ou brancal (se for importante em relação ao uso).

7.6.1. Nome vulgar e nome científico das espécies de madeira

O Nome Comum ou Nomenclatura Comercial da madeira é o nome popular da árvore de uma determinada espécie e tem origem regional. Frequentemente o nome é dado pela similaridade ou associação da forma do tronco, da cor da madeira, do desenho, do fruto, da folha e outras características. Como exemplo tem-se a espécie orelha de macaco que é conhecida por esse nome devida o seu fruto ter semelhança com uma orelha de macaco. As espécies de madeira de nomes científicos *Couratari oblongifolia* e *Couratari stellata* são conhecidas com o mesmo nome comum, Tauari. No entanto, estas duas espécies possuem características e comportamentos bastante diferenciados. A cupiúba (*Goupia glabra*) muitas vezes é comercializada como peroba (*Aspidosperma polyneuron*), devido à semelhança da cor e densidade entre as duas madeiras. Porém, a cupiúba não tem nada a ver com as verdadeiras perobas, além de apresentar um odor bastante desagradável.

O cumaru (*Dipteryx odorata*) é comercializado como ipê (*Tabebuia sp.*). A andiroba (*Carapa guianensis*) é comercializada como mogno (*Swietenia macrophylla*). A muirapiranga (*Brosimum paraense*) é comercializada como pau-brasil (*Caesalpinia echinata*).

Devido à grande quantidade de espécies de madeiras tropicais, à extensa região de ocorrência e ao significativo fluxo de comercialização, observam-se a utilização de múltiplos nomes comerciais para uma mesma espécie de madeira, bem como a existência de diferentes madeiras comercializadas sob um mesmo nome.

A nomenclatura botânica é o único sistema de nomenclatura internacionalmente aceito. Cada espécie de madeira tem somente um nome científico. Ele é a garantia de que está adquirindo o produto especificado. Caso o comprador não se sinta seguro em relação à identificação fornecida pelo vendedor, procure ou ligue para a área de anatomia do Laboratório de Produtos Florestais - LPF, com sede junto ao IBAMA, que será orientado como proceder para retirar uma amostra na peça de madeira para que seja identificada.

7.6.2. Propriedades tecnológicas importantes para o uso

Ao contrário do aço e concreto, onde as propriedades adequadas para um determinado uso são pré-definidas ou especificadas, a espécie de madeira possui suas próprias propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade. Portanto, é preciso avaliar quais espécies de madeira, possuem as características necessárias para as diversas condições de exposição existentes. A publicação “**A Madeira e seus Usos**” faz uma avaliação da importância de uma determinada propriedade e sua relação com as condições de exposição e indica quais espécies amazônicas são mais adequadas para trinta usos diferentes. É encontrado nos endereços:

- www.mundoflorestal.com.br/

Nos endereços a seguir é possível encontrar diversos tipos de informações sobre várias espécies de madeira da Amazônia.

- Banco de dados do LPF/Brasília; <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/>

- Publicação do IPT/São Paulo; www.sindusconsp.com.br/downloads/.../manual_madeira.pdf

7.6.3. Teor de umidade

É a quantidade de água presente dentro de uma peça de madeira. Sendo um material poroso, a madeira perde ou ganha umidade naturalmente, dependendo da temperatura e umidade relativa do ar. A combinação destes dois parâmetros define a quantidade de umidade que a madeira ficará, quando atingir o equilíbrio com o ambiente.

7.6.4. Madeira seca

Madeira com teor de umidade baixo. Em Brasília, este teor de umidade fica em torno de 12%, após ficar em equilíbrio com o ambiente, isto é, temos 12% de água numa peça de madeira. Em São Paulo, esta umidade é em torno de 15% e em Manaus, em torno de 18%. Não é possível saber se a madeira está seca, simplesmente olhando ou pegando a peça. Trabalhar com madeira seca, dificilmente irá aparecer defeitos tais como rachaduras ou empenamentos. O ideal é que, praticamente para todos os usos, a madeira estivesse seca com a umidade de equilíbrio da região.

Existem vários aparelhos que tem como função medir o teor de umidade da madeira. Os mais comuns e encontrados em algumas madeireiras medem o teor de umidade pelo simples contato com a superfície da peça de madeira. Para verificar o teor de umidade de um lote de madeira na compra ou recebimento, sugere-se escolher por amostragem algumas peças de forma aleatória, evitando selecionar as externas. Caso o revendedor não possua o aparelho, pode-se retirar uma amostra e levar ao LPF ou solicitar a presença de um técnico para fazer a medição no local.

7.6.5. Madeira verde

Madeira com teor de umidade elevado. Como a estrutura de cobertura é formada por uma trama, onde todas as peças estão interligadas, dificilmente vai aparecer defeito nas peças após a secagem ao longo do tempo.

7.6.6. Densidade da madeira

Mede o peso da madeira por metro cúbico. Se a madeira é leve, significa que ela é muito porosa (possui muitos vazios internos). Se for pesada, possui poucos poros, isto é, existe mais material madeira. Por isso que madeiras leve e pesada, muito verdes, possuem densidades aproximadamente iguais, já que as mais leves estão com os poros cheios de água. Portanto, para saber se a madeira é leve ou pesada, devemos verificar através da densidade aparente. As madeiras pesadas são mais resistentes e duráveis que madeiras leves.

7.6.7. Alburno

É formado pela parte mais externa do tronco da árvore, onde ocorre o transporte ascendente de líquidos retirados do solo (seiva bruta) e a estocagem de substâncias de reserva. A maioria das células existentes do alburno está ativa. Geralmente apresenta cor clara e é mais leve que o cerne e susceptível ao ataque de fungos e insetos.

7.6.8. Cerne

Está situado logo após o albúrnio, em direção ao centro do tronco. Nesta região, as células estão inativas, e as cavidades celulares estão impregnadas de substâncias extrativas (tanino, resinas, gorduras, carboidratos). Estes extrativos são tóxicos aos organismos degradadores da madeira, fornecendo a esta parte da árvore maior durabilidade natural e maior densidade. Normalmente, o cerne é de cor mais escura que o albúrnio existindo, portanto, a possibilidade de ambos serem de cores distintas. Consequentemente, a obstrução dos poros e cavidades celulares, torna o cerne mais difícil de secar e mais resistente à impregnação de substâncias preservativas, porém dificulta a ação de fungos e insetos pela ausência de condições ideais de desenvolvimento.

7.6.9. Durabilidade natural

É a resistência natural da madeira contra a ação de fungos e insetos. De forma geral, as madeiras pesadas são bem mais duráveis do que as madeiras leves. O uso de madeiras pesadas em cobertura torna desnecessária a aplicação de fungicida e/ou inseticida, desde que não possua albúrnio ou brancal.

7.6.10. Processamento e comercialização

Após o abate da árvore, as toras de madeira vão para a serraria, onde ocorre o **processamento primário**. A madeira serrada resultante é conhecida como **madeira bruta**. São desdobradas em pranchas, vigotas, caibros, ripas e tábuas, que apresentam superfícies ásperas e na maioria das vezes seções transversais sem esquadros e com dimensões da seção transversal irregulares.

É no **processamento secundário** que se obtêm superfícies lisas, com bons acabamentos, esquadrejadas e com seção transversal constante ao longo do comprimento da peça. São chamadas de **madeira aparelhada**. Como a madeira comercializada, na maioria das vezes, precisa ser aparelhada, é necessário considerar uma perda de pelos menos 8 mm de cada lado da seção transversal. Assim, por exemplo, uma peça de seção transversal 6x16 cm, quando aparelhada ficará com seção transversal aproximadamente 5x15 cm.

7.6.11. Qualidade da madeira

Existem normas para classificar a qualidade da madeira, de forma visual. A exigência na qualidade da madeira depende da utilização. Assim, numa estrutura de cobertura, é importante que a madeira não apresente rachaduras, nós, seção transversal irregular (dimensões variam de uma ponta a outra) e sem esquadro, empenamento acentuado e também que não apresente o brancal ou albúrnio, (parte clara da madeira que fica próxima a casca) que é o alimento predileto de fungos e insetos.

7.6.12. Recebimento

No recebimento deve ser observado se todas as peças de madeira são da espécie especificada, verificar a presença de defeitos naturais (nós, empenamentos e rachaduras), presença de albúrnio (se for importante em relação à qualidade do uso), conferirem as dimensões das peças (quantidade e comprimento das peças, uniformidade e esquadro da seção transversal) e teor de umidade.

7.6.13. Armazenamento

Armazenar a madeira na obra de forma correta, evita desperdício com empenamentos, rachaduras, torcimento e ataque de fungos. Faça o empilhamento em área coberta ou usando lona plástica, com base nivelada, com espaçamento e separadores entre as peças para permitir a ventilação e pinte os topos das peças com tinta a óleo, quando a madeira estiver em condição verde de umidade.

7.6.14. Acabamento/proteção

A madeira, como qualquer outro material de construção, exige manutenção. A questão está na aplicação do produto adequado às condições de exposição, para evitar manutenção dispendiosa.

Dentre os produtos de acabamento na madeira podemos destacar:

- Stain – Possui pigmentos fungicidas e inseticidas. É colorido ou incolor e de fácil aplicação e manutenção. Misturando o colorido e incolor é possível aproximar da cor natural da madeira. Além de permitir uniformizar a cor das peças, a impermeabilização diminui a necessidade de manutenções.
- Tintas Acrílicas – A madeira aceita bem tintas acrílicas;
- Esmaltes – A madeira aceita bem esmaltes;

- Vernizes – Devido a manutenção intensiva, quando exposto a ação do sol, o verniz deve ser utilizado em ambientes protegidos;
- Óleo de Linhaça – Tem a vantagem de impermeabilizar a superfície da madeira, prologando a cor natural ao longo de tempo.

Em relação à cor, algumas espécies apresentam variação de cores de uma região para outra. É possível uniformizá-la utilizando produtos de acabamento, como o stain ou tingidores. Quando expostas à ação do intemperismo deve ser aplicado algum tipo de impermeabilizantes para evitar que a mudança de cor.

CAPÍTULO 8

SEÇÃO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

No projeto em que se usa a madeira como elemento estrutural, por ficar aparente e apresentar um visual agradável, a estrutura faz com que a arquitetura considere este elemento no processo criativo de desenvolvimento do projeto. Esta prática é pouco utilizada e muitas vezes evitada pelos profissionais pelas limitações de dimensões de peças comercializadas, o desconhecimento do comportamento do material na construção, a idéia equivocada de preservação do meio ambiente e a pouca prática de se projetar com a madeira como elemento estrutural. Quando se usa o concreto, na maioria das vezes, a estrutura não fica aparente, o que permite estabelecer relações aproximadas da altura da viga com o vão a ser vencido. Este processo é facilitado pela familiaridade com o uso deste material na construção ao longo dos anos, e a liberdade que o engenheiro de cálculo tem com a altura da viga, considerando que normalmente fica embutida na alvenaria e também a possibilidade de manipular com a composição de ferro e concreto nas dimensões finais da seção transversal.

A seguir são estabelecidas, de forma bastante simplificada, as condições mais comuns de carregamento em estruturas convencionais, determinação de área de influência de cargas e uma equação para estimar a seção transversal de viga em madeira necessária. É importante salientar que o roteiro é para se ter uma idéia aproximada de dimensões das peças. O projeto de estrutura final deve ser feito por profissional capacitado.

Para coberturas, as cargas são relativas ao peso de telha cerâmica, forro e madeira em geral. Considerando a área de influência de carregamento nos elementos estruturais, a carga será transformada em carga uniformemente distribuída ao longo da peça fletida.

Para pisos de pavimentos superiores as cargas são relativas às sobrecargas, peso de madeira em geral, laje e alvenaria. Será considerada cada situação em particular, para que o processo de pré-dimensionamento não fique muito longe das necessidades reais. Também com o objetivo de se aproximar o máximo das condições reais de carregamento, será necessário determinar a área de influência de cargas nas peças, para transformá-las em cargas distribuídas.

Como nas estruturas convencionais em madeira, a seção transversal de vigas é estabelecida, na maioria das vezes, pela flecha a equação proposta considera este aspecto, bem como o esquema estático de viga isostática, pelo fato de que o comprimento de peças no mercado são relativamente curtas, ocorrendo quase sempre, emenda nos apoios.

Para determinar a altura da viga, basta estabelecer uma largura (b em cm) da seção transversal e entrar com os valores de carga distribuída (q) e o vão livre (L) da viga, na equação a seguir. Os valores da largura (b) da seção transversal encontrada no mercado 5cm, 6cm, 7cm e 8cm. As alturas (h) são 6cm, 9cm, 10cm, 11cm, 12cm, 14cm, 15cm, 16cm e 20cm. Fora destes valores deve ser feita encomenda na madeireira. A relação entre altura e base (h/b) da seção transversal, em termos principalmente estéticos varia de 2 a 3. Para determinar a área de influência de carga na peça solicitada à flexão, segue alguns exemplos ilustrativos.

A equação foi desenvolvida para espécies de madeira com densidade básica acima de 800 kg/m³, cujo menor módulo de elasticidade fica em torno de 12 000 MPa. Para aqueles que não gostam de fazer muita conta, os gráficos das Figuras 8.5 a 8.9 permitem determinar o momento de inércia e posteriormente a seção transversal necessária.

A unidade de força é o Newton (N) e as dimensões lineares em centímetro (cm).

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b}} \left(\frac{L}{27} \right)$$

onde,

h = altura da peça de madeira, em centímetro;

L = vão livre da viga de madeira, em cm;

q = carga uniformemente distribuída, em N/cm. Como a carga uniformemente distribuída normalmente é determinada em N/m, para converter em N/cm basta dividir por 100. Ex. 250 N/m = 2,50 N/cm

b = largura da peça de madeira, em cm.

8.1. Cobertura

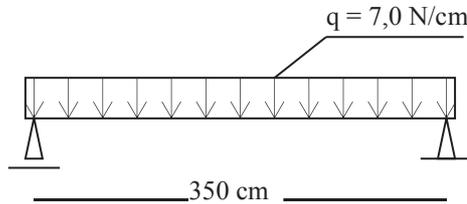
a) Pré-dimensionamento do caibro

Cargas convencionais de telha cerâmica, estrutura e forro de madeira = 1000 N/m^2

Exemplo – Carga uniformemente distribuída no caibro da figura 8.1

Multiplicando 1000 N/m^2 pelo espaçamento entre caibros, teremos a carga uniformemente distribuída sobre o caibro:

$$q = 1000 \text{ N/m}^2 \times 0,70 \text{ m} = 700 \text{ N/m} = 7,0 \text{ N/cm}$$



Relação $L/h = 23$,
para $b = 5 \text{ cm}$

Para $b = 5 \text{ cm}$, temos

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b} \left(\frac{L}{27}\right)} = \sqrt[3]{\frac{7,0 \text{ N/cm}}{5 \text{ cm}} \left(\frac{350 \text{ cm}}{27}\right)} = 15 \text{ cm}$$

Seção transversal do caibro: 5x15 cm

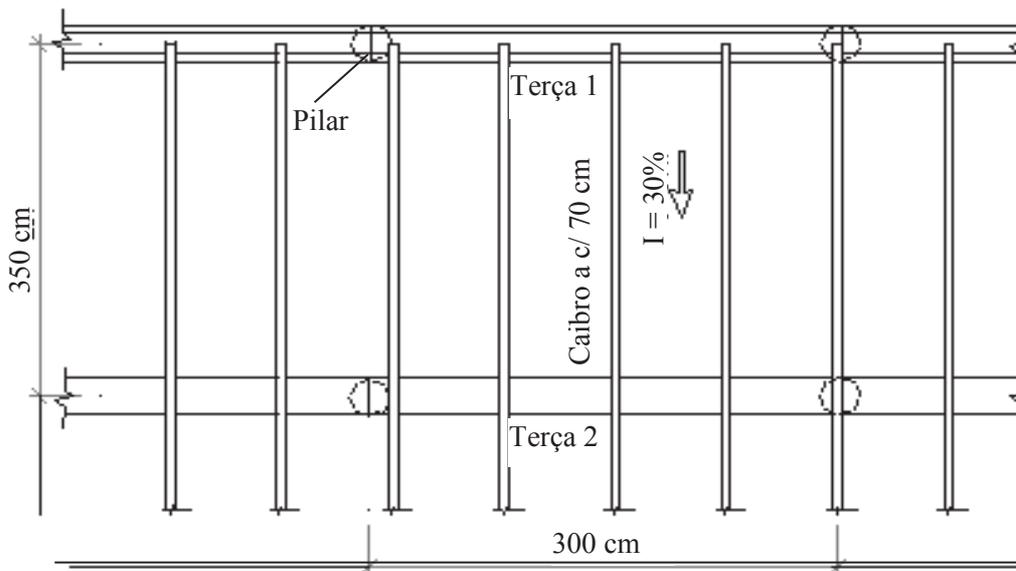


Figura 8.1 - Planta de cobertura esquemática

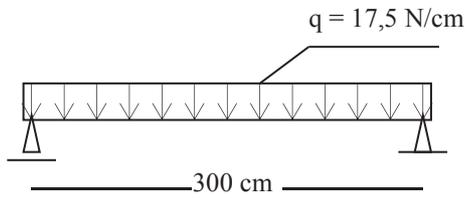
b) Pré-dimensionamento da terça

Cargas convencionais de telha cerâmica, estrutura e forro de madeira = 1000 N/m^2

Exemplo – Carga uniformemente distribuída na terça 1 da Figura 8.1.

Multiplicando 1000 N/m^2 pela distancia entre terças, teremos a carga uniformemente distribuída sobre a terça:

$$q = 1000 \text{ N/m}^2 \times (3,50 \text{ m}/2) = 1750 \text{ N/m} = 17,5 \text{ N/cm}$$



Relação $L/h = 19$,
para $b = 6$ cm

Para $b = 6$ cm, temos

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b} \left(\frac{L}{27} \right)} = \sqrt[3]{\frac{17,5 \text{ N/cm}}{6 \text{ cm}} \left(\frac{300 \text{ cm}}{27} \right)} = 16 \text{ cm}$$

Seção transversal da terço: 6x16 cm

8.2. Piso residencial

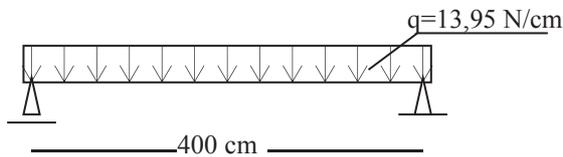
a) Piso em tábua corrida de madeira

a.1) Pré-dimensionamento do barrote de apoio de tábuas de piso

Cargas convencionais de sobrecarga e estrutura de madeira = 3100 N/m^2

Exemplo – Carga uniformemente distribuída no barrote da figura 8.2.

$$q = 3100 \text{ N/m}^2 \times 0,45 \text{ m} = 1395 \text{ N/m} = 13,95 \text{ N/cm}$$



Relação $L/h = 22$,
para $b = 8$ cm

Para $b = 8$ cm, temos

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b} \left(\frac{L}{27} \right)} = \sqrt[3]{\frac{13,95 \text{ N/cm}}{8 \text{ cm}} \left(\frac{400 \text{ cm}}{27} \right)} = 18 \text{ cm}$$

Seção transversal do barrote 8x20 cm

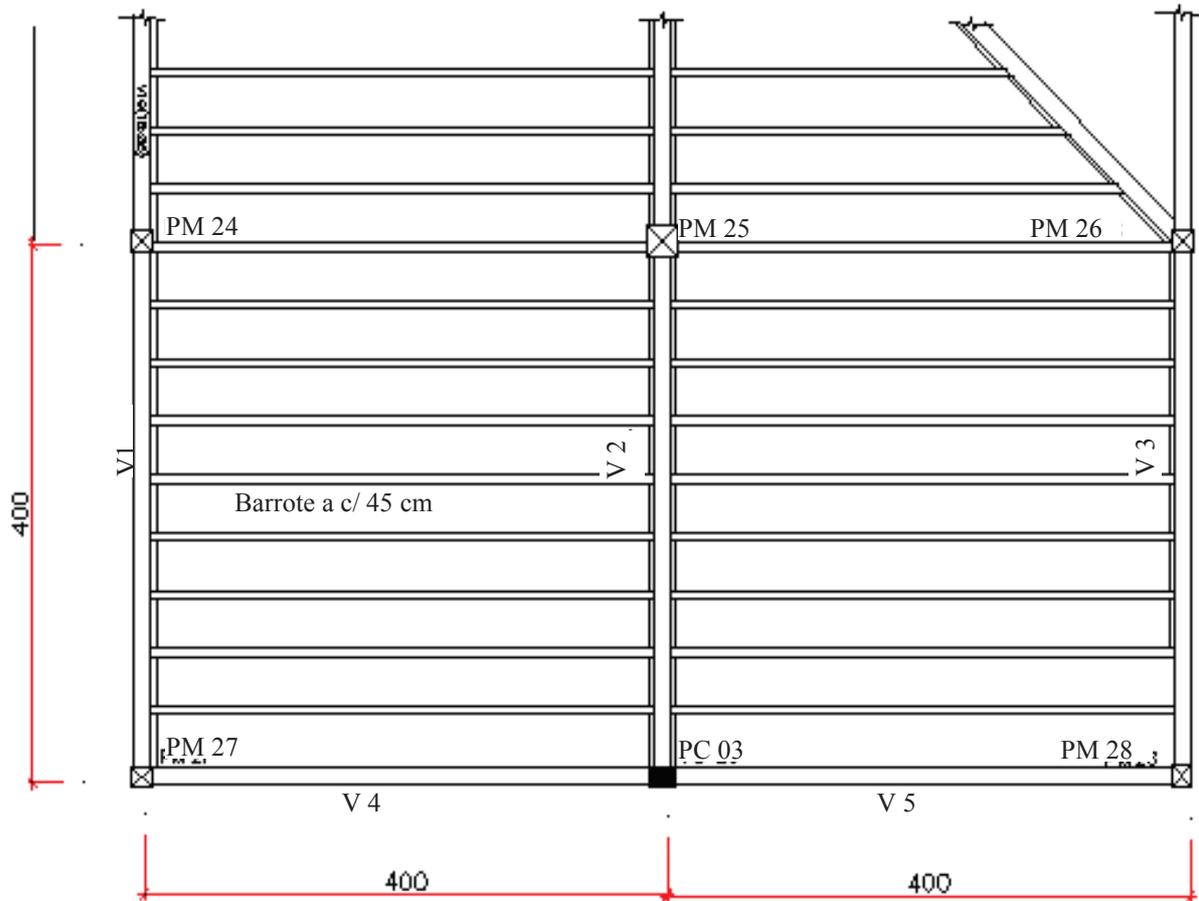


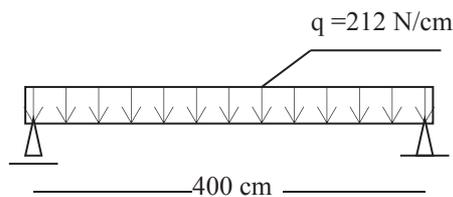
Figura 8.2 - Estrutura de piso em madeira

a.2) Vigas de madeira para piso de madeira

Cargas convencionais de sobrecarga, estrutura de madeira e alvenaria sobre a viga = 5300 N/m²

Exemplo – Carga uniformemente distribuída na viga V2 da figura 8.2.

$$q = 5300 \text{ N/m}^2 \times 4,0 \text{ m} = 21200 \text{ N/m} = 212 \text{ N/cm}$$



Relação L/h = 11,
para b = 15 cm

Para b = 15 cm, temos

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b}} \left(\frac{L}{27} \right) = \sqrt[3]{\frac{212 \text{ N/cm}}{15 \text{ cm}}} \left(\frac{400 \text{ cm}}{27} \right) = 36 \text{ cm}$$

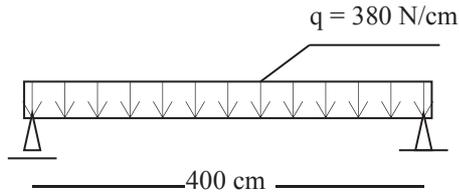
Seção transversal de 15x36 cm

b) Vigas de madeira para piso em laje de concreto

Cargas convencionais de sobrecarga, laje de concreto e alvenaria sobre a viga = 9500 N/m²

Exemplo – Carga uniformemente distribuída na viga V14 da Figura 8.3.

$$q = 9500 \text{ N/m}^2 \times 4,0 \text{ m} = 38000 \text{ N/m} = 380 \text{ N/cm}$$



Relação $L/h = 10$,
para $b = 15$ cm

Para $b = 15$ cm, temos

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b}} \left(\frac{L}{27} \right) = \sqrt[3]{\frac{380 \text{ N/cm}}{15 \text{ cm}}} \left(\frac{400 \text{ cm}}{27} \right) = 43 \text{ cm}$$

Seção transversal de 15x43 cm

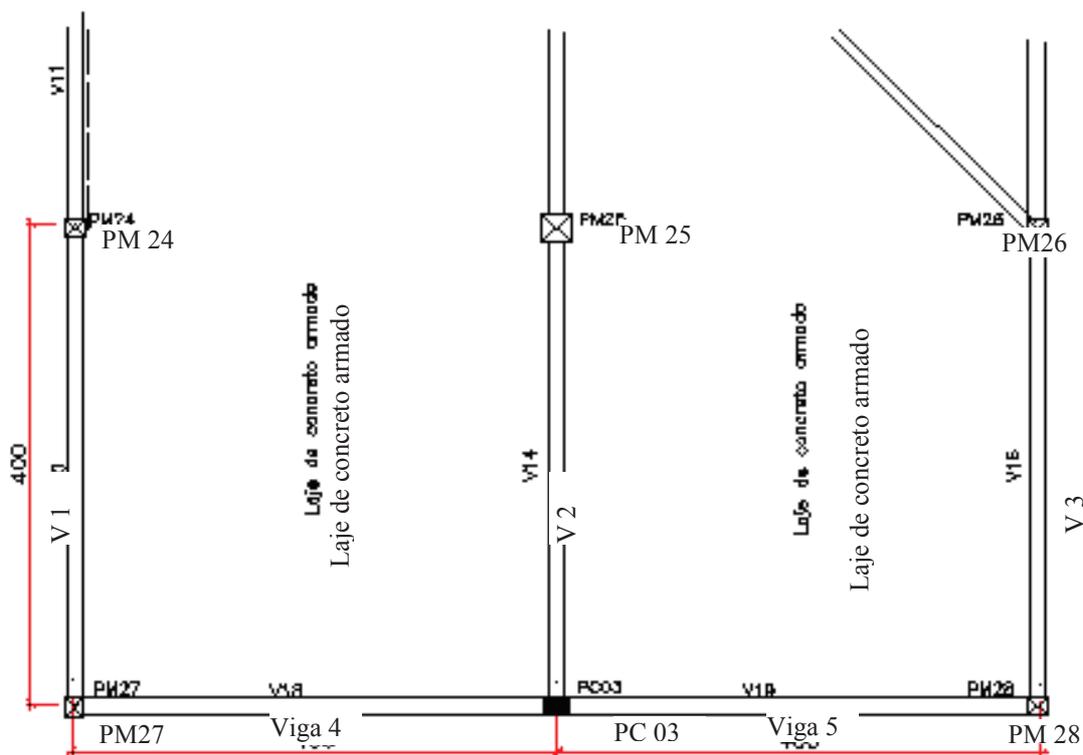


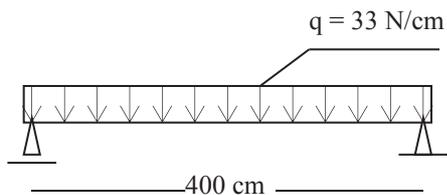
Figura 8.3 - Estrutura de piso em madeira com laje de concreto

c) Barrote de madeira para apoio de piso cerâmico

Cargas convencionais de sobrecarga, estrutura de madeira, revestimento em piso cerâmico e alvenaria sobre a viga = 5500 N/m^2

Exemplo – Carga uniformemente distribuída no barrote da Figura 8.4.

$$q = 5500 \text{ N/m}^2 \times 0,60 \text{ m} = 3300 \text{ N/m} = 33 \text{ N/cm}$$



Relação $L/h = 17$,
para $b = 8$ cm

Para $b = 8 \text{ cm}$, temos

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b}} \left(\frac{L}{27} \right) = \sqrt[3]{\frac{33 \text{ N/cm}}{8 \text{ cm}}} \left(\frac{400 \text{ cm}}{27} \right) = 24 \text{ cm}$$

Seção transversal de 8x24 cm

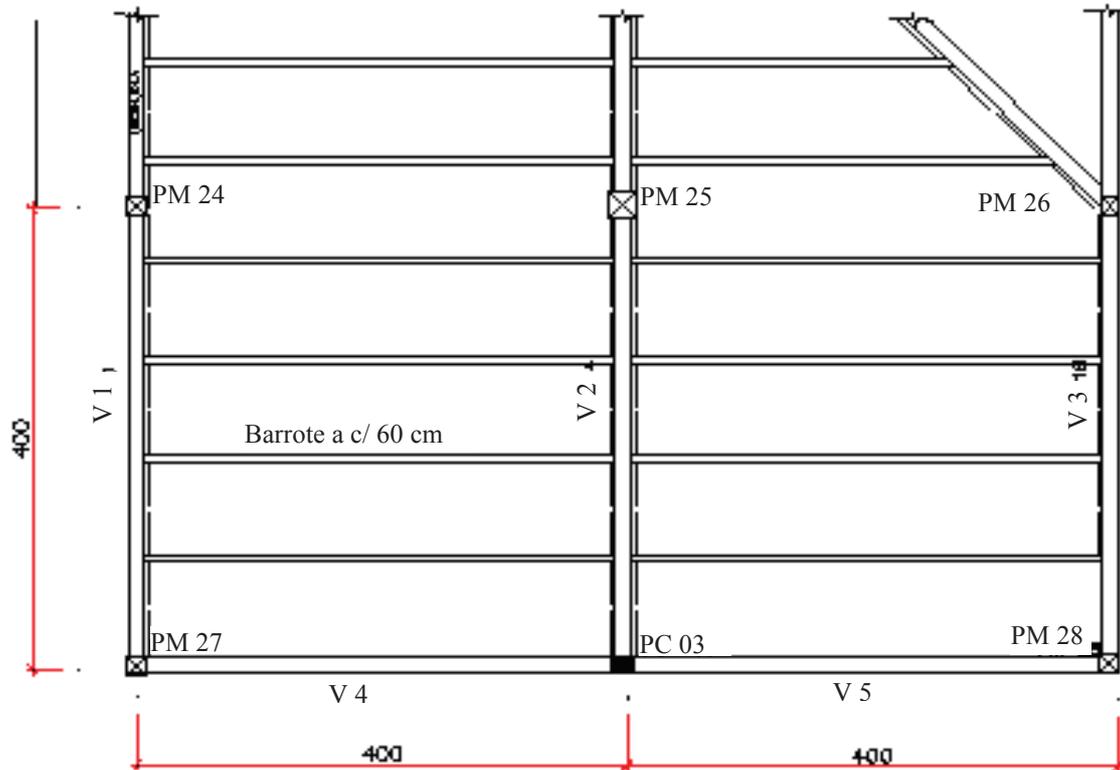


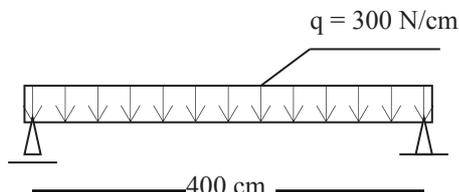
Figura 8.4 - Estrutura de piso em madeira com piso cerâmico

d) Vigas de madeira para piso cerâmico

Cargas convencionais de sobrecarga, estrutura de madeira, revestimento em piso cerâmico e alvenaria sobre a viga = 7500 N/m^2

Exemplo – Carga uniformemente distribuída na viga V2 da Figura 8.4.

$$q = 7500 \text{ N/m}^2 \times 4,0 \text{ m} = 30000 \text{ N/m} = 300 \text{ N/cm}$$



Relação $L/h = 10$,
para $b = 15 \text{ cm}$

Para $b = 15 \text{ cm}$, temos

$$h = \sqrt[3]{\frac{q}{b}} \left(\frac{L}{27} \right) = \sqrt[3]{\frac{300 \text{ N/cm}}{15 \text{ cm}}} \left(\frac{400 \text{ cm}}{27} \right) = 40 \text{ cm}$$

Seção transversal de 15x40 cm

As figuras a seguir fornecem o momento de inércia, para diferentes cargas uniformemente distribuída (q em N/m) e vão livre (L em cm) variando de 200 cm a 750 cm.

Para o exemplo do item 8.1a, teremos:

$$q = 1000 \text{ N/m}^2 \times 0,70 \text{ m} = 700 \text{ N/m}$$

$$L = 350 \text{ cm}$$

Entrando no gráfico da Figura 8.5, com o valor de $q = 700 \text{ N/m}$, para a reta de $L = 350 \text{ cm}$, teremos o valor do momento de inércia $I = 1150 \text{ cm}^4$

$$I = \frac{bh^3}{12} = 1150 \text{ cm}^4$$

Fazendo $b = 5 \text{ cm}$, terem para $h = 15 \text{ cm}$

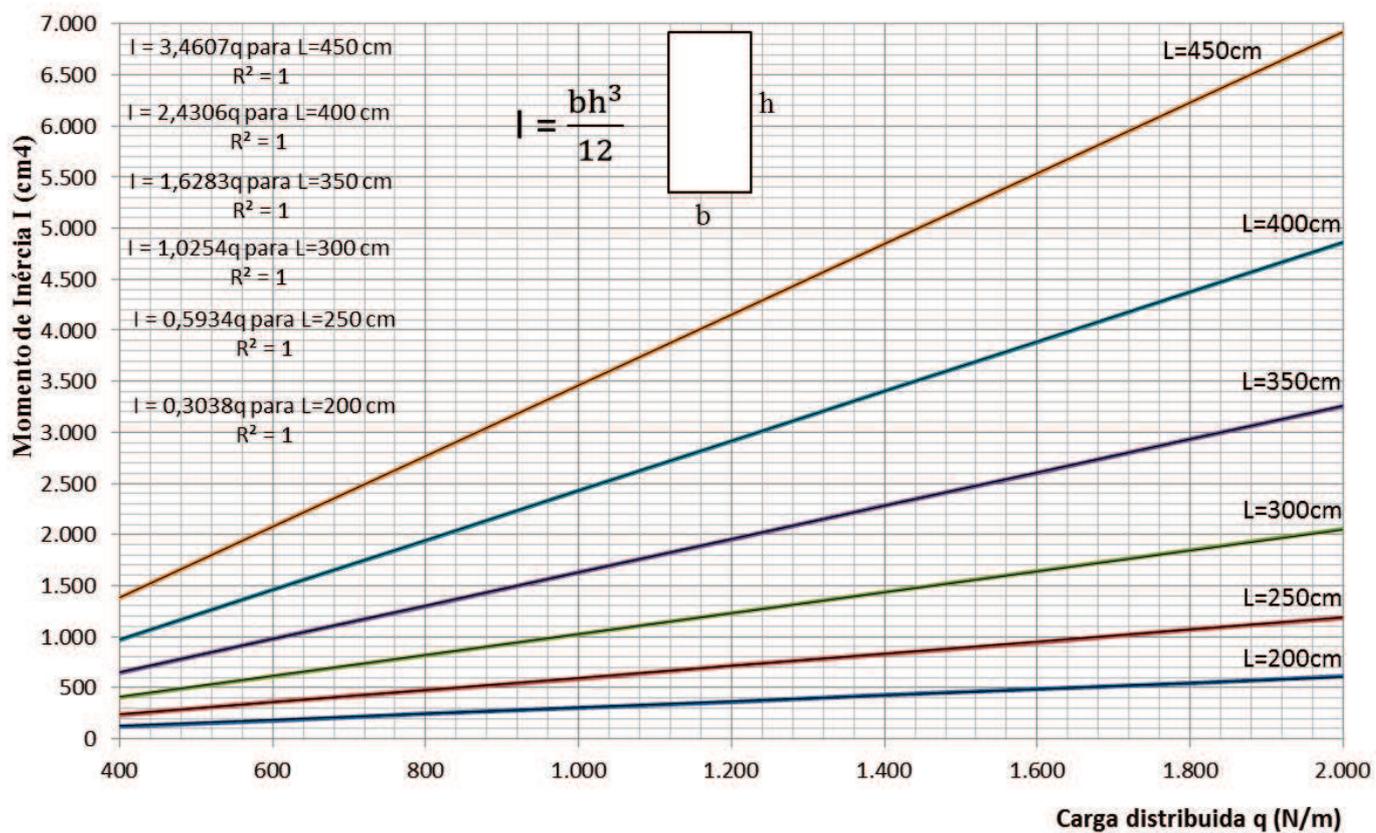


Figura 8.5 – Flexão: Diagrama de cargas distribuídas convencionais de cobertura versus momento de inércia para vão livre L=200 cm a L=450 cm

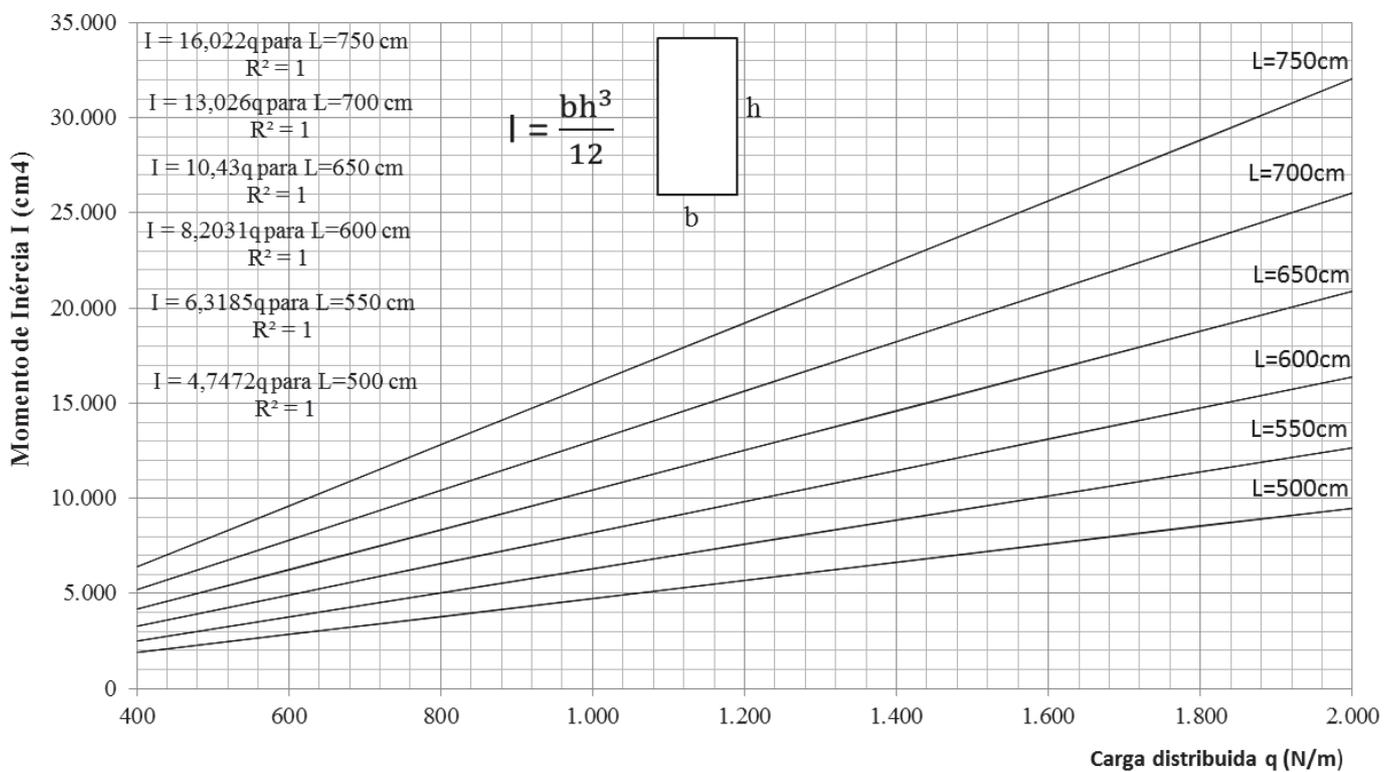


Figura 8.6 – Flexão: Diagrama de cargas distribuídas convencionais de cobertura versus momento de inércia para vão livre L=500 cm a L=750 cm

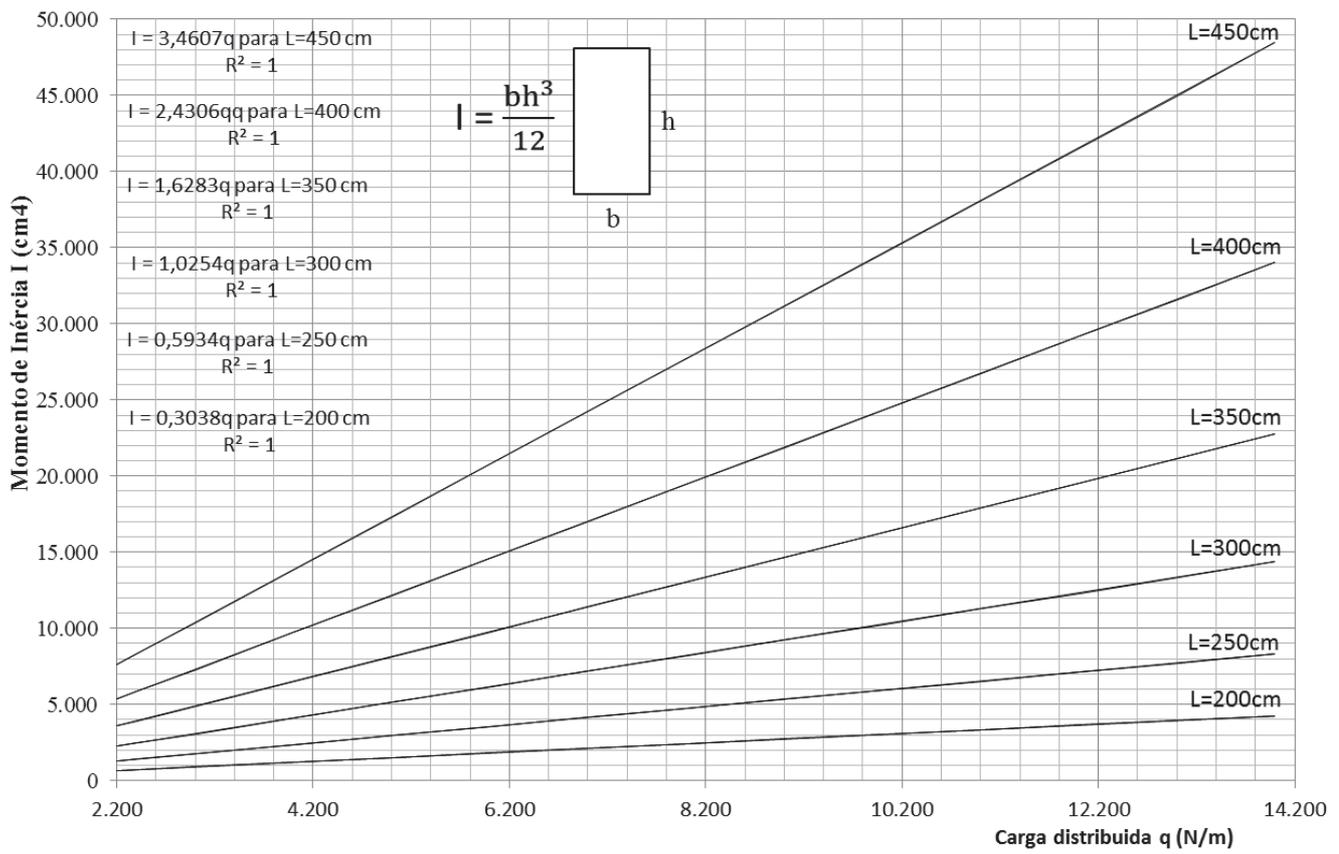


Figura 8.7 – Flexão: Diagrama de cargas distribuídas convencionais de piso versus momento de inércia para vão livre $L=200$ cm a $L=450$ cm

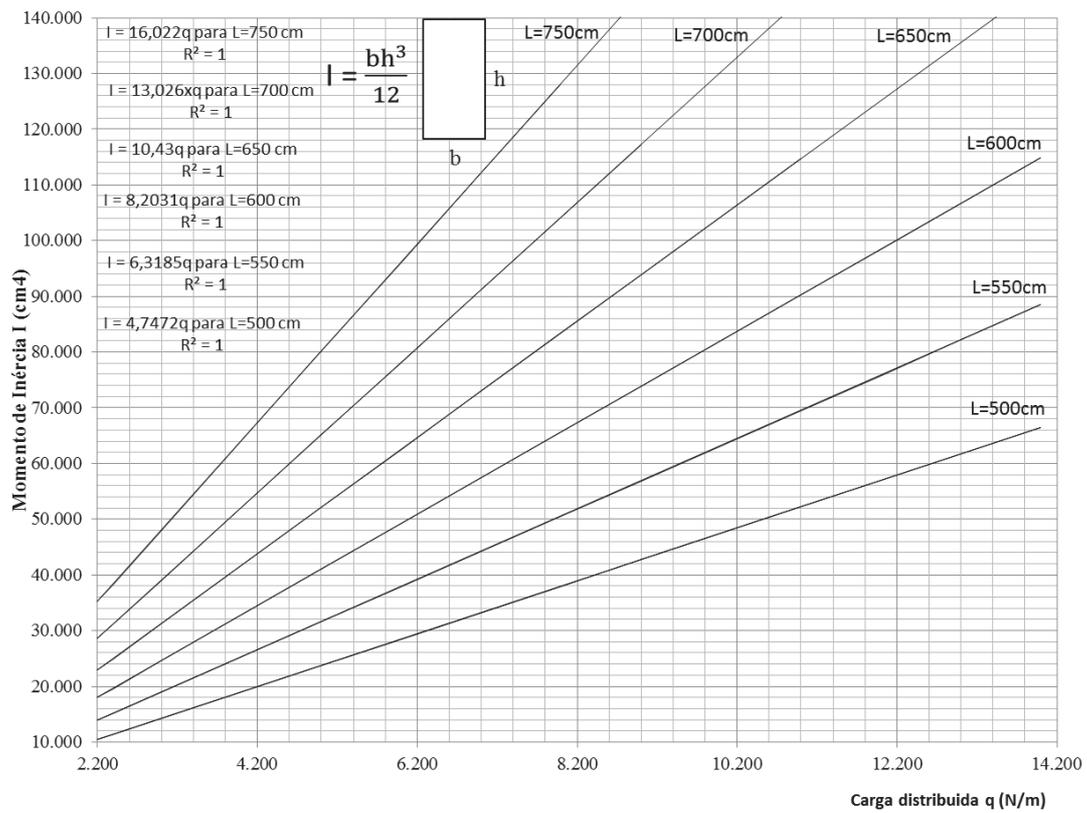


Figura 8.8 – Flexão: Diagrama de cargas distribuídas convencionais de piso versus momento de inércia para vão livre L=500 cm a L=750 cm

FLEXÃO - Cargas convencionais para L=200 cm a L=600 cm

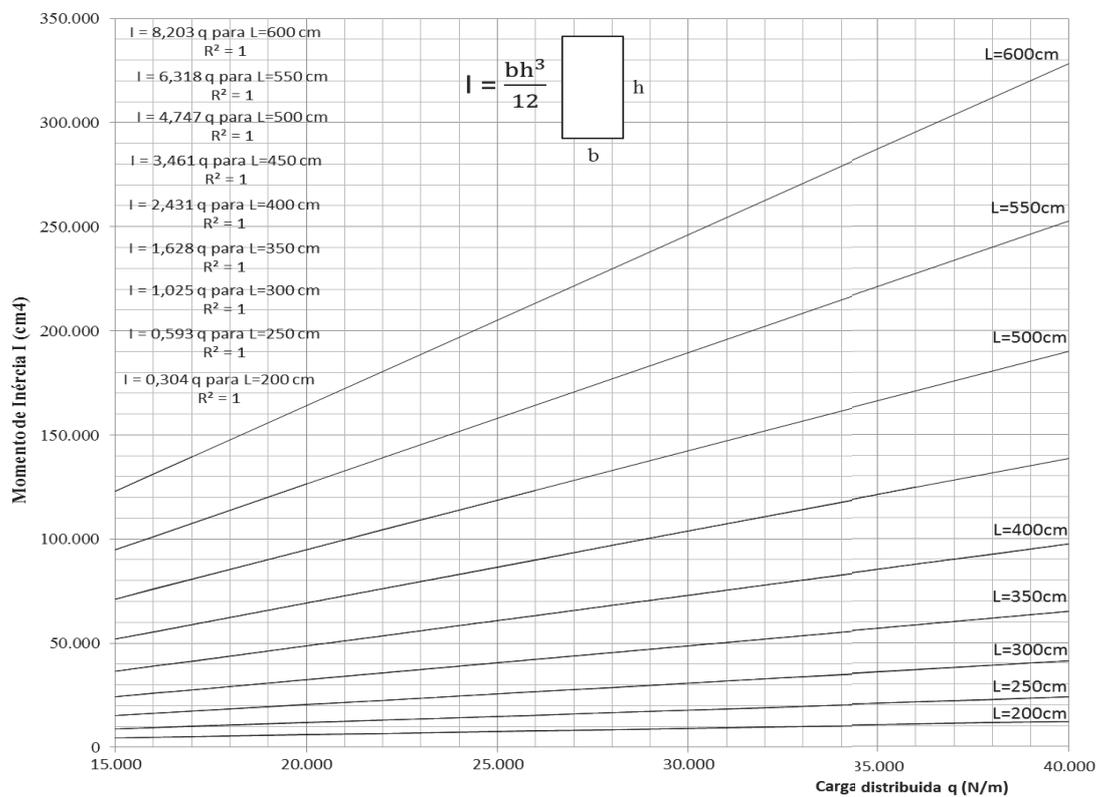


Figura 8.9 – Flexão: Diagrama de cargas distribuídas convencionais de piso com alvenaria e laje versus momento de inércia para vão livre L=200 cm a L=600 cm

CAPÍTULO 9

ANEXOS

Apresenta vários anexos com informações relacionadas com o processo de cálculo e dimensionamento de estruturas de madeira:

Anexo 9.1

Tensões admissíveis de algumas espécies de madeira, de acordo com a antiga NBR 7190.

Anexo 9.2

Metodologia de determinação do centro de gravidade, momento de inércia e momento estático, bem como as fórmulas diretas para as seções transversais mais comuns.

Anexo 9.3

Equações da linha elástica, reações de apoio e momentos fletores dos esquemas estáticos de vigas mais comumente utilizados em estruturas de madeira.

Anexo 9.4

Lista de exercícios sobre momento de inércia, flexão simples, compressão simples paralela às fibras e ligações parafusadas.

Anexos 9.5

Três roteiros de projetos de estruturas de madeira para um projeto de arquitetura:

- Roteiro 1 – Estrutura de cobertura com treliça tipo tesoura;
- Roteiro 2 – Estrutura de cobertura com treliça tipo banzos paralelos;
- Roteiro 3 – Estrutura de cobertura de caibros com travessas.

Anexos 9.6 e 9.7

Tipos, bitolas, emprego adequado e quantidade por quilo de pregos e parafusos encontrados no comércio.

Anexos 9.8 e 9.9

Características e a visualização de alguns tipos de telhas cerâmicas.

Anexo 9.10

Desdobro de toras de madeira

ANEXO 9.1. TENSÕES ADMISSÍVEIS - NBR 7190/82

Norma COPANT – Teor de umidade: Verde (Saturado em água)

Nome Científico/Comum	D_b g/cm ³	D_v Kg/m ³	E MPa	$\bar{\sigma}_f = \bar{\sigma}_t$ MPa	$\bar{\sigma}_c$ MPa	$\bar{\tau}_f$ MPa
<i>Alexa grandiflora</i> / Melanciaeira	0,60	1170	9800	10,4	7,0	0,8
<i>Aniba canelilla</i> - Preciosa	0,92	1300	16400	20,9	15,0	1,5
<i>Astronium gracile</i> / Muiracatiara	0,73	1140	13800	13,6	9,8	1,1
<i>Astronium leicontei</i> / Muiracatiara	0,79	1190	13200	15,6	10,4	1,3
<i>Astronium ulei</i> / Muiracatiara	0,71	1060	13200	13,4	9,2	1,4
<i>Buchenavia huberi</i> / Cuiarana	0,79	1240	13200	15,5	10,8	1,1
<i>Carapa guianensis</i> / Andiroba	0,59	1030	9500	11,3	7,4	0,9
<i>Cassia scleroxylon</i> / Muirapixuna	1,01	1340	14800	19,6	15,4	1,7
<i>Copaifera duckei</i> / Copaiba	0,62	1110	11300	11,3	7,0	0,9
<i>Couratari stellata</i> / Tauari	0,65	1130	13400	14,8	9,1	1,0
<i>Dialium guianense</i> – Jutaí- pororoca	0,88	1270	14700	19,0	11,8	1,5
<i>Dinizia excelsa</i> / Angelim vermelho	0,83	1260	15300	18,3	12,3	1,3
<i>Dipteryx odorata</i> / Cumaru	0,91	1280	16200	20,5	13,9	1,6
<i>Enterolobium schomburgkii</i> – Fava de rosca	0,84	1210	14900	17,7	11,6	1,5
<i>Eucalyptus citriodora</i> – Eucalípto	-	990	16500	19,5	12,2	1,6
<i>Euxylophora paraensis</i> – Pau amarelo	0,69	1200	12400	15,0	9,4	1,3
<i>Hymenaea courbaril</i> / Jatobá	0,76	1240	14600	16,4	11,2	1,4
<i>Hymenaea parvifolia</i> – Jutaí-mirim	0,90	1300	15700	18,4	12,3	1,7
<i>Hymenolobium modestum</i> / Angelim pedra	0,65	1190	12800	14,0	8,8	1,1
<i>Laetia procera</i> / Pau jacaré	0,68	1155	14100	12,0	7,5	0,8
<i>Lecythis pisonis</i> – Castanha sapucaia	0,84	1250	14700	17,1	10,9	1,5
<i>Manilkara amazonica</i> / Maparajuba	0,83	1260	12600	16,2	10,8	1,2
<i>Manilkara huberi</i> / Maçaranduba	0,89	1040	12000	18,8	11,8	1,2
<i>Mezilaurus itauba</i> / Itauba amarela	0,70	1140	10600	13,1	8,4	1,0
<i>Mezilaurus lindaviana</i> / Itauba	0,68	1090	10400	11,3	7,3	0,8
<i>Peltogyne paniculata</i> - Roxinho	0,81	1270	15700	19,8	13,9	1,5
<i>Planchonella pachycarpa</i> / Goiabão	0,74	1170	15800	17,4	11,1	1,1
<i>Tabebuia serratifolia</i> / Ipê tabaco	0,92	1060	20400	23,7	14,5	1,4
<i>Terminalia amazonica</i> / Cuiarana	0,80	1240	11700	16,0	10,4	1,2
<i>Trichilia lecointei</i> – Pracuúba da terra firme	0,90	1270	13600	16,1	11,1	1,5
<i>Zollernia paraensis</i> – Pau santo	0,97	1320	16300	22,3	13,8	1,5

D_b = Densidade básica

D_v = Densidade verde

E = Módulo de elasticidade na flexão

$\bar{\sigma}_f$ = Tensão admissível de flexão

$\bar{\sigma}_t$ = Tensão admissível de tração paralela às fibras

$\bar{\sigma}_c$ = Tensão admissível de compressão paralela às fibras

$\bar{\tau}_f$ = Tensão admissível de cisalhamento na flexão

1 Kg = 9,8 N

1 Pa = N/m²

1 MPa = 10⁶ N/m² = (10⁶ N/10⁴ cm²) = 100 N/cm²

1 Kgf/cm² = 10 N/cm² = MPa/10

1 N/m = 0,01 N/cm

1 g/cm³ = 1000 kg/m³

ANEXO 9.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS

Na maioria das vezes, as forças aplicadas em estruturas não são forças concentradas num ponto. Nos pilares, elas são distribuídas na seção transversal, nas vigas elas dão origem a tensões de tração e de compressão. A análise destas tensões envolve o conhecimento de sua resultante, que depende de certas propriedades da geometria da seção transversal. Numa peça solicitada a flexão, existe um plano neutro que separa as tensões de tração e tensões de compressão. A linha deste plano, que corta a seção transversal, é chamada de linha neutra e passa pelo centro de gravidade da seção transversal. Assim, é importante conhecer o centro de gravidade das seções transversais de peças estruturais e a partir deste, determinar o momento de inércia, momento estático e o raio de giração. Serão descritas de forma sucinta, as propriedades de algumas seções transversais, usuais no dimensionamento de estruturas.

9.2.1. Centro de Gravidade de uma superfície plana

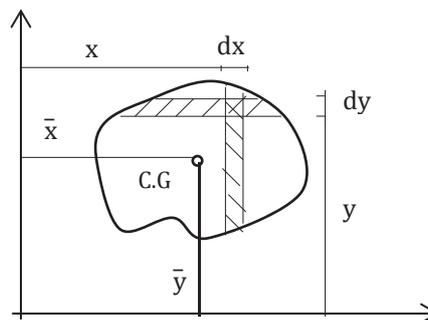
Supondo um corpo material formado por um conjunto de corpos infinitesimais, cada elemento possui um peso que está orientado para o centro da terra. Como o centro da terra está muito distante, podemos supor que as forças de atração gravitacional (peso de cada elemento) são paralelas e de mesmo sentido. A resultante destas forças paralelas está aplicada no ponto denominado de centro de gravidade. Define-se centro de gravidade (C.G), um ponto cujas coordenadas \bar{x} , \bar{y} e \bar{z} são as médias ponderadas das coordenadas do conjunto de pontos materiais.

No caso específico de estruturas onde se interessa determinar o centro de gravidade no plano da seção transversal da peça, as equações das coordenadas (\bar{x}, \bar{y}) são;

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \int_A x \cdot dA$$

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \int_A y \cdot dA$$

$$dA = dx \cdot dy$$



Numa superfície plana, conhecendo o centro de gravidade dos elementos de uma peça composta, pode-se determinar as coordenadas (\bar{x}, \bar{y}) do centro de gravidade da peça composta através das equações a seguir,

$$\bar{x} = \frac{\sum_{(i=1)}^n A_i x_i}{\sum_{(i=1)}^n A_i} \qquad \bar{y} = \frac{\sum_{(i=1)}^n A_i y_i}{\sum_{(i=1)}^n A_i}$$

onde,

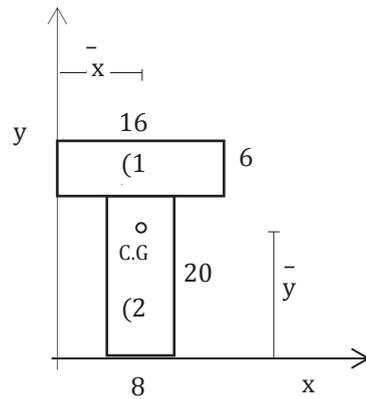
(\bar{x}, \bar{y}) , são as coordenadas do centro de gravidade em relação a um sistema de eixos.

(x_i, y_i) , são as distâncias do centro de gravidade de cada elemento da peça composta até o eixo de referência.

A_i , são as áreas de cada elemento da peça composta.

Exemplo

Determinar o centro de gravidade da peça composta em “T”



$$\bar{x} = \frac{\sum_{(i=1)}^n A_i x_i}{\sum_{(i=1)}^n A_i} = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2}{A_1 + A_2} = \frac{(6\text{cm} \times 16\text{cm})8\text{cm} + (8\text{cm} \times 20\text{cm})8\text{cm}}{(6 \times 16) + (8 \times 20)} = 8,0\text{cm}$$

como existe eixo de simetria paralelo à ordenada y, este eixo passa pelo centro de gravidade da peça composta, não havendo necessidade de utilização de equações.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{(i=1)}^n A_i y_i}{\sum_{(i=1)}^n A_i} = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{(6\text{cm} \times 16\text{cm})23\text{cm} + (8\text{cm} \times 20\text{cm})10\text{cm}}{(6 \times 16) + (8 \times 20)} = 14,87\text{cm}$$

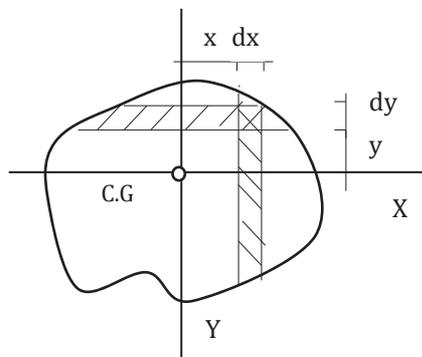
9.2.2. Momento de Inércia de uma superfície plana

Momento de Inércia de uma superfície plana de área finita, em relação a um eixo passando pelo centro de gravidade, é a integral de todos os elementos de áreas infinitesimais dA, contidas no plano, pelo quadrado de suas distâncias ao eixo de referência. Assim temos,

$$I_x = \int_A y^2 \cdot dA$$

$$I_y = \int_A x^2 \cdot dA$$

$$dA = dx \cdot dy$$



Conhecendo o momento de inércia dos elementos que formam a peça composta, pode-se determinar o momento de inércia em relação aos eixos principais passando pelo centro de gravidade, através da transposição de eixos de inércia paralelos, conforme será descrito a seguir.

O momento de inércia de uma superfície plana composta (I), em relação a um eixo passando pelo seu centro de gravidade é igual à somatória dos momentos de inércia em relação ao centro de gravidade de cada elemento da peça composta (I_i), acrescido da somatória do produto de área de cada elemento (A_i) pelo quadrado da distância que separa os dois eixos (G_i).

$$I = \sum I_i + \sum A_i \cdot G_i^2$$

Exemplo

Determinar o momento de inércia em relação aos dois eixos principais, da seção “T” do exemplo anterior, em relação ao centro de gravidade.

- Segundo o eixo xx

$$I_x = I_1 + I_2 + A_1 \cdot G_1^2 + A_2 \cdot G_2^2$$

$$I_1 = 16\text{cm} \cdot (6\text{cm})^3 / 12 = 288 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = 8\text{cm} \cdot (20\text{cm})^3 / 12 = 5333 \text{ cm}^4$$

$$A_1 = 6\text{cm} \cdot 16\text{cm} = 96 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 8\text{cm} \cdot 20\text{cm} = 160 \text{ cm}^2$$

$$G_1^2 = (23\text{cm} - 14,87\text{cm})^2 = 66,1 \text{ cm}^2$$

$$G_2^2 = (14,87\text{cm} - 10\text{cm})^2 = 23,7 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 15758 \text{ cm}^4$$

- Segundo o eixo yy

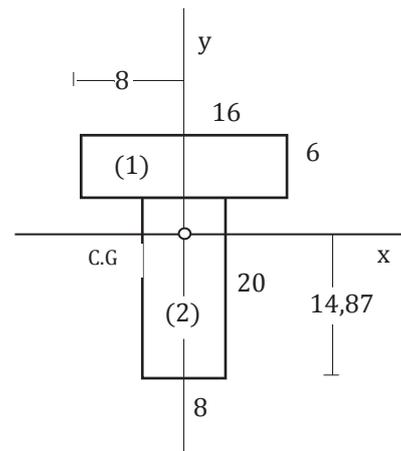
$$I_y = I_1 + I_2 + A_1 \cdot G_1^2 + A_2 \cdot G_2^2$$

$$I_1 = 6\text{cm} \cdot (16\text{cm})^3 / 12 = 2048 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = 20\text{cm} \cdot (8\text{cm})^3 / 12 = 853 \text{ cm}^4$$

Como o eixo y é o eixo de simetria, $G_1 = 0$ e $G_2 = 0$

$$I_y = I_1 + I_2 = 2901 \text{ cm}^4$$



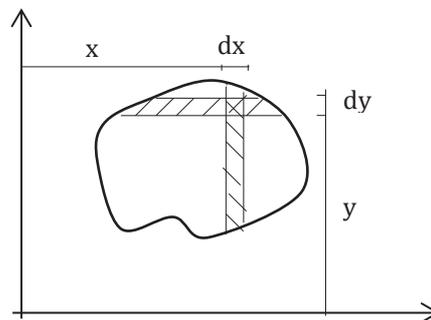
9.2.3. Momento estático de superfície plana

Momento estático de superfície plana de área finita, em relação a um eixo situado no mesmo plano da superfície, é a integral de todos os elementos de áreas infinitesimais dA , contidas no plano, pela suas distâncias ao eixo de referência.

$$S_x = \int_A y \cdot dA$$

$$S_y = \int_A x \cdot dA$$

$$dA = dx \cdot dy$$



Nas peças solicitadas à flexão, conhecendo o centro de gravidade das seções adjacente a linha neutra, pode-se determinar o momento estático, acima ou abaixo da linha neutra, através da equação a seguir,

$$S_x = \sum A_i \cdot y_i$$

O momento estático total em relação ao centro de gravidade é nulo. Portanto os momentos estáticos acima ou abaixo da linha neutra são iguais. Como a determinação das tensões de cisalhamento em peças fletidas é função do momento estático acima ou abaixo da linha neutra, é natural que o cálculo seja feito do lado mais fácil.

Exemplo

Determinar o momento estático em relação ao eixo x, da seção “T” do exemplo anterior.

- Abaixo do centro de gravidade

$$y = 14,87\text{cm}/2 = 7,43 \text{ cm}$$

$$A = 14,87\text{cm} \cdot 8\text{cm} = 119 \text{ cm}^2$$

$$S = 7,43\text{cm} \cdot 119\text{cm}^2 = 884 \text{ cm}^3$$

- Acima do centro de gravidade

$$y_1 = y_3 = 6\text{cm}/2 + (20\text{cm} - 14,87\text{cm}) = 8,10 \text{ cm}$$

$$y_2 = (26\text{cm} - 14,87\text{cm})/2 = 5,56 \text{ cm}$$

$$A_1 = A_3 = 4\text{cm} \cdot 6\text{cm} = 24 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = (26\text{cm} - 14,87\text{cm}) \cdot 8\text{cm} = 89,0 \text{ cm}^2$$

$$S = y_1 A_1 + y_2 A_2 + y_3 A_3$$

$$S = 884 \text{ cm}^3$$

ANEXO 9.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS (continuação)

NOTAÇÕES DA SEÇÃO TRANSVERSAL:

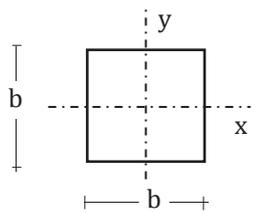
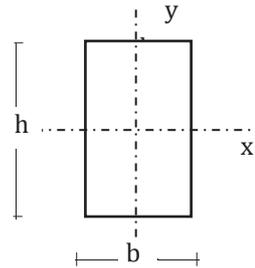
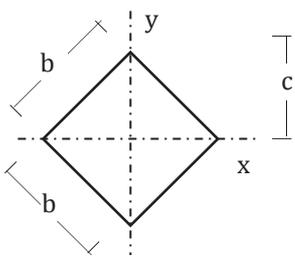
A = Área

I = Momento de inércia

S = Momento estático de área

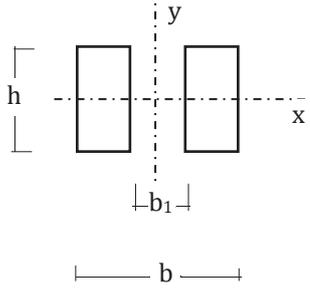
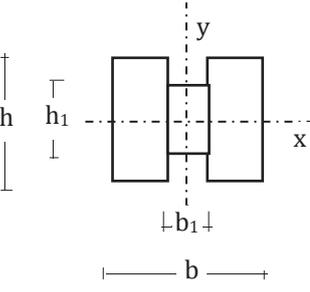
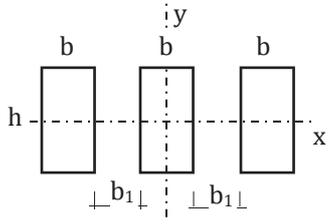
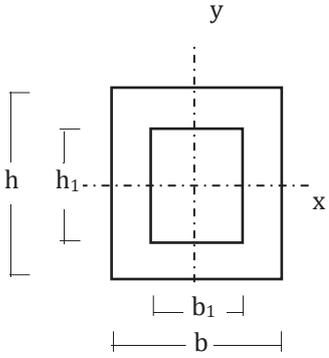
$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ = Raio de giração

c = Centro de gravidade

Eixo x	Eixo y	Seção Transversal
$A = b^2$ $I = b^4/12$ $S = b^3/8$	$A = b^2$ $I = b^4/12$ $S = b^3/8$	
$A = b.h$ $I = b.h^3/12$ $S = b.h^2/8$	$A = b.h$ $I = h.b^3/12$ $S = h.b^2/8$	
$A = b^2$ $I = b^4/12$ $S = \frac{b^3}{6\sqrt{2}}$ $c = \frac{b}{\sqrt{2}}$	$A = b^2$ $I = b^4/12$ $S = \frac{b^3}{6\sqrt{2}}$ $c = \frac{b}{\sqrt{2}}$	

ANEXO 9.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS

(continuação)

Eixo x	Eixo y	Seção Transversal
$A = h(b - b_1)$ $I = (b - b_1)h^3 / 12$ $S = (b - b_1)h^2 / 8$	$A = h(b - b_1)$ $I = h(b^3 - b_1^3) / 12$	
$A = b.h - (h - h_1)b_1$ $I = \frac{(b - b_1)h^3 + b_1h_1^3}{12}$ $S = \frac{h^2(b - b_1) + b_1 \cdot h_1^2}{8}$	$A = b.h - (h - h_1)b_1$ $I = \frac{hb^3 - b_1^3(h - h_1)}{12}$ $S = \frac{(b^2 - b_1^2)h + h_1 \cdot b_1^2}{8}$	
$A = 3.b.h$ $I = 3 \frac{bh^3}{12}$ $S = 3 \frac{bh^2}{8}$	$A = 3.b.h$ $I = 3 \frac{bh^3}{12} + 2bh(b + b_1)^2$	
$A = b.h - b_1.h_1$ $I = \frac{bh^3 - b_1h_1^3}{12}$ $S = \frac{bh^2 - b_1h_1^2}{8}$	$A = bh - b_1.h_1$ $I = \frac{hb^3 - h_1b_1^3}{12}$ $S = \frac{hb^2 - h_1b_1^2}{8}$	

ANEXO 9.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS

(continuação)

Eixo x	Eixo y	Seção Transversal
$A = \pi \cdot d^2/4$ $I = \frac{\pi d^4}{64}$ $S = d^3/3$ $c = 2d/3\pi$	$A = \pi \cdot d^2/4$ $I = \frac{\pi d^4}{64}$ $S = d^3/3$ $c = 2d/3\pi$	
$A = \pi \cdot d^2/2$ $I = \frac{\pi d^4}{32}$ $S = 2d^3/3$	$A = \pi \cdot d^2/2$ $I = \frac{\pi d^2}{32} [d^2 + 4(d + a)^2]$ $S = \frac{\pi d^2}{8} (d + a)$	
$A = \pi \cdot d^2/2$ $I = 10 \frac{\pi d^4}{64}$ $S = \pi d^3/8$	$A = \pi \cdot d^2/2$ $I = \frac{\pi d^4}{32}$ $S = 2d^3/3$	
$A = \frac{\pi(d^2 - d_1^2)}{4}$ $I = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64}$ $S = \frac{(d^3 - d_1^3)}{3}$	$A = \frac{\pi(d^2 - d_1^2)}{4}$ $I = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64}$ $S = \frac{(d^3 - d_1^3)}{3}$	
$A = (h - h_1)(b - b_1)$ $I = \frac{(h^3 - h_1^3)(b - b_1)}{12}$ $S = \frac{(h^2 - h_1^2)(b - b_1)}{8}$	$A = (b - b_1)(h - h_1)$ $I = \frac{(b^3 - b_1^3)(h - h_1)}{12}$ $S = \frac{(b^2 - b_1^2)(h - h_1)}{8}$	

ANEXO 9.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DE SEÇÕES TRANSVERSAIS
(continuação)

		Seção Transversal
Eixo x	$A = h(b - b_1) + b_1 h_1$ $c = \frac{h^2(b - b_1) + b_1 \cdot h_1^2}{2A}$ $I = h(b - b_1) \left[\frac{h^2}{12} + \left(\frac{h}{2} - c \right)^2 \right] + b_1 \cdot h_1 \left[\frac{h_1^2}{12} + \left(c - \frac{h_1}{2} \right)^2 \right]$ $S = \frac{(b - b_1)(h - c)^2}{2}, \text{ para } c \geq h_1$ $S = \frac{b(h_1 - c)^2}{2}, \text{ para } c \leq h_1$	
Eixo y	$A = h(b - b_1) + b_1 h_1$ $I = \frac{h \cdot b^3 - (h - h_1)b_1^3}{12}$ $S = \frac{(h - h_1)(b^2 - b_1^2) + h_1 \cdot b^2}{8}$	
Eixo x	$A = 2h_1 \cdot b_1 + b \cdot h$ $c = \frac{2b_1 \cdot h_1(2h - h_1) + b \cdot h^2}{2A}$ $I = 2b_1 h_1 \left[\frac{h_1^2}{12} + \left(h - c - \frac{h_1}{2} \right)^2 \right] + b \cdot h \left[\frac{h^2}{12} + \left(\frac{h}{2} - c \right)^2 \right]$ $S = \frac{b \cdot c^2}{2}, \text{ para } c \leq h - h_1$ $S = \frac{(b + 2b_1)(h - c)^2}{2}, \text{ para } c \geq h - h_1$	
Eixo y	$A = 2h_1 \cdot b_1 + b \cdot h$ $I = \frac{h_1(b + 2b_1)^3 + b^3(h - h_1)}{12}$ $S = \frac{h_1(b + 2b_1)^2 + b^2(h - h_1)}{8}$	

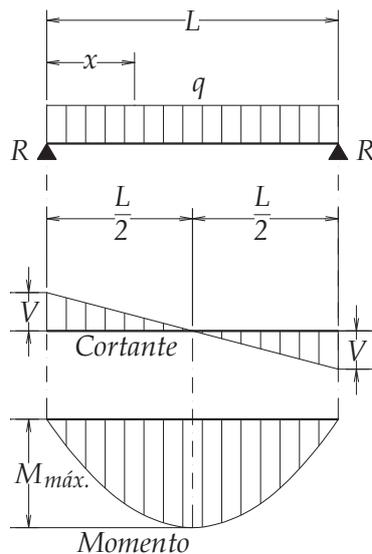
ANEXO 9.3. FÓRMULAS E DIAGRAMAS

$$R = V = qL/2$$

$$M_{\max.} = qL^2/8 \text{ para } x = L/2$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{5qL^4}{384EI}$$

$$\Delta_x = \frac{qx}{24EI} (L^3 - 2Lx^2 + x^3)$$



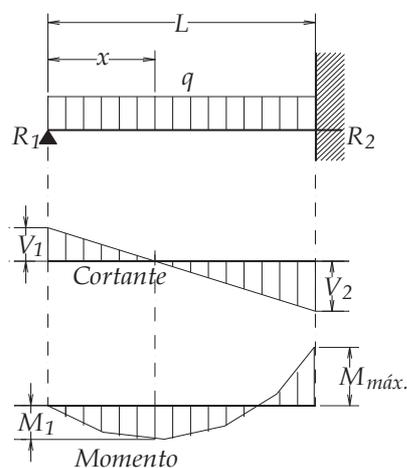
$$R_1 = V_1 = 3qL/8$$

$$R_2 = V_2 = 5qL/8$$

$$M_{\max.} = qL^2/8$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{qL^4}{185EI} \text{ p/ } x = 0,421L$$

$$\Delta_x = \frac{qx}{48EI} (L^3 - 3Lx^2 + 2x^3)$$



$$R_1 = V_1 = \frac{q}{2L} (L^2 - a^2)$$

$$R_2 = V_2 + V_3 = \frac{q}{2L} (L + a)^2$$

$$V_2 = qa$$

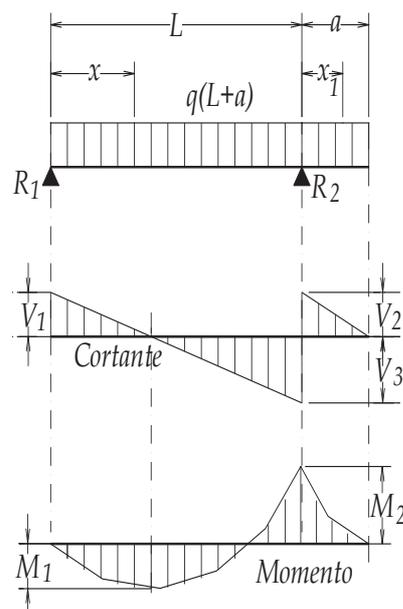
$$V_3 = \frac{q}{2L} (L^2 + a^2)$$

$$M_1 = \frac{q}{8L^2} (L + a)^2 (L - a)^2$$

$$M_2 = qa^2/2$$

$$\Delta_x = \frac{qx}{24EIL} (L^4 - 2L^2x^2 + Lx^3 - 2a^2L^2 + 2a^2x^2)$$

$$\Delta_{x_1} = \frac{qx_1}{24EI} (4a^4L - L^3 + 6a^2x_1 - 4ax_1^2 + x_1^3)$$



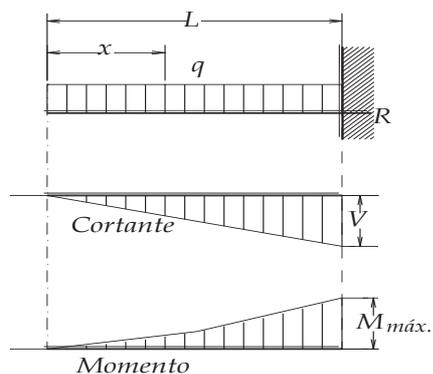
ANEXO 9.3. FÓRMULAS E DIAGRAMAS (continuação)

$$R = V = qL$$

$$M_{\max.} = qL^2/2, \text{ para } x = L$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{qL^4}{8EI}, \text{ para } x = 0$$

$$\Delta_x = \frac{q}{24EI} (x^4 - 4L^3x + 3L^4)$$



$$R_1 = R_3 = V_1 = V_3 = 3qL/8$$

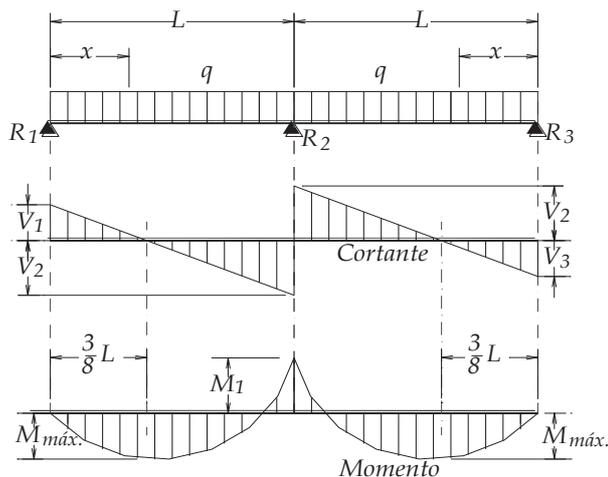
$$V_2 = 5qL/8$$

$$R_2 = 2V_2 = 10qL/8$$

$$M_{\max.} = \frac{9qL^2}{128}, \text{ p/ x} = 3L/8$$

$$M_1 = \frac{qL^2}{8}$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{qL^4}{185EI}, \text{ p/ x} = 0,421L$$



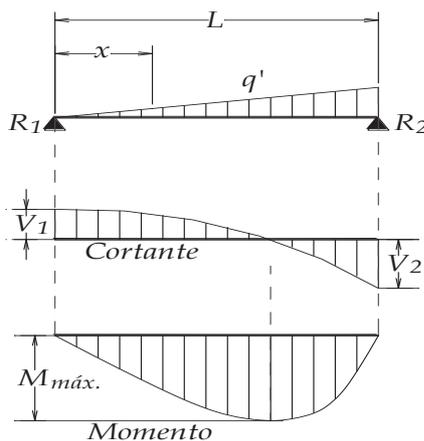
$$R_1 = V_1 = q'/3$$

$$R_2 = V_2 = 2q'/3$$

$$M_{\max.} = 0,128q'L, \text{ para } x = 2L/3$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{0.01304q'L^3}{EI}, \text{ p/ x} = 0,519L$$

$$\Delta_x = \frac{q'x}{180EIL^2} (3x^4 - 10L^2x^2 + 7L^4)$$



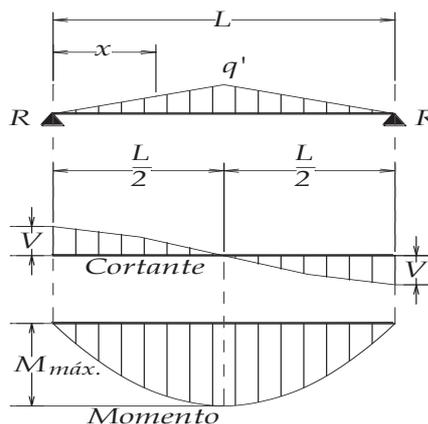
ANEXO 9.3. FÓRMULAS E DIAGRAMAS (continuação)

$$R = V = q' / 2$$

$$M_{\max.} = q' L / 6, \text{ para } x = L / 2$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{q' L^3}{60EI}, \text{ para } x = L / 2$$

$$\Delta_x = \frac{q' x}{480EIL^2} (5L^2 - 4x^2)^2$$

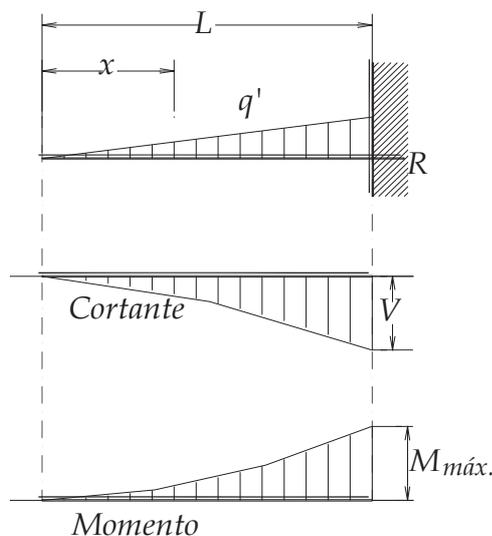


$$R = V = q'$$

$$M_{\max.} = q' L / 3, \text{ para } x = L$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{q' L^3}{15EI}, \text{ para } x = 0$$

$$\Delta_x = \frac{q'}{60EIL^2} (x^5 - 5L^4x + 4L^5)$$

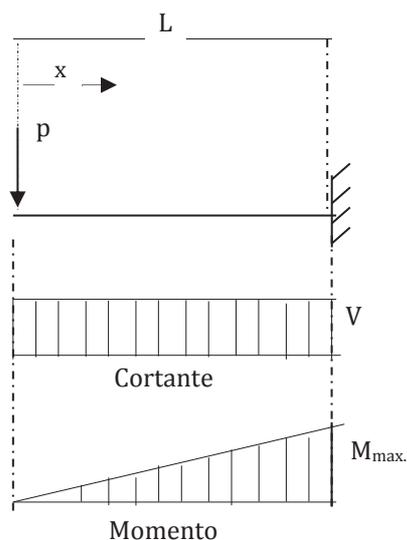


$$R = V = p$$

$$M_{\max.} = pL, \text{ para } x = L$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{pL^3}{3EI}, \text{ para } x = 0$$

$$\Delta_x = \frac{p}{6EI} (2L^3 - 3L^2x - x^3)$$



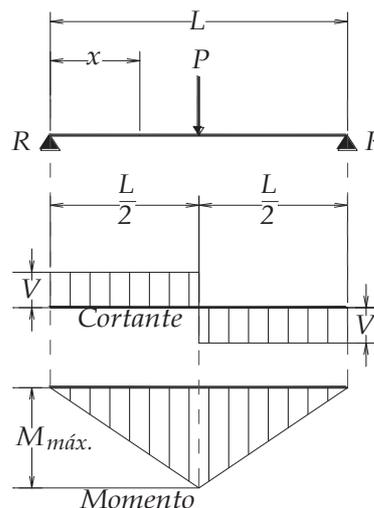
ANEXO 9.3. FÓRMULAS E DIAGRAMAS (continuação)

$$R = V = p/2$$

$$M_{\max.} = pL/4, \text{ para } x = L/2$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{PL^3}{48EI}, \text{ para } x = L/2$$

$$\Delta_x = \frac{Px}{48EI} (3L^2 - 4x^2)$$



$$R_1 = V_1 = pb/L$$

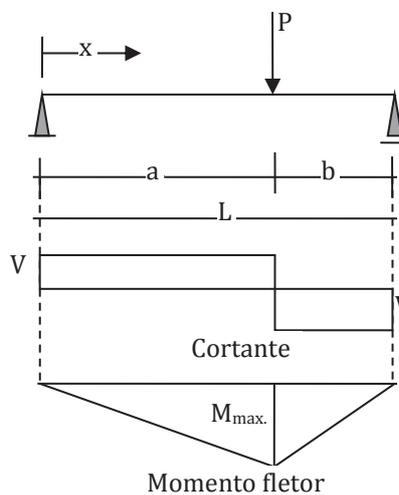
$$R_2 = V_2 = pa/L$$

$$M_{\max.} = pab/L, \text{ para } x = a$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{Pb}{48EI} (3L^2 - 4b^2), p/ x < a$$

$$\Delta_a = \frac{Pa^2b^2}{3EIL}$$

$$\Delta_x = \frac{Pbx}{6EIL} (L^2 - b^2 - x^2), p/ x < a$$

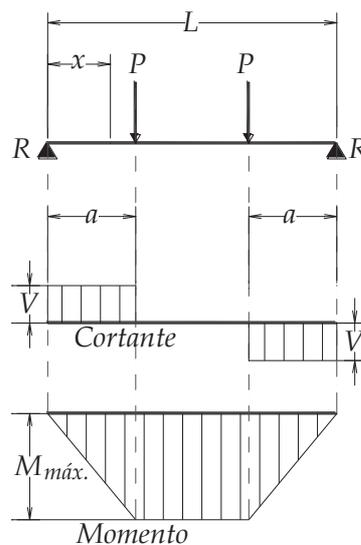


$$R = V = p$$

$$M_{\max.} = pa, \text{ para } x = L/2$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2), \text{ para } x = L/2$$

$$\Delta_x = \frac{Pa}{6EI} (3Lx - 3x^2 - a^2), p/ a < x < (L - x)$$

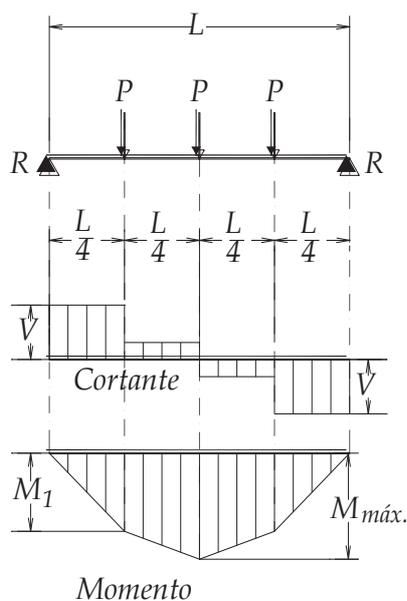


ANEXO 9.3. FÓRMULAS E DIAGRAMAS (continuação)

$$R = V = 3p/2$$

$$M_{\max.} = pL/2, \text{ para } x = L/2$$

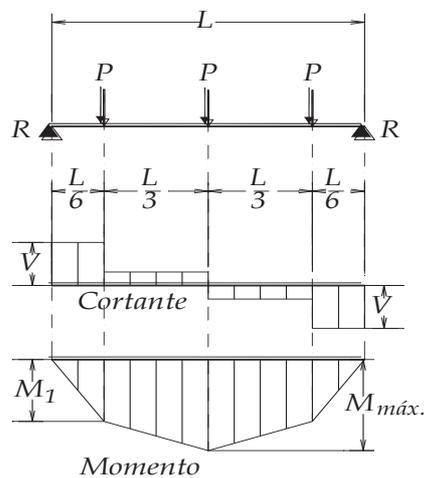
$$\Delta_{\max.} = \frac{19PL^3}{384EI}, \text{ para } x = L/2$$



$$R = V = 3p/2$$

$$M_{\max.} = 5pL/12, \text{ para } x = L/2$$

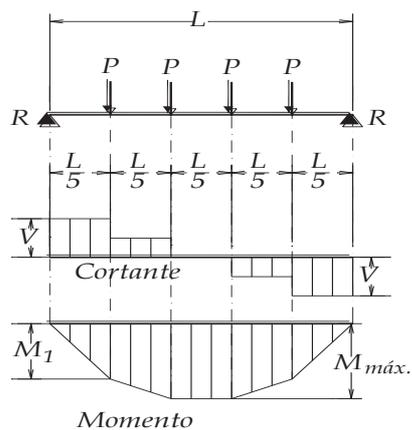
$$\Delta_{\max.} = \frac{53PL^3}{1296EI}, \text{ para } x = L/2$$



$$R = V = 2p$$

$$M_{\max.} = 3pL/5, \text{ para } L/2$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{63PL^3}{1000EI}, \text{ para } L/2$$

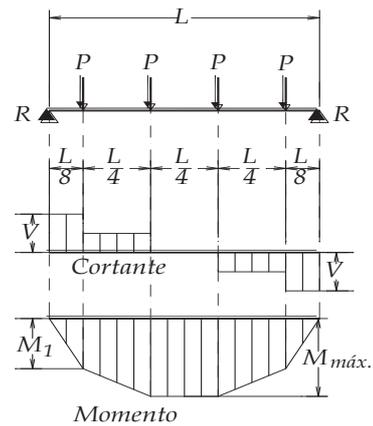


ANEXO 9.3. FÓRMULAS E DIAGRAMAS (continuação)

$$R = V = 2p$$

$$M_{\max.} = pL/2, \text{ para } L/2$$

$$\Delta_{\max.} = \frac{151PL^3}{3072EI}, \text{ para } L/2$$



Notação: R = Reação de apoio

V = Força cortante

M = Momento fletor

q = Carga uniformemente distribuída

q' = Resultante da carga triangularmente distribuída

E = Módulo de elasticidade

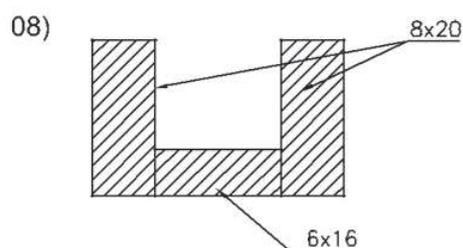
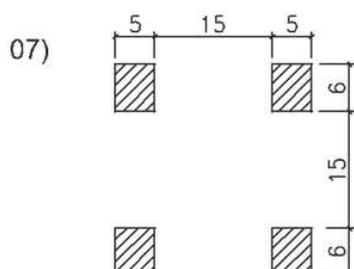
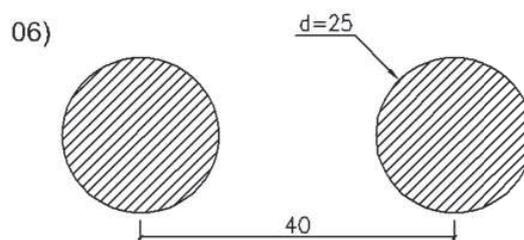
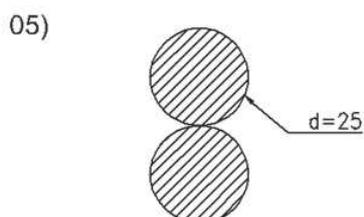
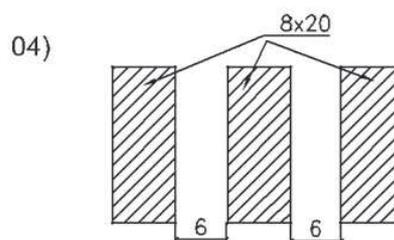
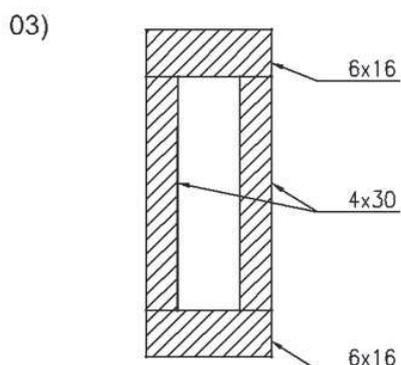
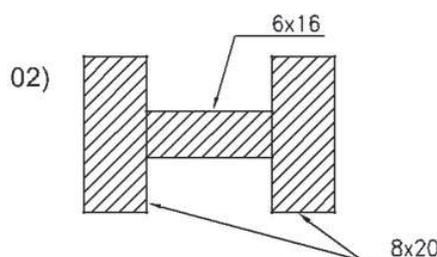
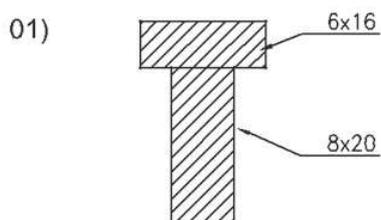
I = Momento de inércia

ANEXO 9.4. LISTA DE EXERCÍCIOS

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
 FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
 DISCIPLINA: SISTEMAS ESTRUTURAIS EM MADEIRA
 PROF.: JÚLIO EUSTÁQUIO DE MELO

LISTA DE EXERCÍCIOS - I

Determinar o momento de inércia, nos eixos principais, passando pelo centro de gravidade das figuras abaixo (unidades em centímetros).



ANEXO 9.4. LISTA DE EXERCÍCIOS (continuação)

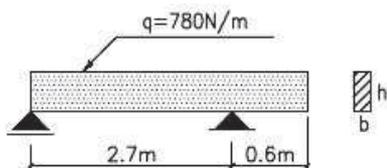
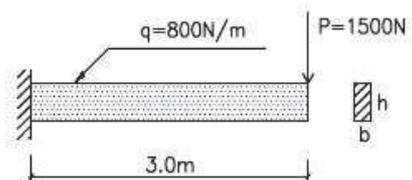
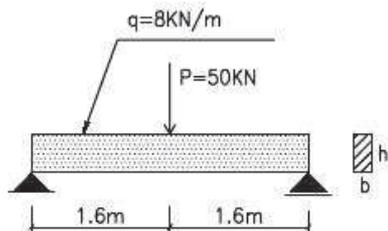
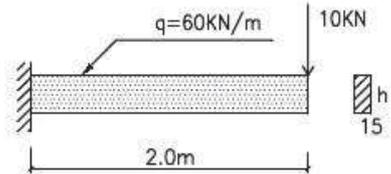
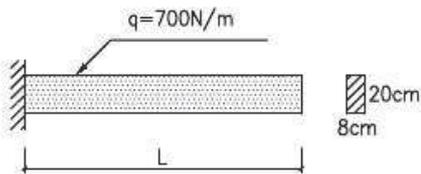
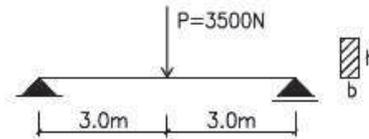
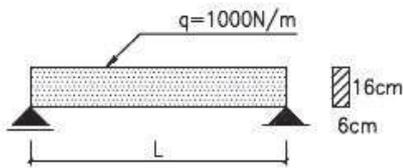
LISTA DE EXERCÍCIOS - II

Dados:

- Espécie: *Planchonella pachycarpa* (Goiabão)
- Módulo de elasticidade: 15800 MPa
- Tensão admissível na flexão: 17,4 MPa
- Tensão admissível na compressão paralela às fibras: 11,1 MPa
- Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras: 3,3 MPa
- Tensão admissível no cisalhamento à flexão: 1,1 MPa
- P = carga accidental.
- q = carga permanente.

Determinar para cada esquema estático abaixo:

- As reações de apoio.
- Os diagramas de momento fletor e cortante.
- O dimensionamento à flexão.



ANEXO 9.4. LISTA DE EXERCÍCIOS (continuação)

LISTA DE EXERCÍCIOS – III

Dados:

Espécie: *Planchonella pachycarpa* (goiabão)

Módulo de elasticidade: 15.800 MPa

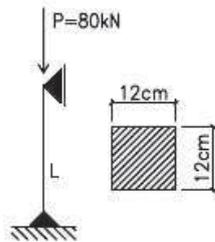
Tensão admissível na flexão: 17,4 MPa

Tensão admissível na compressão paralela às fibras: 11,1 MPa

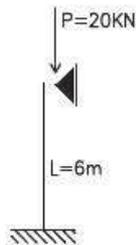
Tensão admissível na compressão perpendicular às fibras: 3,3 MPa

Tensão admissível no cisalhamento à flexão: 1,1 MPa

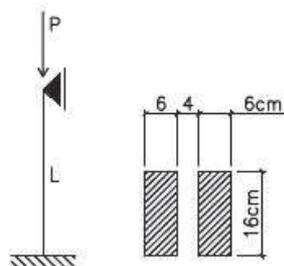
- 1) Verificar a peça comprimida abaixo, para: $L = 1,38\text{m}$; $L = 1,80\text{m}$ e $L = 3,50\text{m}$.



- 2) Dimensionar o pilar abaixo



- 3) Determinar o comprimento de flambagem máximo e a carga suportada por uma peça comprimida cuja seção está representada abaixo. Considerar a seção perfeitamente solidarizada.



- 4) Dimensionar um pilar de madeira roliça capaz de vencer um pé-direito de 5,50m com carga vertical de 40kN. Usar propriedades do cumaru e $L_{fl} = L$

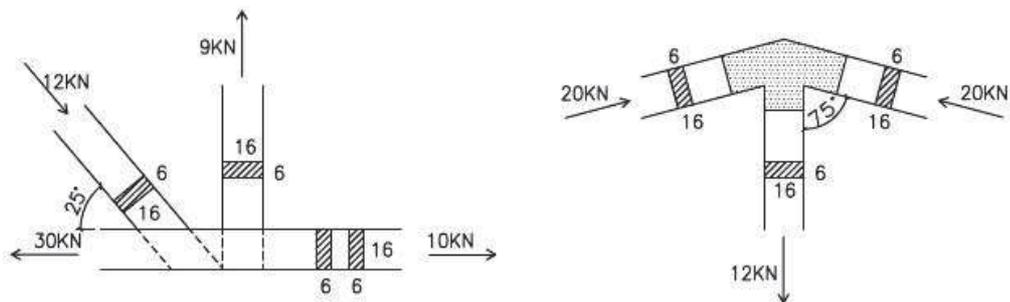
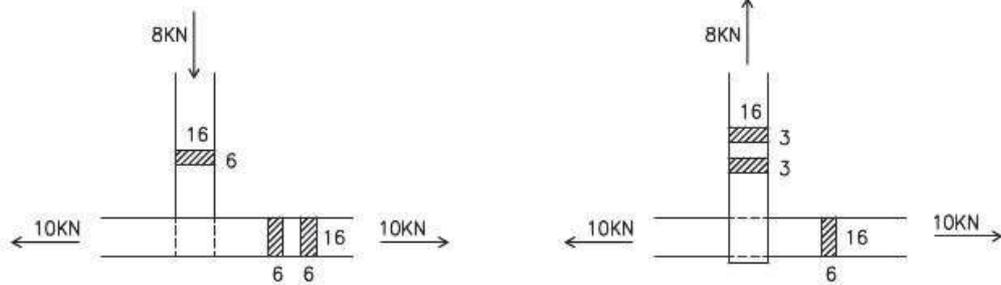
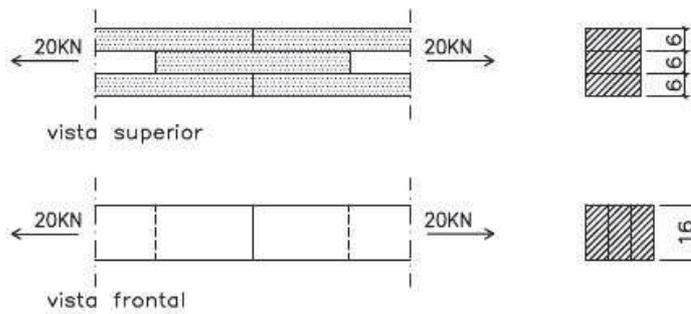
ANEXO 9.4. LISTA DE EXERCÍCIOS (continuação)

LISTA DE EXERCÍCIOS – IV

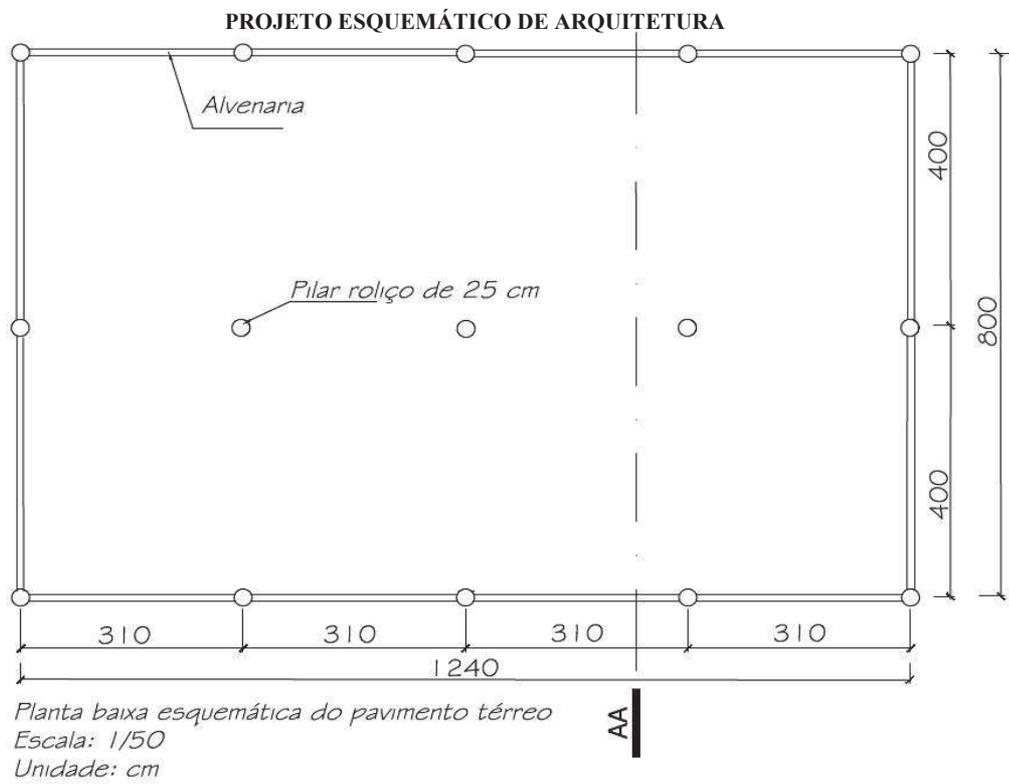
Dados:

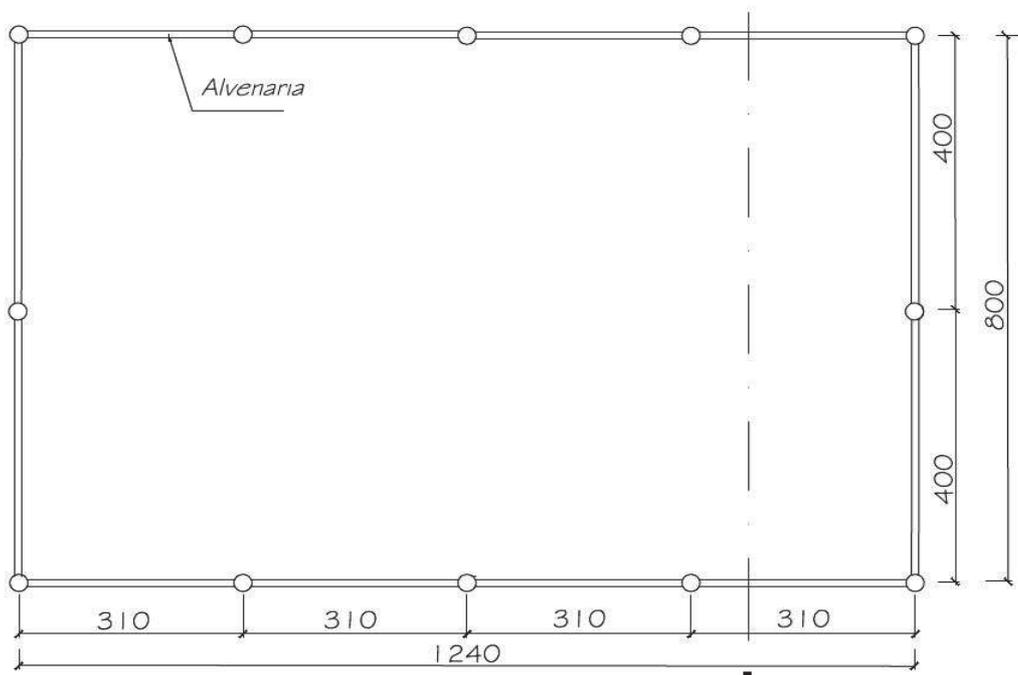
- Espécie: *Astronium leicontei*
- Diâmetro do parafuso (\emptyset): 1/2"
- No exercício n.º 5, usar cobrejunta metálica ($\epsilon = 1/4^*$)

Dimensionar as ligações cotando o espaçamento entre os parafusos (unidade das seções em centímetros).



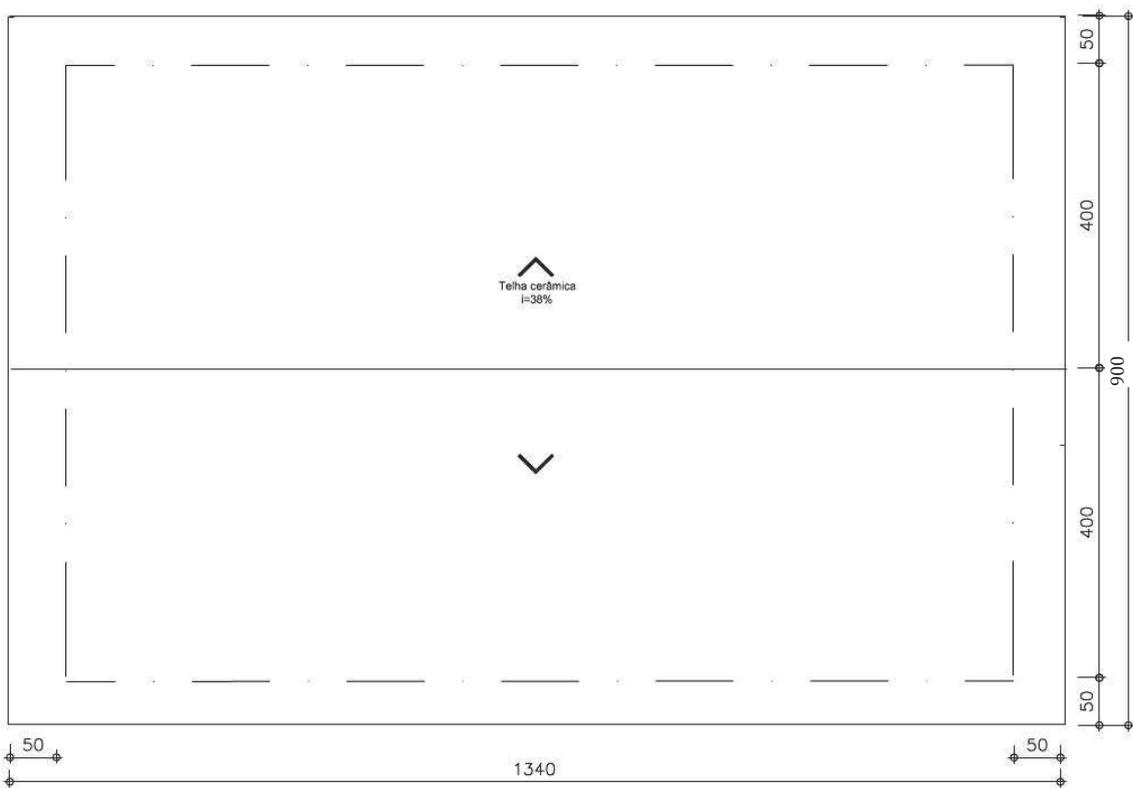
ANEXO 9.5. TRÊS ROTEIROS DE PROJETOS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA PARA UM PROJETO DE ARQUITETURA





Planta baixa esquemático pavimento superior
 Escala: 1/50
 Unidade: cm

AA



Planta esquemático da cobertura

Escala: 1/50

Unidade: cm

ROTEIRO 1

ESTRUTURA DE COBERTURA COM TRELIÇA TIPO TESOURA

ESPÉCIES DE MADEIRAS:

- Estrutura: -----
- Piso: -----
- Pilares: *Eucalyptus citriodora* osmopressurizado – Eucalipto

OBS. NA MEMÓRIA DE CÁLCULO DEVE CONSTAR A NUMERAÇÃO DE TODOS OS ITENS DESTES ROTEIRO.

9.5.1. LANÇAMENTO DA ESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DO PISO DO PAVIMENTO SUPERIOR (3,0 pontos)

- pilares roliços osmopressurizados de *Eucalyptus citriodora* com diâmetro médio de 25 cm;
- estrutura com madeira serrada;
- especificação da madeira e armazenamento;
- OBS. A estrutura do piso térreo é de baldrame em concreto.

a) Lançamento das cargas nos barrotes de piso e dimensionamento.

- sobrecarga = 2 000N/m². - Considerar como carga permanente;
- piso com tábua corrida de 2x15 cm;
- peso próprio do piso: $D_{12\%} \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{espessura do piso (m)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}^2$;
- peso próprio do barrote: $D_v \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{área da seção transversal (m}^2\text{)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}$;
- barrotes de suporte de piso a cada 60 cm (usar seção 6x20 cm para determinar o peso próprio);
- carga uniformemente distribuída no barrote (q_b) = (Sobrecarga em N/m² + Peso próprio do piso em N/m²) x espaçamento entre barrotes + peso próprio do barrote = N/m;
- determinar a seção transversal necessária.

b) Cargas nas vigas de apoio dos barrotes e dimensionamento.

- distribuição das reações de apoio dos barrotes (R_b), por metro nas vigas: $R_B \text{ (N)} / \text{espaçamento entre barrotes (m)} = \text{N/m}$;
- usar seção 10x22 cm para determinar o peso próprio;
- fechamento com tijolo celular de 13 cm de espessura (densidade da parede = 800 kg/m³);
- peso próprio da parede = $D_{\text{parede}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{seção transversal da parede (m}^2\text{)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}$;
- carga uniformemente distribuída em N/m na viga de borda (q_{vb}) = ($R_b / \text{espaçamento entre barrotes}$) + Peso próprio da parede (N/m) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
- carga uniformemente distribuída em N/m na viga lateral (q_{vl}) = Peso próprio da parede (N/m) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
- carga uniformemente distribuída em N/m na viga central (q_{vc}) = ($2R_B / \text{espaçamento entre barrotes}$) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
- determinar a seção transversal necessária.

9.5.2. LANÇAMENTO DAS CARGAS DE COBERTURA (4,0 pontos)

- telha cerâmica (ANEXOS 9.8 e 9.9);
- inclinação do telhado de 38% com duas águas;
- desprezar a ação do vento (telha cerâmica sem fixação na estrutura de cobertura).

a) Dimensionamento dos caibros.

- peso próprio (PP) úmido da telha = 515 N/m² (Cerâmica Santa Bárbara);
- peso próprio (PP) das ripas (2,5x5,0 cm) = 40 N/m²;
- seção transversal do caibro é de 5x5 cm, espaçados de 95 cm;
- carga uniformemente distribuída (N/m) no caibro (q_c): (PP telhas em N/m² + PP ripas em N/m²) x espaçamento entre caibros + peso próprio do caibro;
- verificar se caibro 5x5 vence um beiral de 50 cm;
- determinação do vão livre dos caibros.

- transformação de carga inclinada em carga horizontal:

$$R_1 = q_c \cdot L \text{ (resultante da carga } q)$$

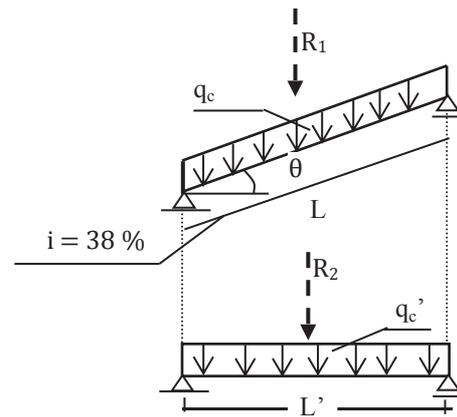
$$R_2 = q_c' \cdot L' \text{ (resultante da carga } q')$$

$$\text{Como } R_1 = R_2, \text{ temos que: } q_c \cdot L = q_c' \cdot L'$$

$$q_c' = q_c \cdot L/L'$$

$$\text{Como } L/L' = 1/\cos\theta$$

$$q_c' = \frac{q_c}{\cos\theta}$$



b) Definição da tesoura e dimensionamento das terças.

- vão livres de cálculo da terça = 310 cm;
- inclinação do telhado = 38 %;
- espaçamento entre tesouras = 310 cm
- usar seção 6 x 16 cm para determinar o peso próprio das terças
- carga uniformemente distribuída nas terças (q_t): (Reação de apoio dos caibros nas terças R_c / espaçamento entre caibros (m) + peso próprio da terça = N/m;
- como o vão do beiral é muito pequeno em relação ao vão da terça, não precisa verificar se a seção transversal determinada passa no beiral;
- determinar a seção transversal necessária.
- nas estruturas convencionais, pode-se desprezar a flexão oblíqua na terça.

c) Carga nos nós da tesoura

- adotar as seções abaixo para os elementos da tesoura.
Banzos superior e inferior = 2 peças de 6x16 cm
Diagonais = 6x16 cm
Montantes = 2 peças de 3x16 cm
- peso próprio da tesoura (G_T): $G_t = 24,5 (1 + 0,33L)$ em N/m², onde L é o vão livre da tesoura;
- transformação do peso próprio da tesoura em carga concentrada no nó: (G_t em N/m² x área de influência de cargas no nó em m²);
- carga concentrada no nó da tesoura em N: Reação de apoio das terças (R_t) x 2 (terças intermediárias) + peso próprio da tesoura.

9.5.3. CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DA TESOURA (3,0 pontos)

a) Cálculo dos esforços nas barras da treliça.

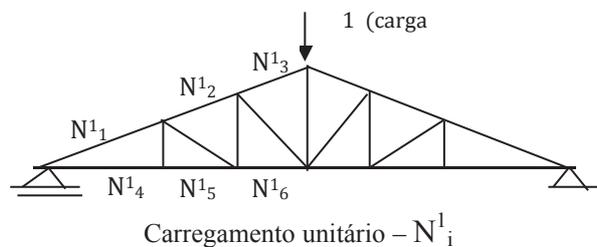
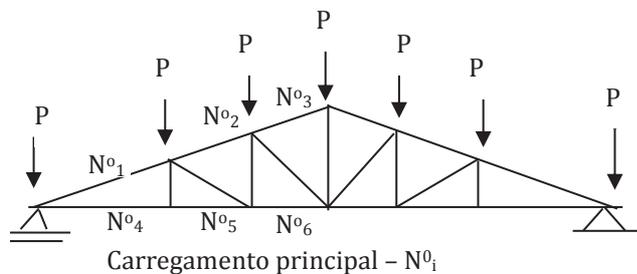
- equilíbrio de nó
- plano cremona;
- método de ritter ou;
- programa de computador (FTOOL).

b) Dimensionamento da tesoura - Teoria das treliças: todas as barras comprimidas ou tracionadas:

- verificar se as seções adotadas passam no dimensionamento (só verificação);
- o peso final da estrutura não deve ser maior que 10% do peso inicial, considerado no pré-dimensionamento;
- não dimensionar o contraventamento.

c) Verificação da flecha da tesoura.

- Utilizar o teorema da carga unitária ou a flecha fornecida pelo programa de computador:
- flecha admissível = $L / 350$;



$$- \text{Flecha atuante} = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^0 N_i^1 L_i}{EA_i} = \frac{N_1^0 N_1^1 L_1}{EA_1} + \frac{N_2^0 N_2^1 L_2}{EA_2} + \frac{N_3^0 N_3^1 L_3}{EA_3} + \dots + \frac{N_n^0 N_n^1 L_n}{EA_n}$$

i = Número de cada barra;

N^0_i = Esforços nas barras da treliça devido as cargas da cobertura;

N^1_i = Esforços nas barras da treliça devido a carga unitária;

L_i = Comprimento da barra i ;

E = Módulo de elasticidade;

A_i = Área da seção transversal da barra i .

Obs. Usar a simetria da tesoura.

9.5.4. VERIFICAÇÃO DOS PILARES (2,0 pontos)

- identificar o pilar mais solicitado e mais crítico para verificar – considerar a estrutura contraventada na altura do piso do primeiro pavimento;
- cargas nos pilares do pav. superior e carga nos pilares do pav. térreo;
- variáveis a serem consideradas na escolha do pilar: seção transversal, comprimento e carga.

9.5.5. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES (4,0 pontos)

Dimensionar todas as ligações. Representar na memória de cálculo, os nós (numerados) com as barras e ângulos.

9.5.6. QUANTIFICAR MADEIRA E TELHA (2,0 pontos)

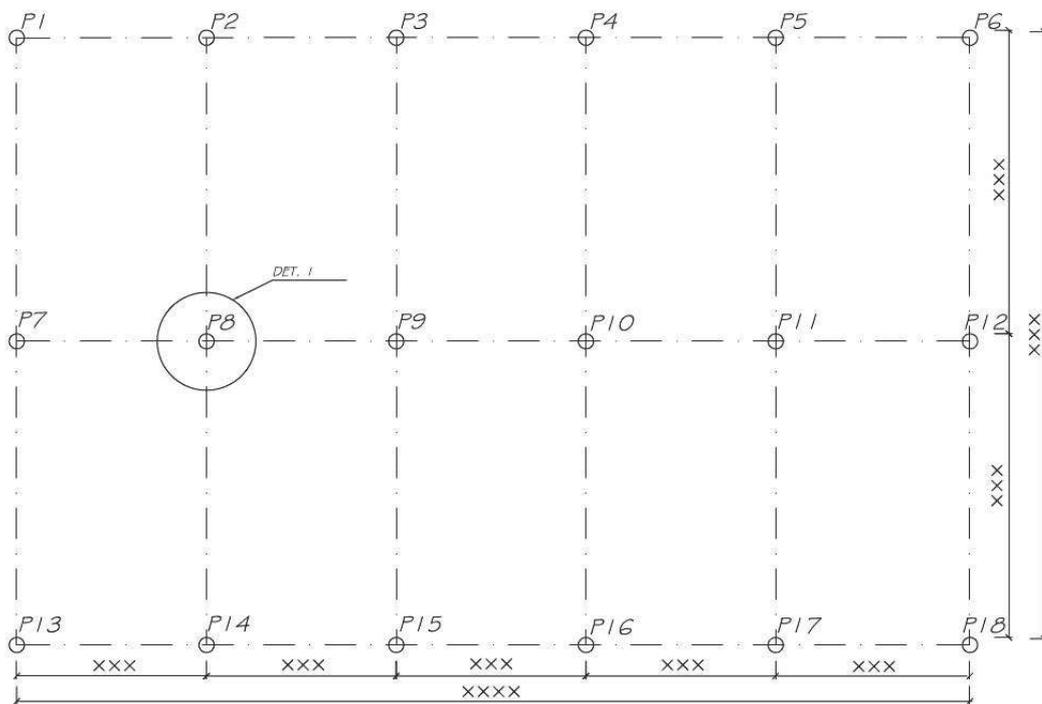
Ver na apostila a metodologia de quantificar o material

9.5.7. APRESENTAÇÃO DO PROJETO (12,0 pontos)

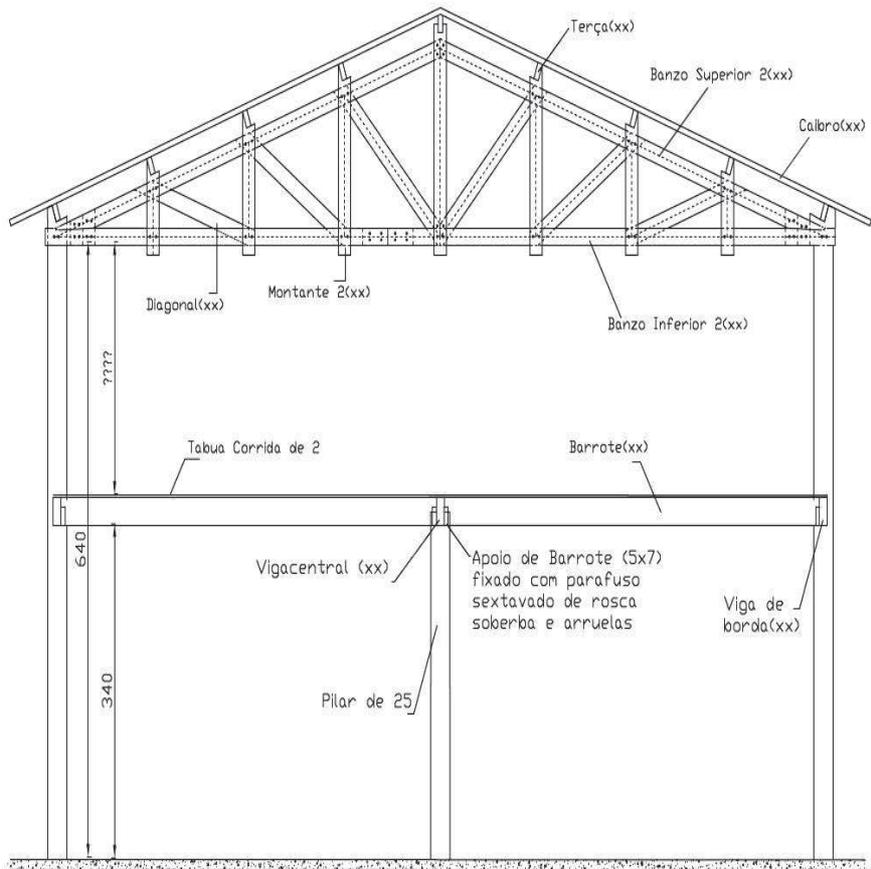
O projeto deve ser detalhado de forma a não existir dúvidas na sua execução, constando de:

- planta de locação dos pilares;
- planta da estrutura do piso do pavimento superior;
- planta da estrutura da cobertura;
- corte estrutural transversal;
- desenho da tesoura;
- detalhes de 1 a 8.

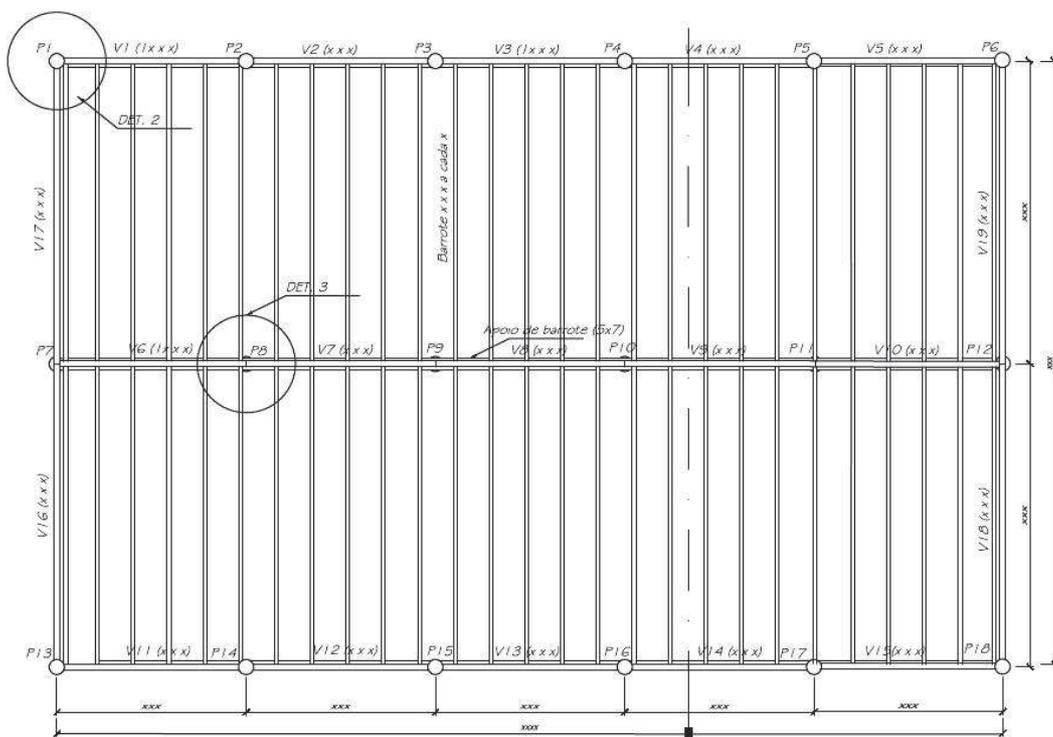
Segue um esquema de apresentação de uma estrutura de madeira.



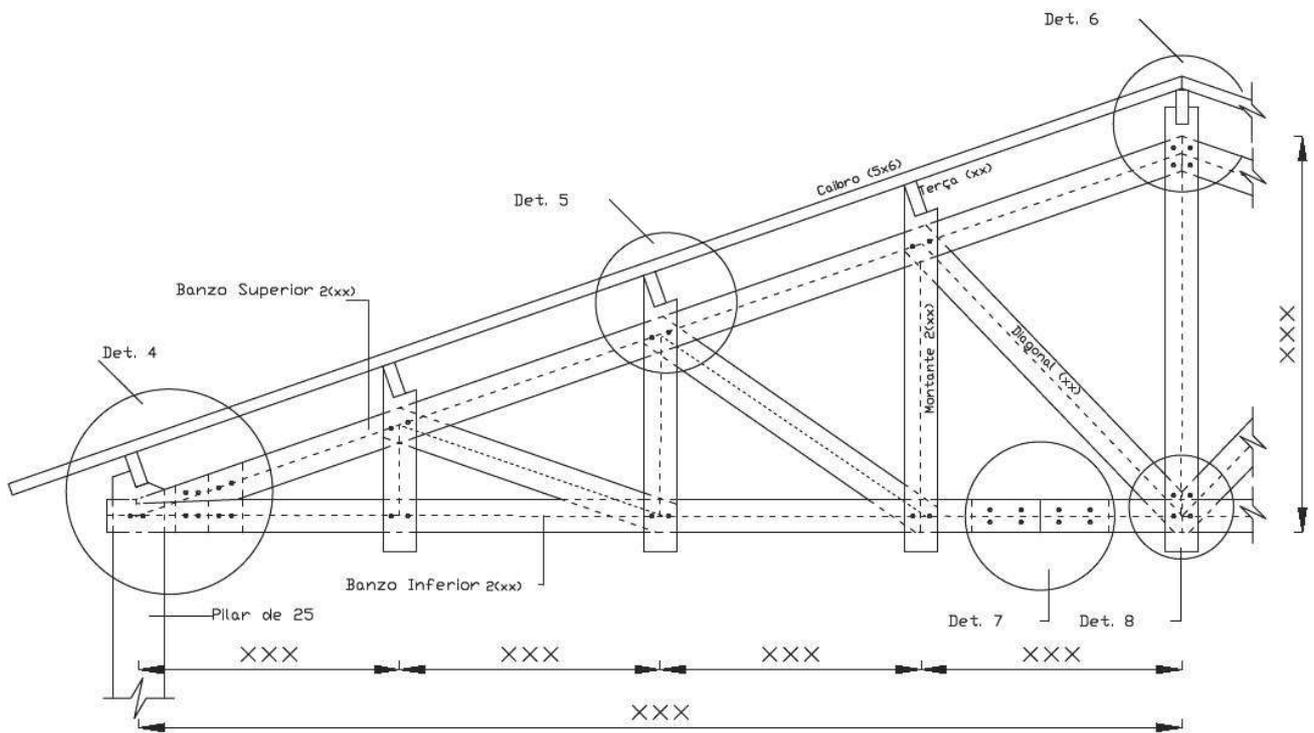
Planta de locação dos pilares
 Escala: 1/50
 Unidade: cm
 Diâmetro dos pilares: 25 cm



Corte transversal AA
 Escala: 1/50
 Unidade: cm



Planta da estrutura do pavimento superior
 Escala: 1/50
 Unidade: cm



Vista parcial da tesoura

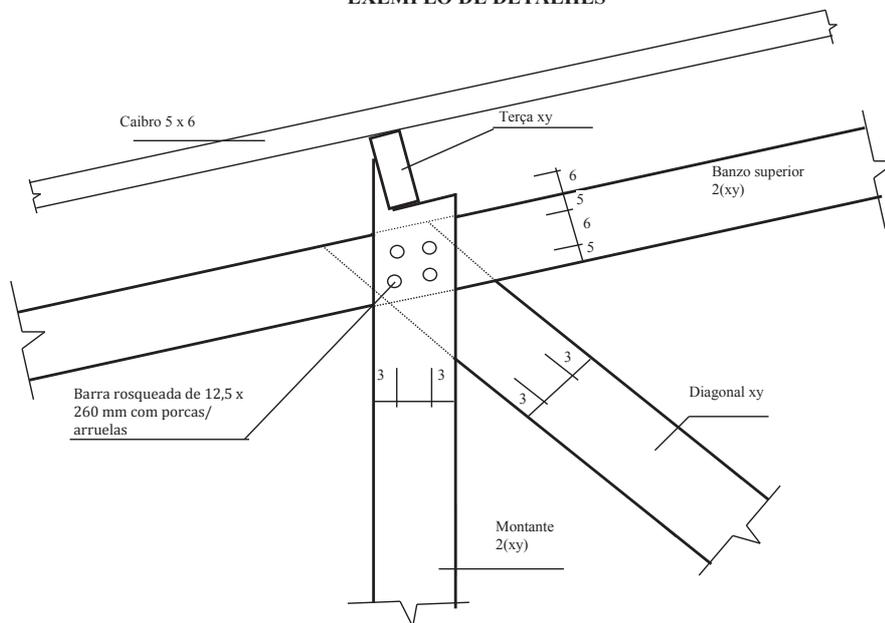
Escala: 1/25

Unidade: cm

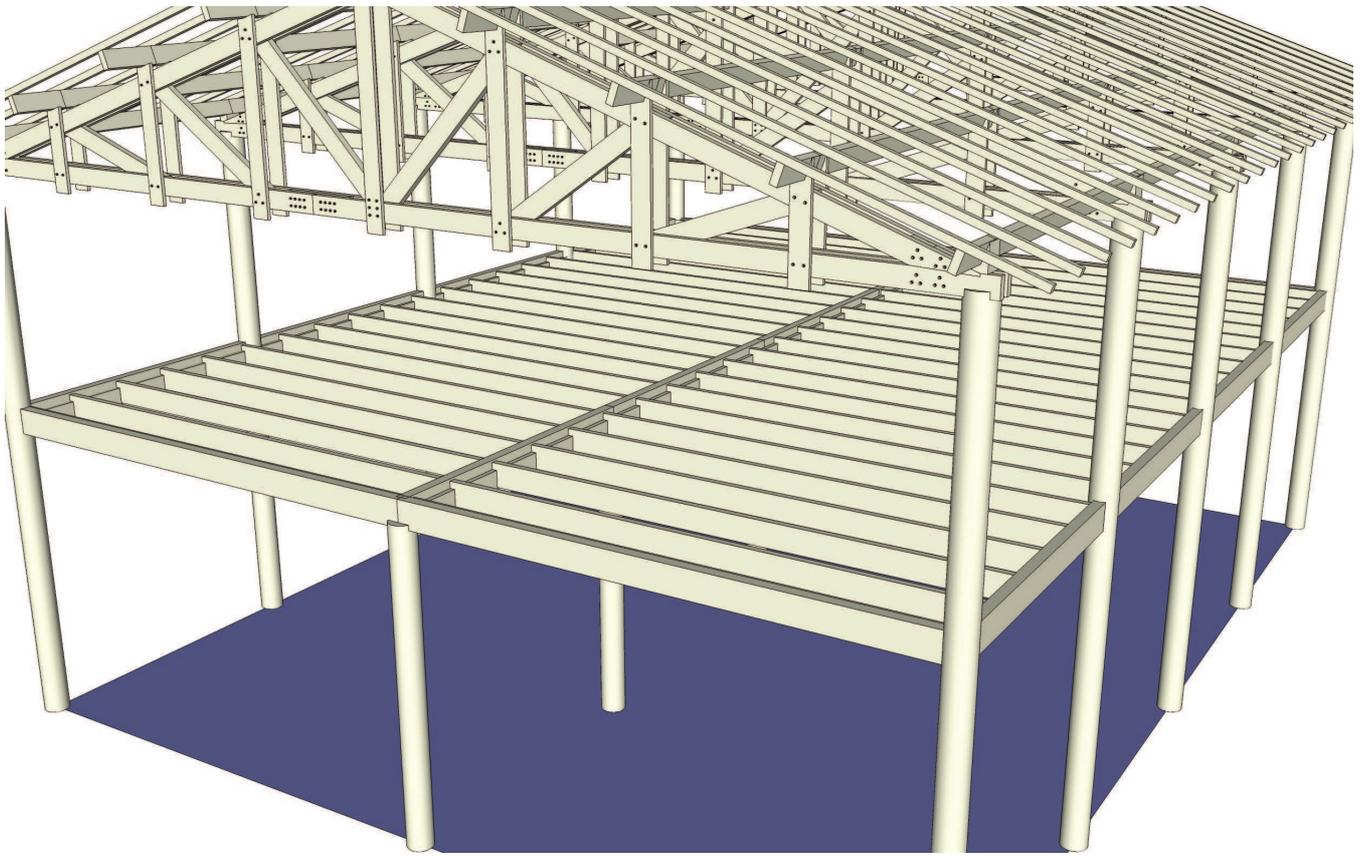
Parafusos de 12,5 mm galvanizados com porcas e arruelas

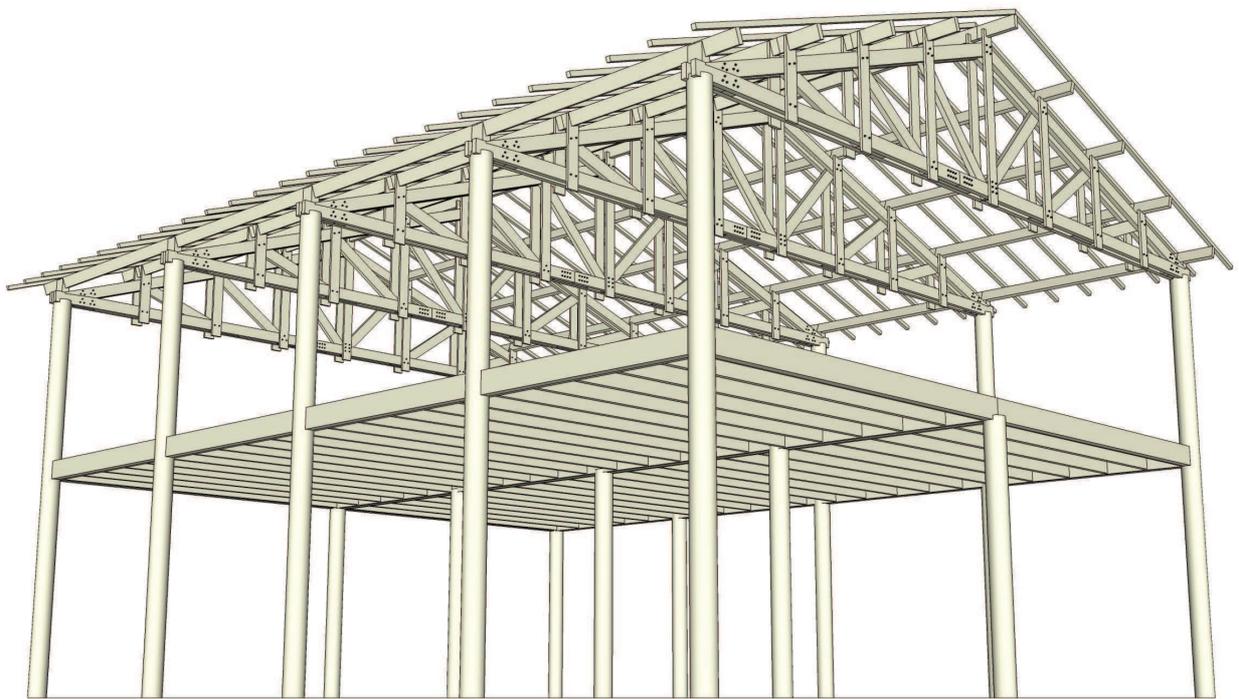
- Det. 1 – Fixação pilar no bloco (escala 1:20)
- Det. 2 - Detalhe piso do pavimento superior (vista em planta e dois cortes, escala 1:10)
- Det. 3 - Detalhe piso do pavimento superior (vista em planta e dois cortes, escala 1:10)
- Det. 4,5,6 e 8 - Detalhes de ligações na tesoura (uma vista, escala 1:10)
- Det. 7 - Detalhes de emenda dos banzos (duas vistas, escala 1:10)

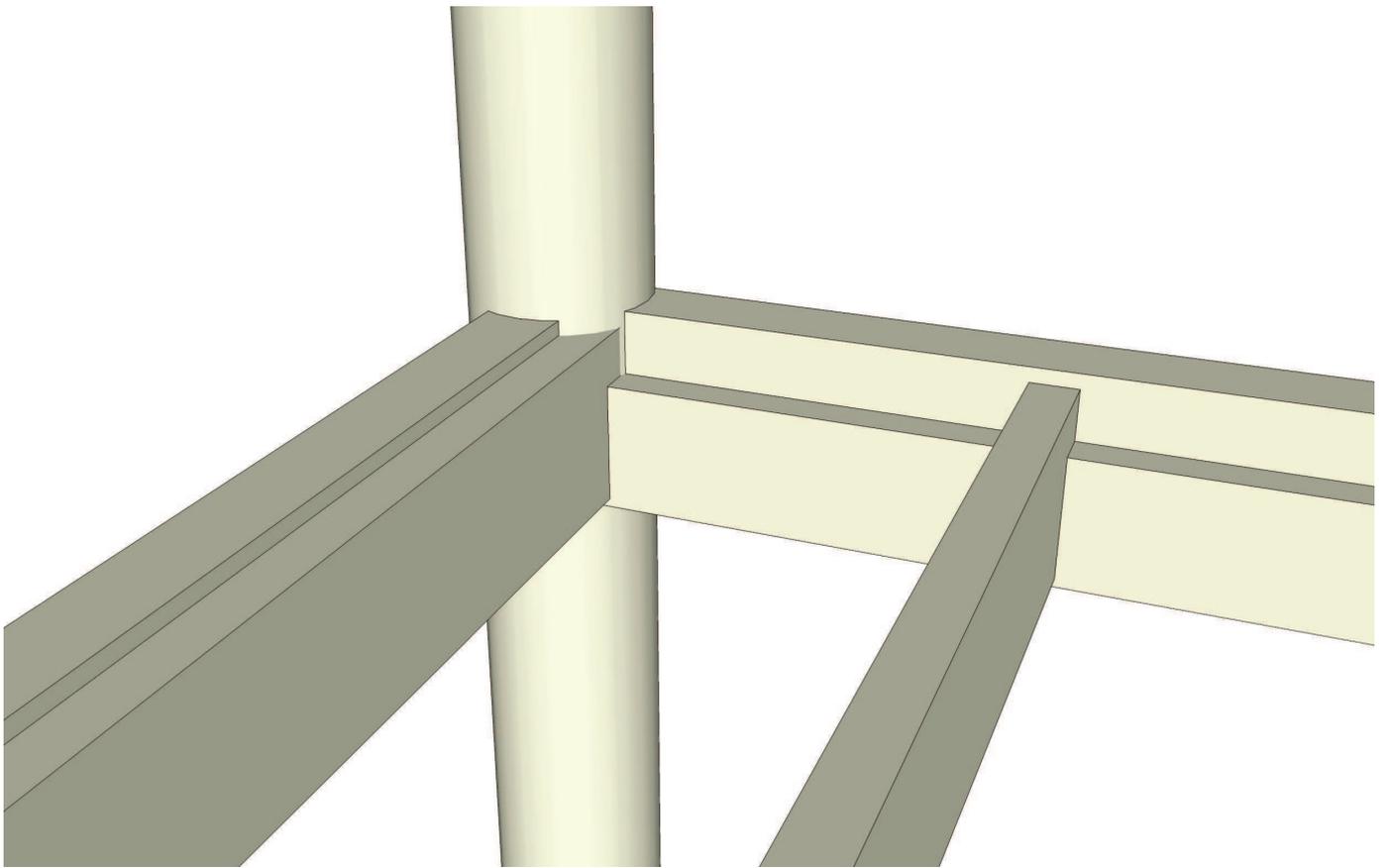
EXEMPLO DE DETALHES

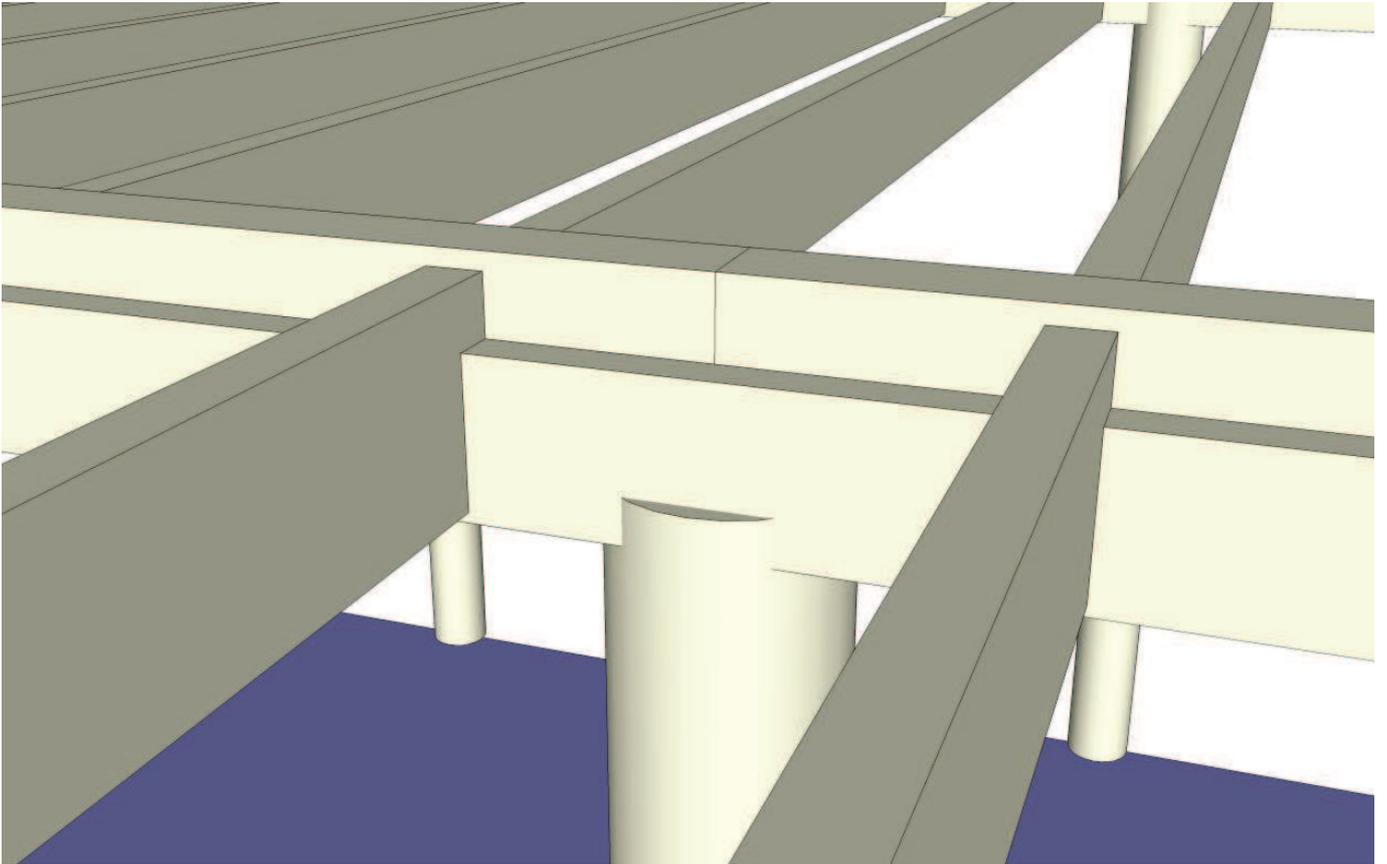


Detalhe xx - Ligação
banzo/montante/diagonal
Escala 1:20
Unidade em cm









ROTEIRO 2

ESTRUTURAS DE COBERTURA COM TRELIÇA TIPO BAZOS PARALELOS

ESPÉCIES DE MADEIRAS:

- Estrutura: -----
- Piso: -----
- Pilares: *Eucalyptus citriodora* osmopressurizado – Eucalipto

OBS. NA MEMÓRIA DE CÁLCULO
DEVE CONSTAR TODOS OS ITENS
DESTE ROTEIRO.

9.6.1. LANÇAMENTO DA ESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DO PISO DO PAVIMENTO SUPERIOR (3,0 pontos)

- pilares roliços osmopressurizados de *Eucalyptus citriodora* com diâmetro médio de 25 cm;
 - estrutura com madeira serrada;
 - especificação da madeira e armazenamento.
 - Obs. A estrutura do piso térreo é com baldrame de concreto
- a) Lançamento das cargas nos barrotes de piso e dimensionamento.
- sobrecarga = 2000N/m². - Considerar como carga permanente;
 - piso com tábuas corridas de 2x15 cm;
 - peso próprio do piso: $D_{12\%} \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{espessura do piso (m)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}^2$;
 - peso próprio do barrote: $D_v \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{área da seção transversal (m}^2\text{)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}$;
 - barrotes de suporte de piso a cada 60 cm (usar seção 6x20 cm para determinar o peso próprio);
 - carga uniformemente distribuída no barrote (q_b) = (Sobrecarga em N/m² + peso próprio do piso em N/m²) x espaçamento entre barrotes + peso próprio do barrote;
 - determinar a seção transversal necessária.
- b) Cargas nas vigas de apoio dos barrotes e dimensionamento.
- distribuição das reações de apoio dos barrotes (R_b), por metro nas vigas: $R_b \text{ (em N)} / \text{espaçamento entre barrotes (m)} = \text{N/m}$;
 - usar seção 10x22 cm para determinar o peso próprio;
 - fechamento com tijolo celular de 13 cm de espessura (densidade da parede = 800 kg/m³);
 - peso próprio da parede (q_p) = $D_{\text{parede}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{seção transversal da parede (m}^2\text{)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}$;
 - carga uniformemente distribuída em N/m na viga de borda (q_{vb}) = ($R_b / \text{espaçamento entre barrotes}$) + Peso próprio da parede (N/m) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
 - carga uniformemente distribuída em N/m na viga lateral (q_{vl}) = Peso próprio da parede (N/m) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
 - carga uniformemente distribuída em N/m na viga central (q_{vc}) = ($2R_b / \text{espaçamento entre barrotes}$) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
 - determinar a seção transversal necessária.

9.6.2. LANÇAMENTO DAS CARGAS DE COBERTURA (4,0 pontos)

- telha cerâmica (ANEXOS 9.8 e 9.9);
 - inclinação do telhado de 40 % com duas águas;
 - desprezar a ação do vento (telha cerâmica sem fixação na estrutura de cobertura).
- a) Dimensionamento do caibro.
- peso próprio (PP) úmido da telha = 515 N/m² (Cerâmica Santa Bárbara);
 - peso próprio (PP) das ripas (2,5x5,0 cm) = 40 N/m²;
 - usar caibro a cada 95 cm;
 - usar seção 6x20 cm para determinar o peso próprio dos caibros (N/m);
 - carga uniformemente distribuída (N/m) no caibro (q_c): (PP telhas em N/m² + PP ripas em N/m²) x espaçamento entre caibros + peso próprio dos caibros = N/m;
 - como o vão do beiral é muito pequeno em relação ao vão do caibro, não precisa verificar se a seção transversal determinada, passa no beiral;
 - determinar a seção transversal necessária.

- transformação de carga inclinada em carga horizontal:

$$R_1 = q_c \cdot L \text{ (resultante da carga } q_c)$$

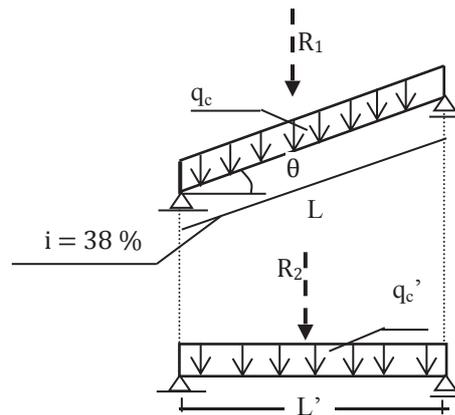
$$R_2 = q_c' \cdot L' \text{ (resultante da carga } q_c')$$

$$\text{Como } R_1 = R_2, \text{ temos que: } q_c \cdot L = q_c' \cdot L'$$

$$q_c' = q_c \cdot L/L'$$

$$\text{Como } L/L' = 1/\cos\theta$$

$$q_c' = \frac{q_c}{\cos\theta}$$



b) Dimensionamento da terça.

- vão livres de cálculo da terça = 310 cm;
- usar seção 6x16 cm para determinar o peso próprio da terça (N/m);
- carga uniformemente distribuída na terça (q_t): (Reação de apoio interna dos caibros (R_c) em N na terça + R_{cb} do beiral do caibro) / espaçamento entre caibros (m) + peso próprio da terça;
- como o vão do beiral é muito pequeno em relação ao vão da terça, não precisa verificar se a seção transversal determinada passa no beiral;
- determinar a seção transversal necessária;

c) Cargas nos nós da treliça.

- adotar as seções abaixo para os elementos da tesoura:
Banzos superior e inferior = 2 peças de 6x20 cm
Diagonal = 6x16 cm
Montante = 2 peças de 3x16 cm
- altura de eixo da treliça = 1,20 m;
- peso próprio da treliça (G_t): $G_t = 24,5 (1 + 0,33L)$ em N/m², onde L é o vão livre da treliça;
- transformação do peso próprio da tesoura em carga concentrada no nó: (G_T em N/m² x área de influência de cargas no nó em m²);
- carga concentrada no nó da tesoura em N: Reação do caibro (R_c) x 2 + peso próprio da tesoura.

9.6.3. CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DA TRELIÇA (3,0 pontos)

a) Cálculo dos esforços nas barras da treliça.

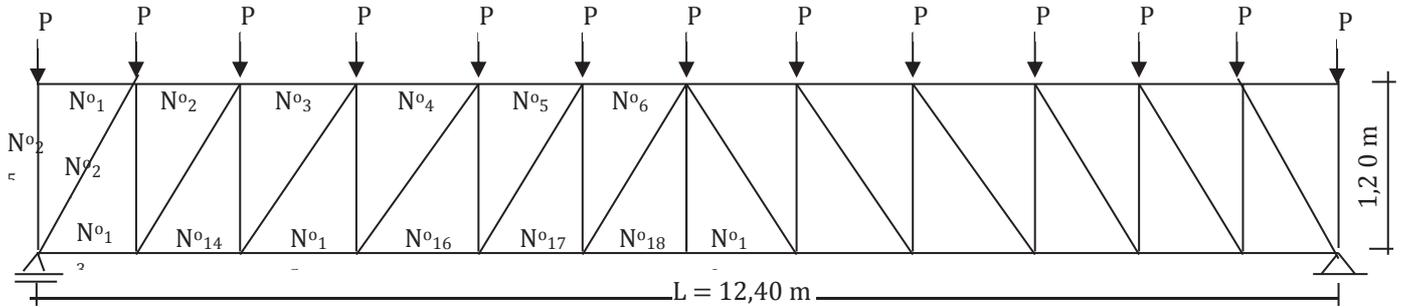
- equilíbrio de nós;
- plano Cremona;
- método de Ritter ou;
- programa de computador (FTOOL)

b) Dimensionamento da treliça.

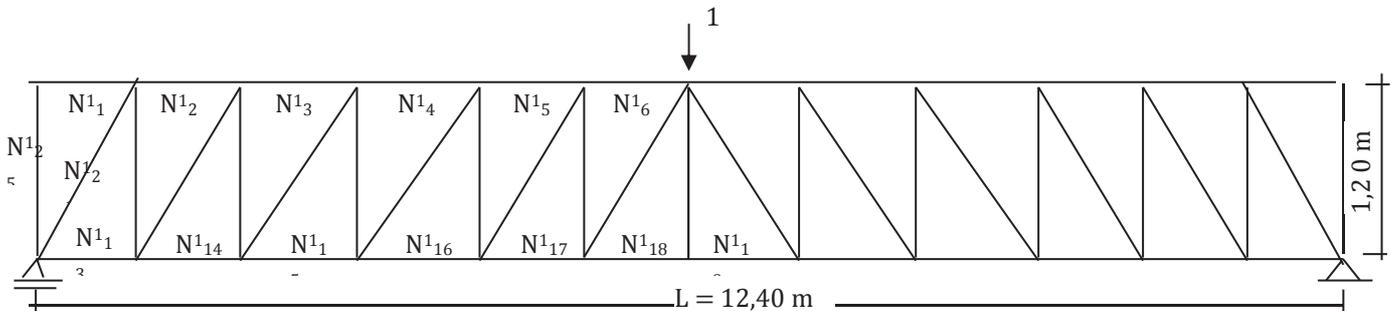
- teoria das treliças: todas as barras são comprimidas ou tracionadas;
- verificar se as seções adotadas passam no dimensionamento (só verificação);
- o peso final da estrutura não deve ser maior que 10% do peso inicial, considerado no pré-dimensionamento. Não dimensionar o contraventamento.

c) Verificação da flecha da treliça.

- Utilizar o teorema da carga unitária ou a flecha fornecida pelo programa de computador;
- Flecha admissível = $L/350$



Carregamento principal - N^0_i



Carregamento unitário - N^1_i

$$- \text{Flecha atuante} = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^0 N_i^1 L_i}{EA_i} = \frac{N_1^0 N_1^1 L_1}{EA_1} + \frac{N_2^0 N_2^1 L_2}{EA_2} + \frac{N_3^0 N_3^1 L_3}{EA_3} + \dots + \frac{N_n^0 N_n^1 L_n}{EA_n}$$

i = Número de cada barra;

N_i^0 = Esforços nas barras da treliça devido às cargas da cobertura;

N_i^1 = Esforços nas barras da treliça devido à carga unitária;

L_i = Comprimento da barra i ;

E = Módulo de elasticidade;

A_i = Área da seção transversal da barra i .

Obs. Usar a simetria da tesoura.

9.6.4. VERIFICAÇÃO DOS PILARES (2,0 pontos)

- identificar o pilar mais solicitado e mais crítico para verificar – considerar a estrutura contraventada na altura do piso do primeiro pavimento;
- cargas nos pilares do pav. superior e carga nos pilares do pav. térreo.
- variáveis a serem consideradas na escolha do pilar: seção transversal, comprimento e carga.

9.6.5. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES (4,0 pontos)

Dimensionar todas as ligações. Representar na memória de cálculo, os nós (numerados) com as barras e ângulos.

9.6.6. QUANTIFICAR A MADEIRA E TELHA (2,0 pontos)

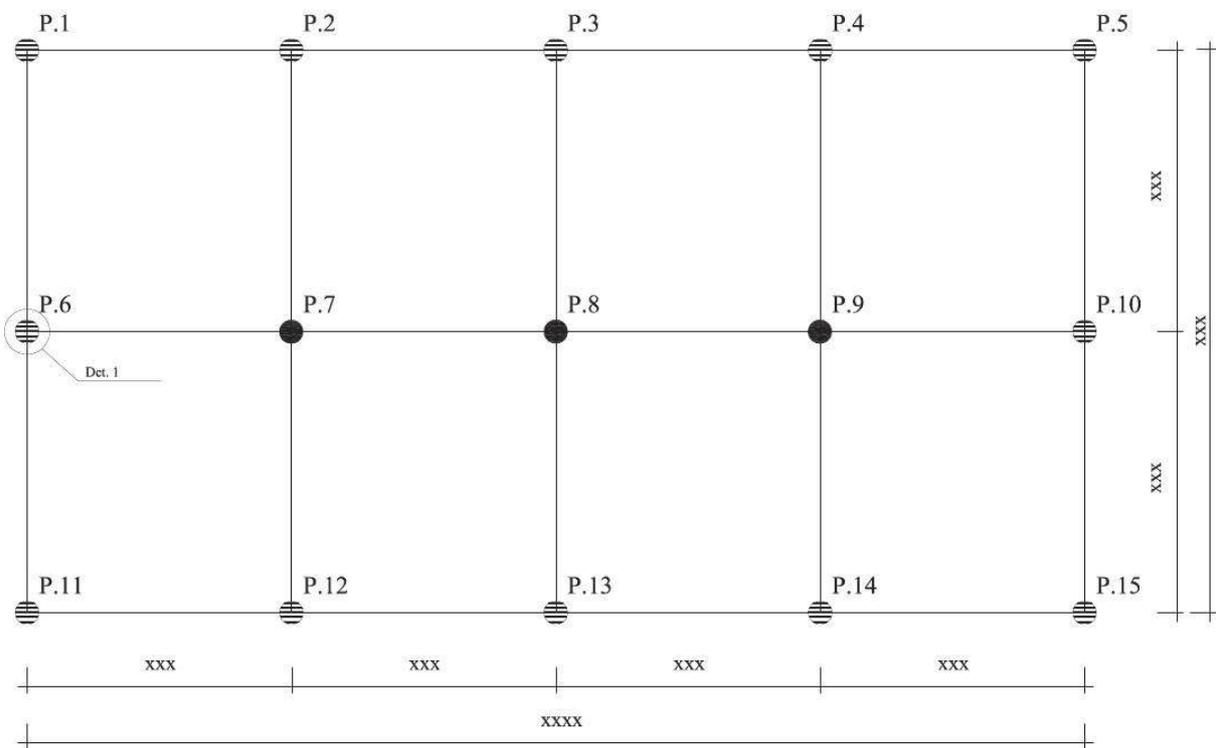
Ver metodologia de quantificar o material na apostila

9.6.7. APRESENTAÇÃO DO PROJETO (12,0 pontos)

O projeto deve ser detalhado de forma a não existir dúvidas na sua execução, constando de:

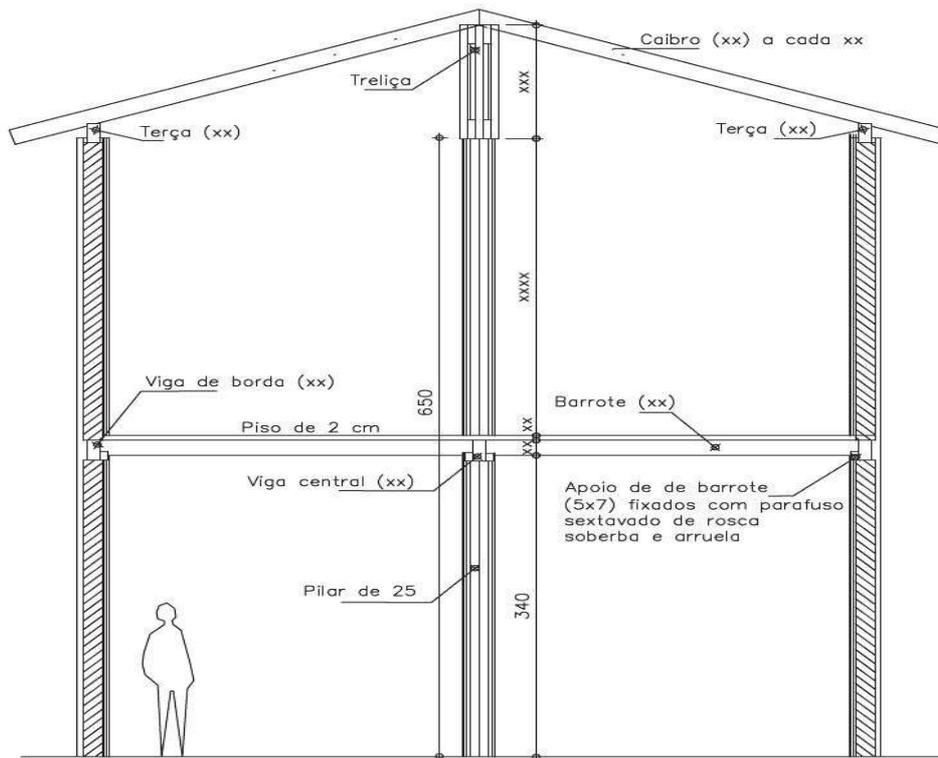
- planta de locação dos pilares;
- planta da estrutura do piso do pavimento superior;
- planta da estrutura da cobertura;
- corte estrutural transversal;
- desenho da tesoura;
- detalhes de 1 a 8.

Segue um esquema de apresentação de uma estrutura de madeira:

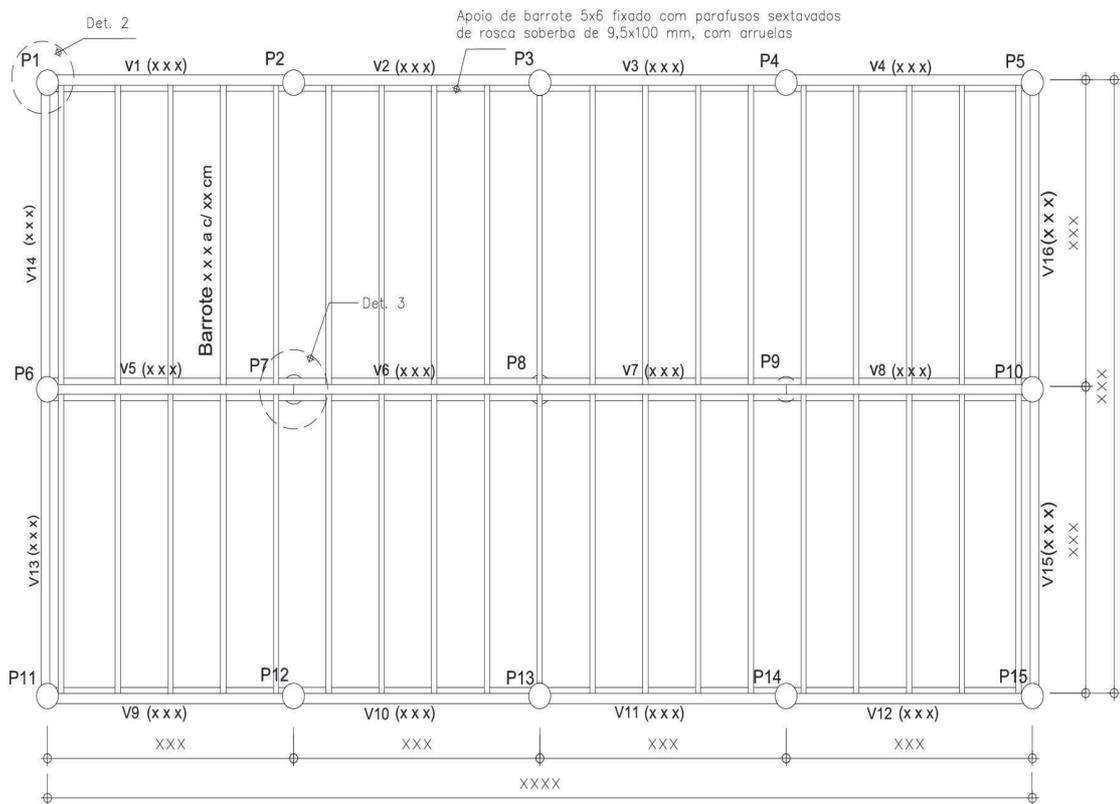


Planta de locação dos pilares
 Escala: 1/50
 Unidade: cm
 Diâmetro dos pilares: 25 cm

- Legenda:
-  Pilar que continua
 -  Pilar que morre



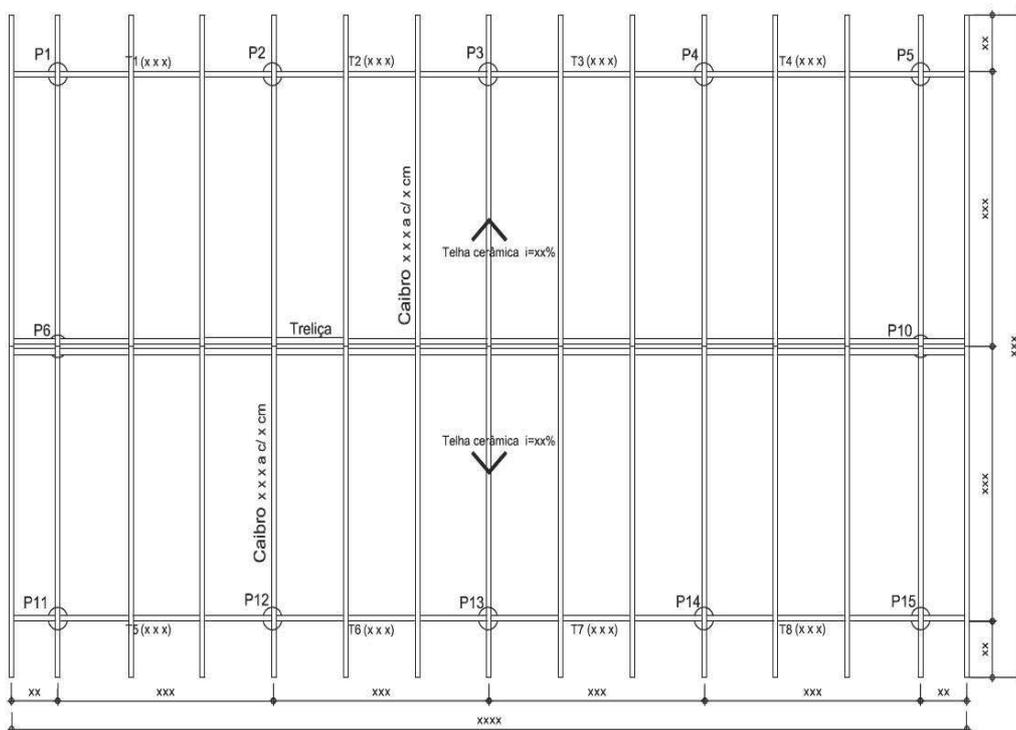
CORTE AA
 Escala: 1/50
 Unidade: cm



Estrutura do piso do pavimento superior

Escala: 1/50

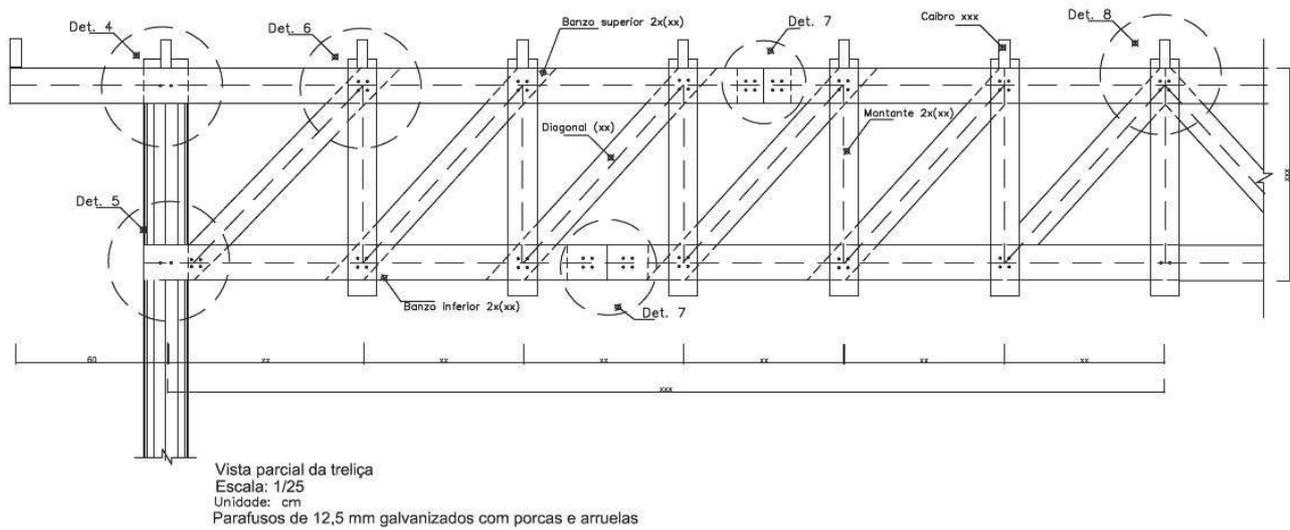
Unidade: cm



Estrutura da cobertura

Escala: 1/50

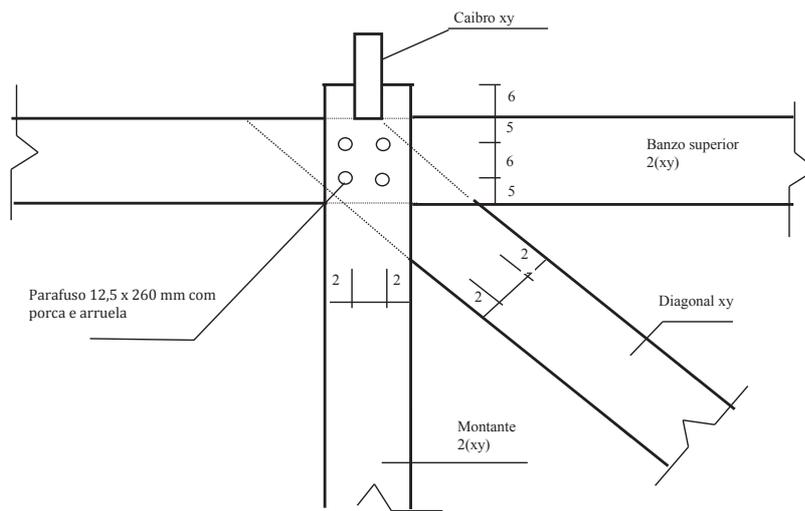
Unidade: cm



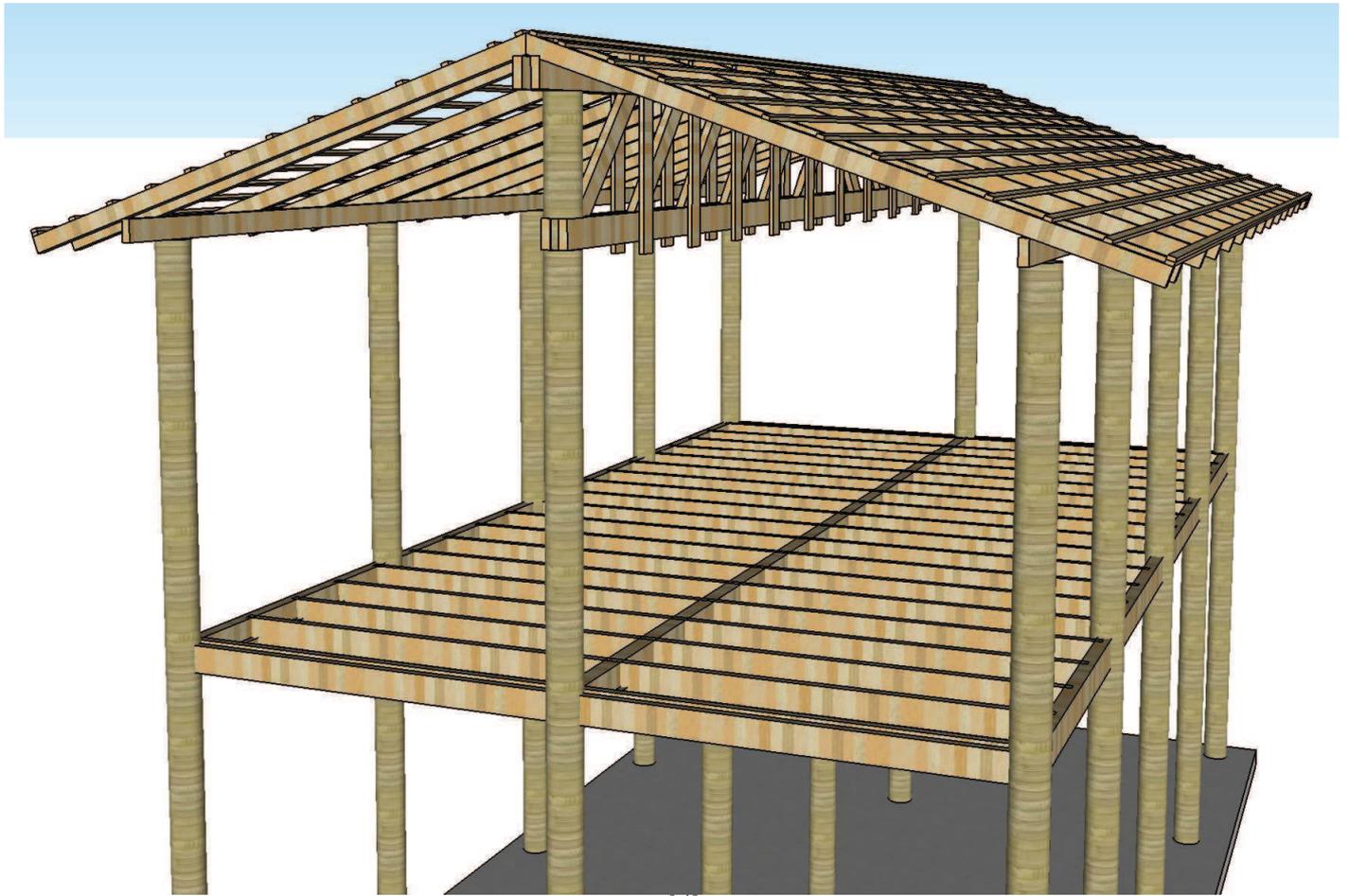
- Det. 1 – Fixação pilar no bloco (escala 1:20)
- Det. 2 - Detalhe piso do pavimento superior (vista em planta e dois cortes, escala 1:10)

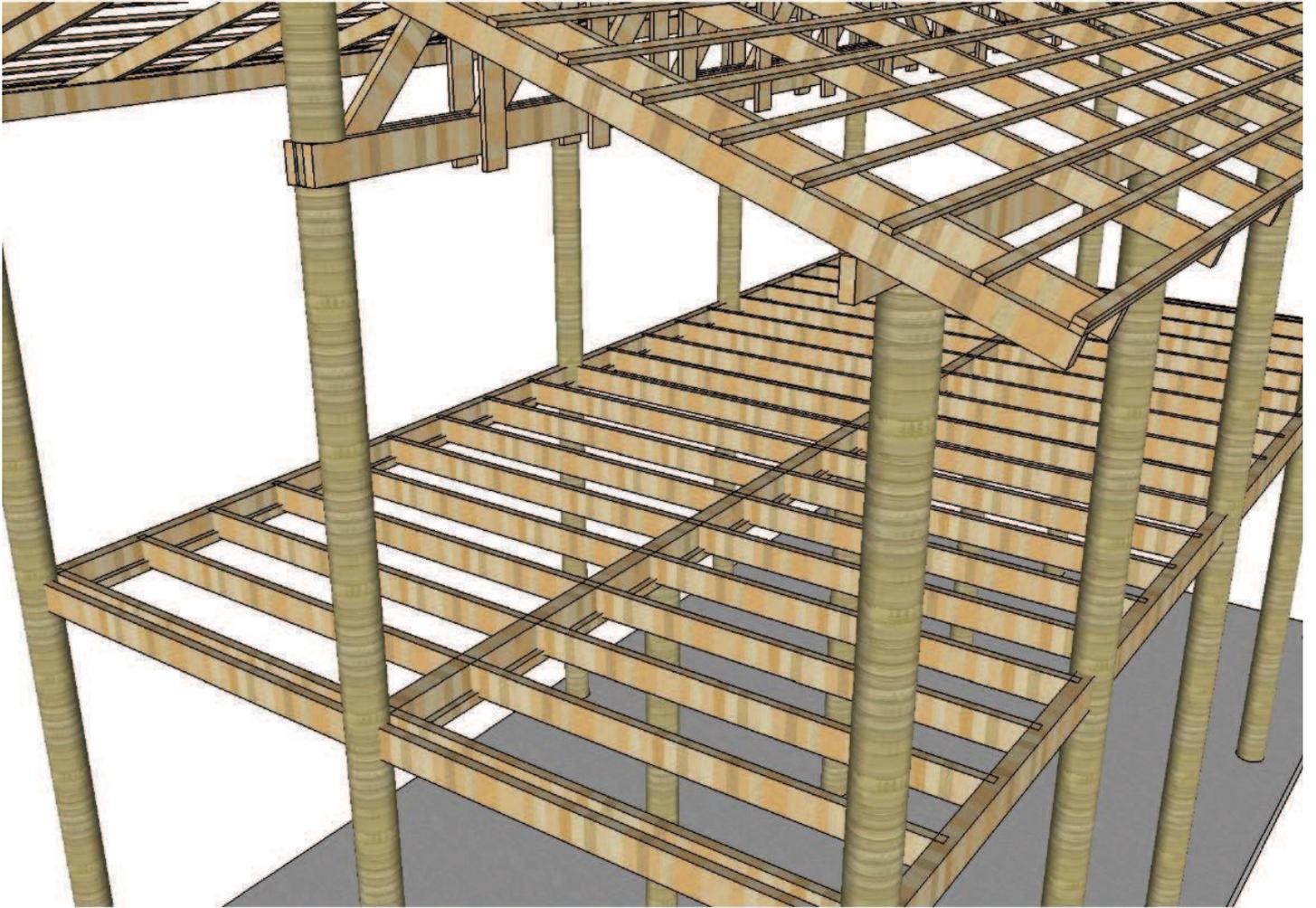
- Det. 3 - Detalhe piso do pavimento superior (vista em planta e dois cortes, escala 1:10)
- Det. 4 e 5 - Detalhes de ligação da treliça no pilar (duas vistas, escala 1:20)
- Det. 6 e 8 - Detalhes de ligações na treliça (uma vista, escala 1:10)
- Det. 7 - Detalhes de emenda dos banzos (duas vistas, escala 1:10)

EXEMPLO DE DETALHES



Detalhe xx - Ligação banzo/montante/diagonal
Escala 1:20
Unidade em cm





ROTEIRO 3

ESTRUTURAS DE COBERTURA DE CAIBROS COM TRAVESSAS

ESPÉCIES DE MADEIRAS:

- Estrutura: -----
- Piso: -----
- Pilares: *Eucalyptus citriodora* osmopressurizado – Eucalipto

OBS. NA MEMÓRIA DE CÁLCULO DEVE CONSTAR TODOS OS ITENS DESTES ROTEIRO.

9.7.1. LANÇAMENTO DA ESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DO PISO DO PAVIMENTO SUPERIOR (4,0 pontos)

- pilares roliços osmopressurizados de *Eucalyptus citriodora* com diâmetro médio de 25 cm;
- estrutura com madeira serrada;
- especificação da madeira e armazenamento;
- a estrutura do piso térreo é com baldrame de concreto.

a) Lançamento das cargas nos barrotes de piso e dimensionamento.

- sobrecarga = 2 000N/m². - Considerar como carga permanente;
- piso com tábua corrida de 2x15 cm;
- peso próprio do piso: $D_{12\%} \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{espessura do piso (m)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}^2$;
- peso próprio do barrote: $D_v \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{área da seção transversal (m}^2\text{)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}$;
- barrotes de suporte de piso a cada 60 cm (usar seção 6x20 cm para determinar o peso próprio);
- Carga uniformemente distribuída no barrote (q_b) = (Sobrecarga em N/m² + peso próprio do piso em N/m²) x espaçamento entre barrotes + peso próprio do barrote;
- determinar a seção transversal necessária.

b) Cargas nas vigas de apoio dos barrotes e dimensionamento.

- distribuição das reações de apoio dos barrotes (R_b), por metro nas vigas: $R_b \text{ (em N)} / \text{espaçamento entre barrotes (m)} = \text{N/m}$;
- usar seção 10x22 cm para determinar o peso próprio;
- fechamento com tijolo celular de 13 cm de espessura (densidade da parede = 800 kg/m³);
- peso próprio da parede (q_p) = $D_{\text{parede}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \times \text{seção transversal da parede (m}^2\text{)} \times 10 \text{ N} = \text{N/m}$;
- carga uniformemente distribuída em N/m na viga de borda (q_{vb}) = ($R_b / \text{espaçamento entre barrotes}$) + Peso próprio da parede (N/m) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
- carga uniformemente distribuída em N/m na viga lateral (q_{vl}) = Peso próprio da parede (N/m) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
- carga uniformemente distribuída em N/m na viga central (q_{vc}) = ($2R_b / \text{espaçamento entre barrotes}$) + Peso próprio da viga (N/m) = N/m;
- determinar a seção transversal necessária.

9.7.2. LANÇAMENTO DAS CARGAS NOS CAIBROS (3,0 pontos)

- telha cerâmica (ANEXO 9.8 e ANEXO 9.9)
- inclinação do telhado de 40% com duas águas;
- beiral de 50 cm;
- desprezar a ação do vento (telha cerâmica sem fixação na estrutura de cobertura).
- cargas: (Fig. 1):
 - peso próprio (PP) úmido da telha = 515 N/m² (Cerâmica Santa Bárbara);
 - peso próprio (PP) das ripas (2,5x5,0 cm) = 40 N/m²;
 - usar caibro a cada 85 cm;
 - usar seção 6x20 cm para determinar o peso próprio dos caibros (N/m);
 - utilizar duas travessas de 4x20 cm, fixadas nos caibros (Peso próprio da travessa = densidade verde x volume/vão total da edificação);
 - carga uniformemente distribuída (N/m) no caibro (q_c): ((PP telhas em N/m² + PP ripas em N/m²) x espaçamento entre caibros) + peso próprio dos caibros + peso próprio das travessas = N/m;
 - como o vão do beiral (50 cm) é muito pequeno em relação ao vão do caibro, não precisa verificar se a seção transversal determinada, passa no beiral;

- transformação de carga inclinada em carga horizontal:

$$R_1 = q_c \cdot L \text{ (resultante da carga } q_c)$$

$$R_2 = q_c' \cdot L' \text{ (resultante da carga } q_c')$$

$$\text{Como } R_1 = R_2, \text{ temos que: } q_c \cdot L = q_c' \cdot L'$$

$$q_c' = q_c \cdot L/L'$$

$$\text{Como } L/L' = 1/\cos\theta$$

$$q_c' = \frac{q_c}{\cos\theta}$$

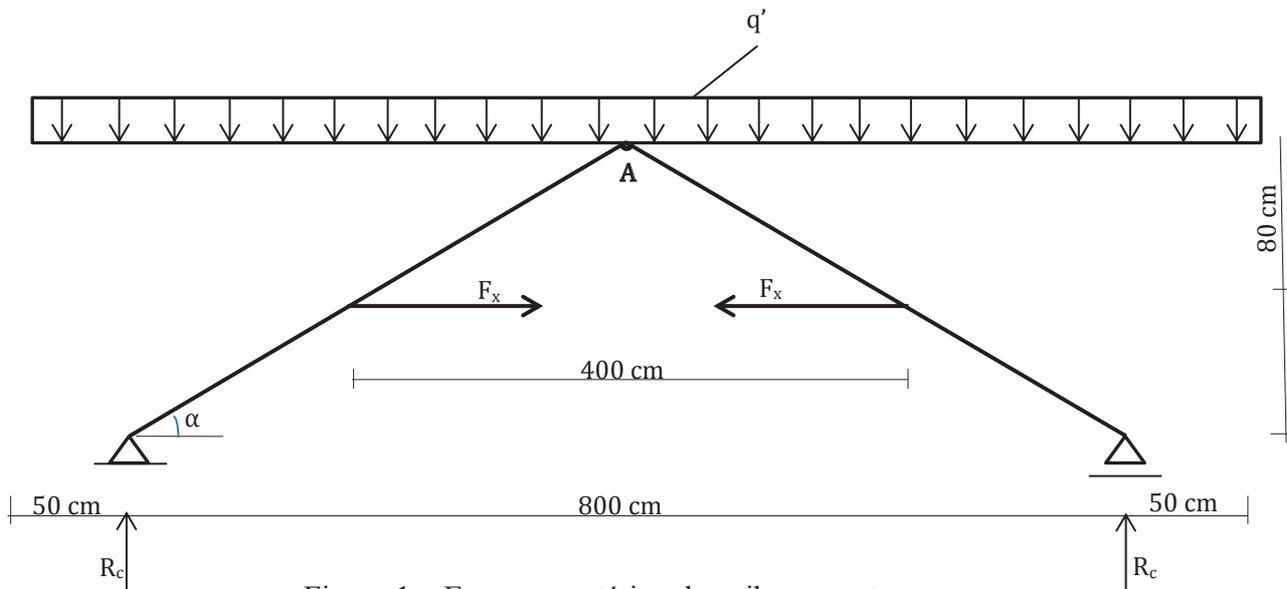
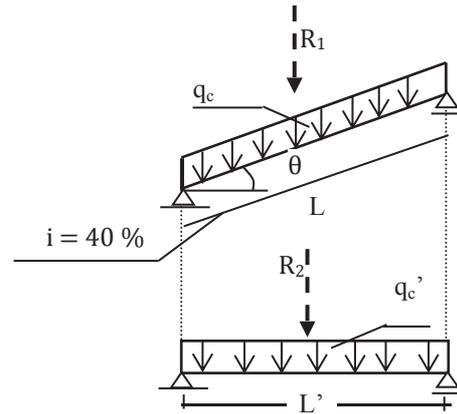


Figura 1 – Esquema estático do caibro com travessas

9.7.3. DIMENSIONAMENTO DA TERÇA. (2,0 pontos)

- vão livres de cálculo da terça = 3,10 m;
- usar seção 8x20 cm para determinar o peso próprio da terça (N/m);
- carga uniformemente distribuída na terça (q_t): (Reação de apoio do caibro (R_c)/ espaçamento entre caibros (m) + peso próprio da terça;
- como o vão do beiral é muito pequeno em relação ao vão da terça, não precisa verificar se a seção transversal determinada passa no beiral;
- determinar a seção transversal da terça.

9.7.4. CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DOS CAIBROS E TRAVESSAS (3,0 pontos)

- valor do esforço de tração (F_x) na travessa;

$$\sum M_A = 0$$

$$(4,0m \cdot R_c) - (q' \cdot (4,0m + \text{beiral})^2 / 2) - (0,80m \times F_x) = 0$$

- verificar a seção transversal da travessa na tração;
- verificar a seção transversal do caibro na flexão (Fig. 2).

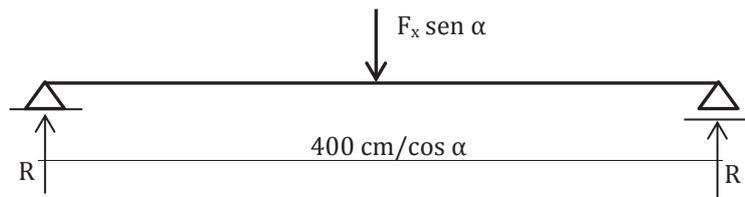


Figura 2 – Esquema estático do caibro

- o peso final da estrutura não deve ser maior que 10% do peso inicial, considerado no pré-dimensionamento;
- não dimensionar o contraventamento.

9.7.5. VERIFICAÇÃO DOS PILARES (2,0 pontos)

- Identificar o pilar mais solicitado e mais crítico para verificar – considerar a estrutura contraventada na altura do piso do primeiro pavimento;
- Cargas nos pilares do pavimento superior e carga nos pilares do térreo;
- Variáveis a serem consideradas na escolha do pilar: seção transversal, comprimento e carga.

9.7.6. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES (2,0 pontos)

- Dimensionar a ligação do caibro com a travessa.

9.7.7. QUANTIFICAR A MADEIRA E TELHA (2,0 pontos)

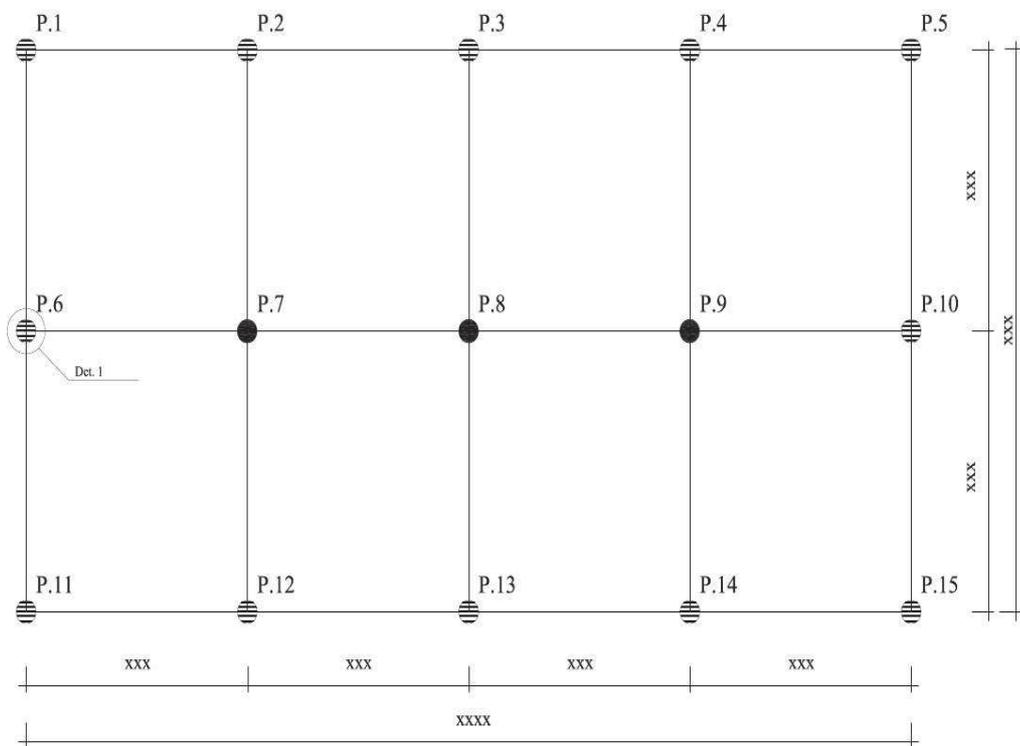
Ver na apostila a metodologia de quantificar o material

9.7.8. APRESENTAÇÃO DO PROJETO (12,0 pontos)

O projeto deve ser detalhado de forma a não existir dúvidas na sua execução, constando de:

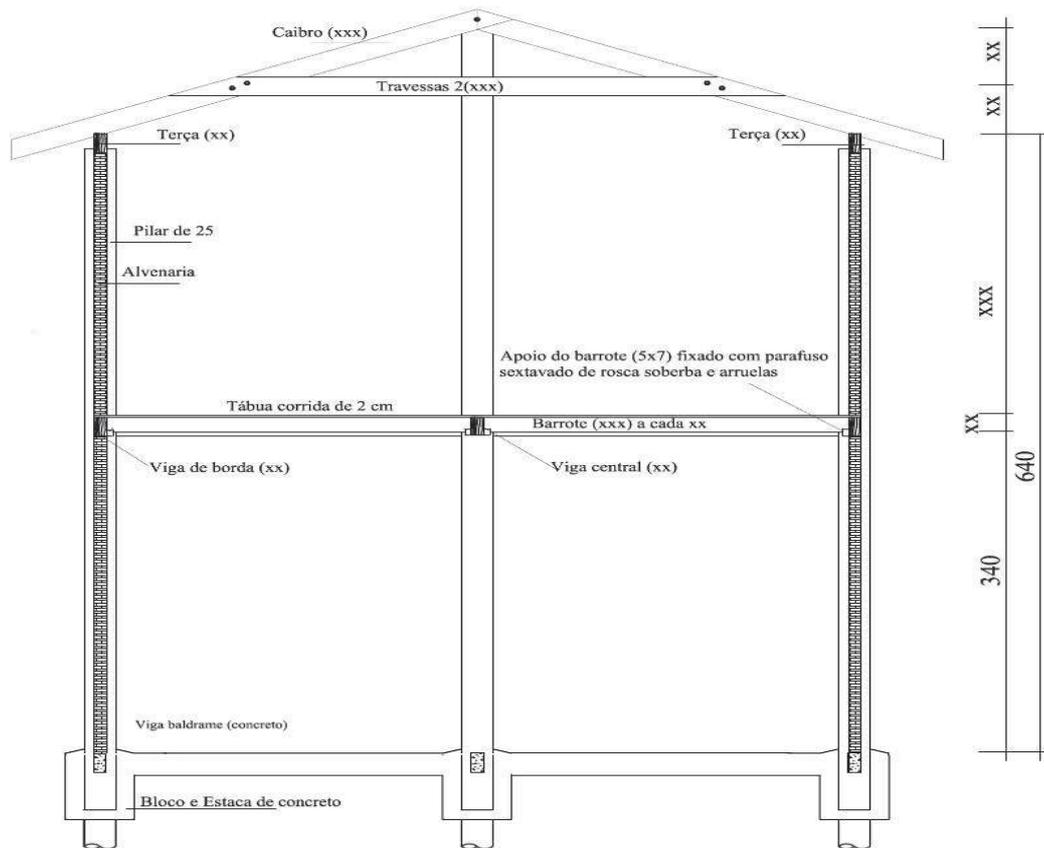
- planta de locação dos pilares;
- planta da estrutura do piso do pavimento superior;
- planta da estrutura da cobertura;
- corte estrutural transversal;
- desenho dos caibros com travessas;
- detalhes de 1 a 6.

Segue um esquema de apresentação de uma estrutura de madeira.

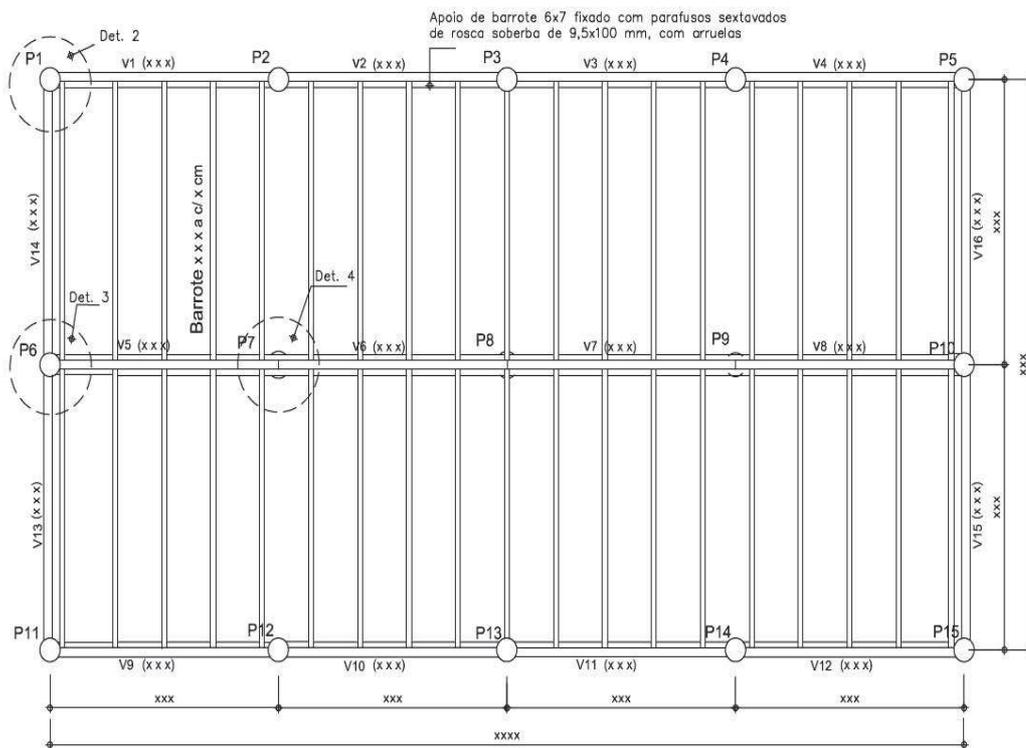


Planta de locação dos pilares
 Escala: 1/50
 Unidade: cm
 Diâmetro dos pilares: 25 cm

Legenda:
 Pilar que continua
 Pilar que morre



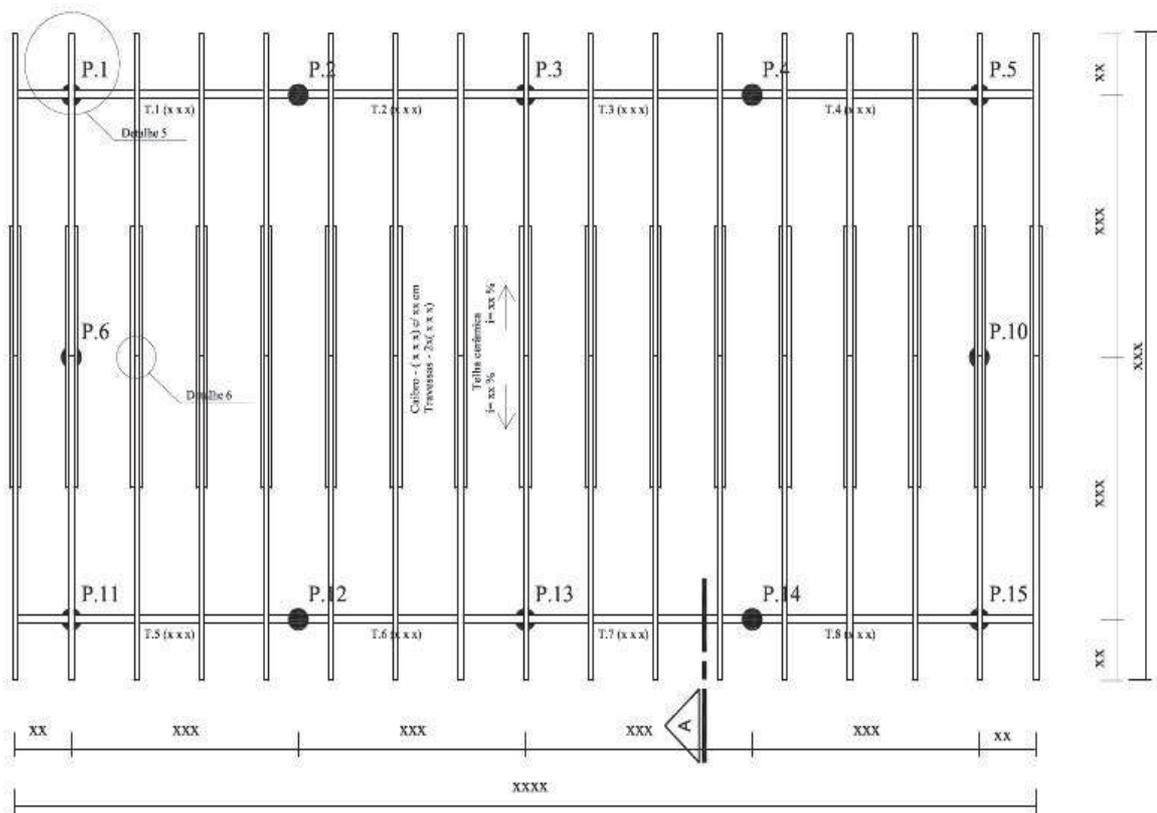
Corte AA
 Escala: 1/50
 Unidade: cm



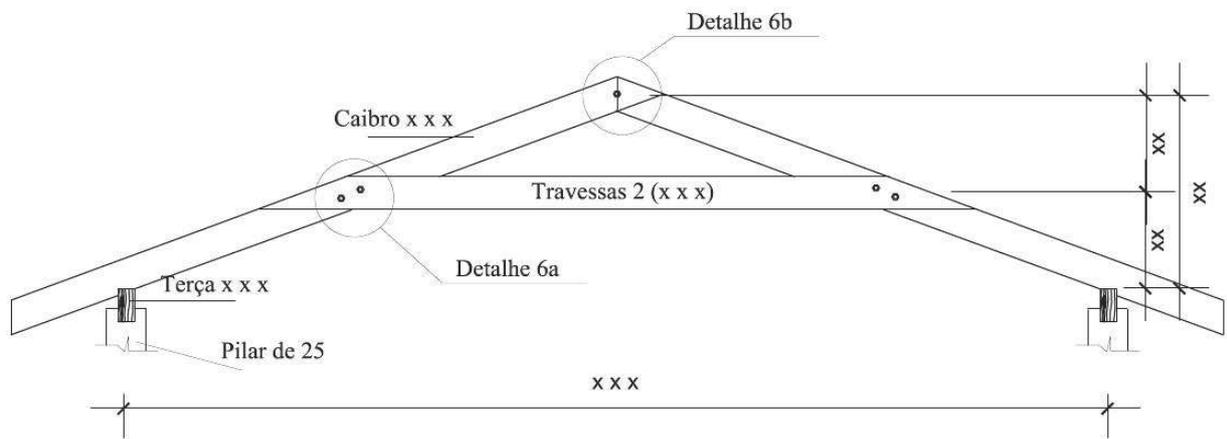
Estrutura do piso do pavimento superior

Escala: 1/50

Unidade: cm



Planta da estrutura da cobertura
 Escala: 1/50
 Unidade: cm

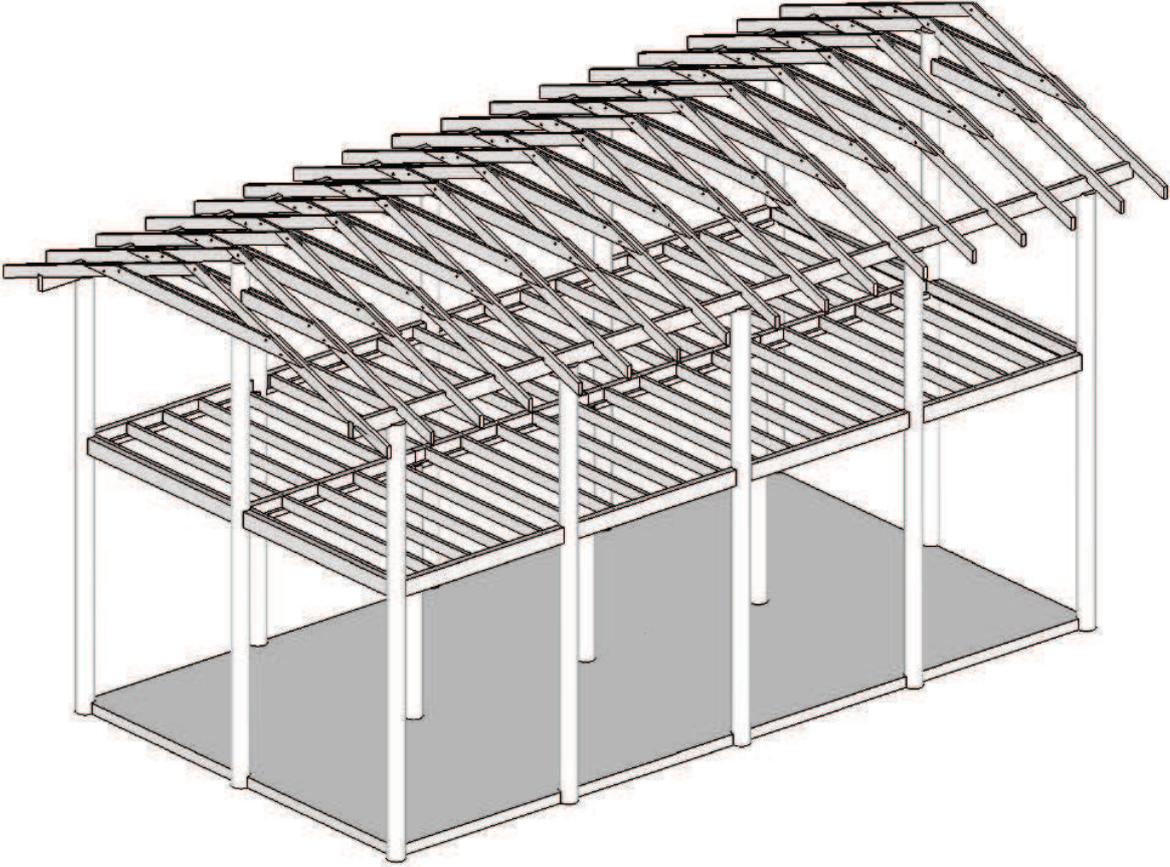


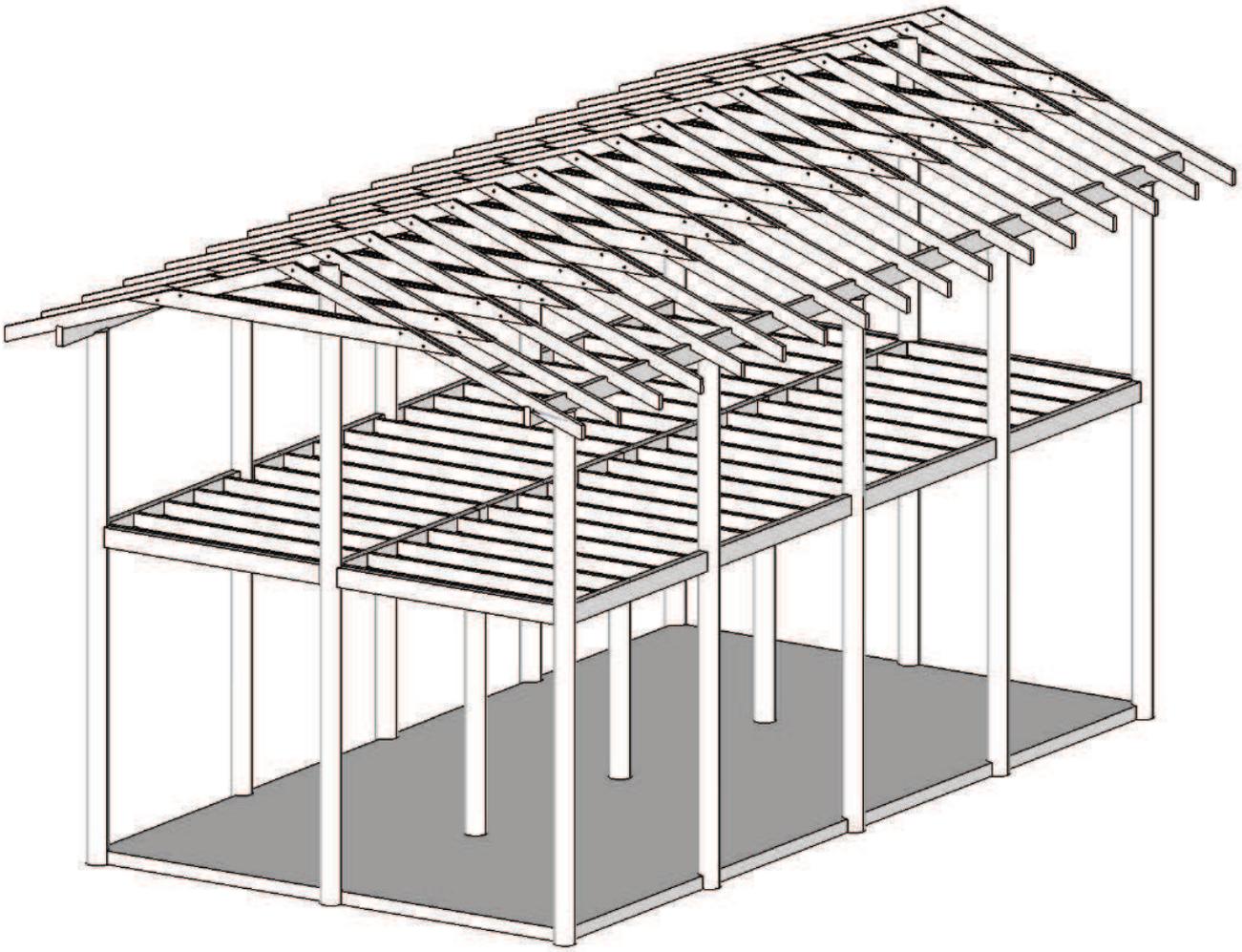
Vista da travessa com caibro

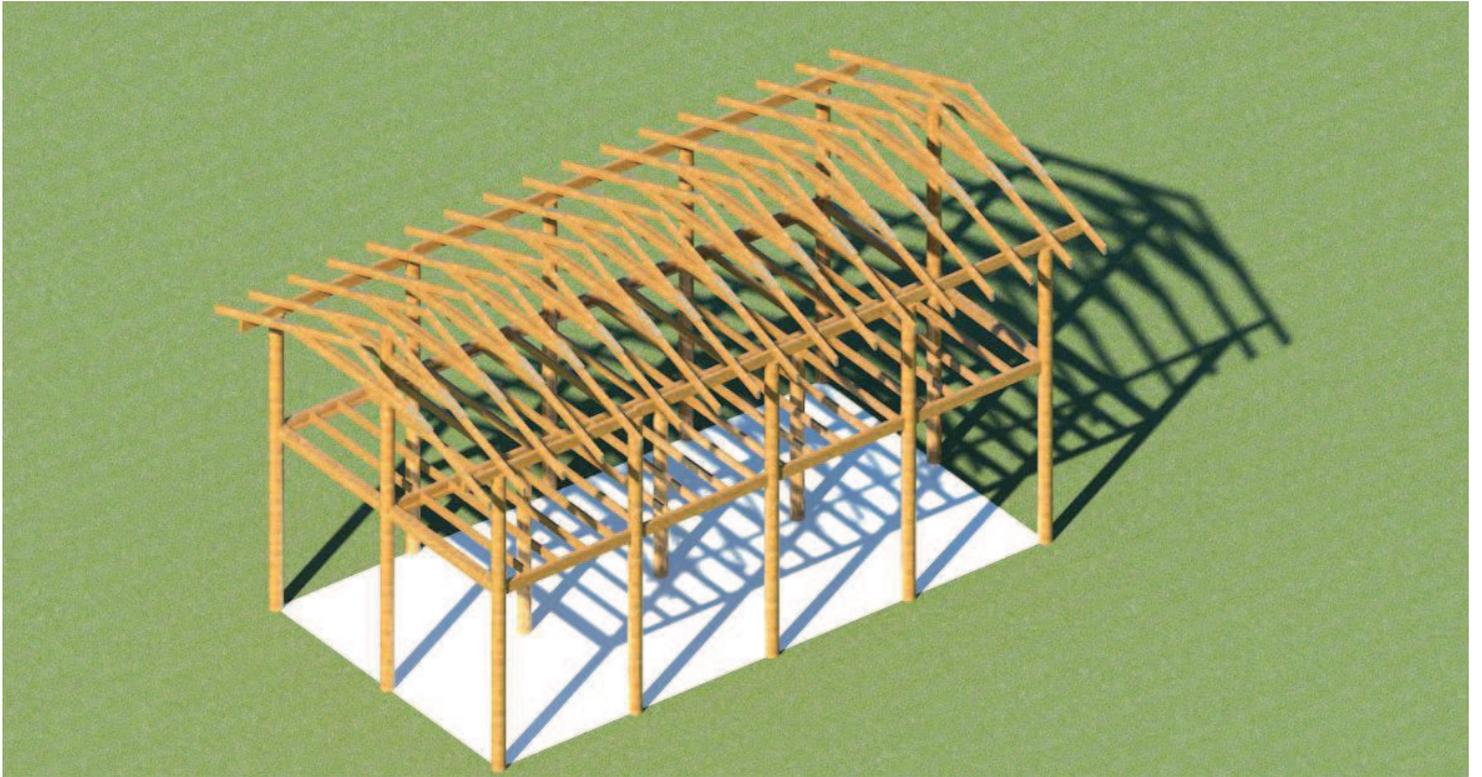
Escala: 1/25

Unidade: cm

Parafusos de 12,5 m, galvanizados com porcas e arruelas







FAZER: Corte estrutural transversal
Escala: 1:50 (ajustar para A4)
Unidade: cm

FAZER: Detalhe dos caibros com a travessa (vista em planta e vista de frente, cotas e especificar parafusos com espaçamentos)
Escala 1:25 (ajustar para A4)
Unidade: cm
Obs.: As dimensões especificadas são de madeira bruta

FAZER:

- Det. 1 - Fixação pilar no bloco (escala 1:20) - ajustar para A4
- Det. 2 - Detalhe piso do pavimento superior - (vista em planta e dois cortes, escala 1:10) - ajustar para A4
- Det. 3 - Detalhe piso do pavimento superior - (vista em planta e dois cortes, escala 1:10) - ajustar para A4
- Det. 4 - Detalhe piso do pavimento superior - (vista em planta e dois cortes, escala 1:10) - ajustar para A4
- Det. 5 - Detalhes da ligação caibro, terço e pilar, mostrando ripa (2,5x5 cm) e testeira (3x20 cm) - (vista em planta e um corte, escala 1:10) - ajustar para A4
- Det. 6 - Detalhes dos caibros com travessas (vista em planta e um corte, escala 1:10) - ajustar para A4
- Det. 6a – Fixação da travessa no caibro, com parafusos e espaçamentos (vista de frente e planta, escala 1:10)
- Det. 6b – Fixação dos caibro, com parafusos (vista de frente e planta, escala 1:10)

ANEXO 9.6. TIPOS DE PREGOS

Os pregos são fabricados com ou sem cabeça, em aço temperado, em aço galvanizado e em cobre. A haste pode ser lisa, anelada ou espiralada. A sua utilização deve considerar as condições de exposição, resistência e durabilidade da ligação. O uso de prego em madeira dura exige o pré-furo com broca de diâmetro um pouco menor do diâmetro do prego, para evitar rachaduras na madeira e garantir a sua penetração total. A tabela 1 mostra os tipos de pregos comumente encontrados no mercado.

No Brasil, normalmente se utiliza medidas de pregos em Fieira (JP) x Linha de Polegada Portuguesa (LPP). A fieira JP corresponde a Jauge de Paris (bitolas de arame padrão na França) e a linha de polegada portuguesa corresponde a 2,3 mm. Quando se diz prego 17 x 21, significa que o diâmetro corresponde à fieira JP 17 (3,0 mm), e o comprimento corresponde a 21 linhas de polegadas portuguesas, ou seja, $21 \times 2,3 = 48,3$ mm. No sistema métrico, o prego 17 x 21, seria 3,0x48,3 mm.

As tabelas 9.6.1. a 9.6.9. mostram os tipos e as bitolas de pregos mais comumente encontrados no mercado.

Tabela 9.6.1. Tipos de pregos.

Prego com Cabeça Construção civil, móveis em geral, caixas, engradados, adornos, molduras, etc.	
Prego sem Cabeça Móveis, assoalhos, rodapés, guarnições, portas, janelas, etc.	
Prego Cabeça Dupla Fechamento de fôrmas, fixação dos aprumadores, escoramento de lajes, etc.	
Prego Anelado Madeiras de menor densidade (macias), caixotaria em geral, pallets, embalagens e móveis.	
Prego Ardox Madeiras de maior densidade (duras), pallets, embalagens e suportes de madeiras.	
Prego Quadrado Embarcações, pontes, mata-burros, etc.	
Prego Telheiro Telhas de cimento-amianto, de alumínio, de zinco, sobre estrutura de madeira.	
Prego para Taco Fixação de tacos (assoalho) e batentes de portas e janelas.	

ANEXO 9.6. TIPOS DE PREGOS (continuação)

Tabela 9.6.2. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos com cabeça.

Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg	Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg
4 x 6	0,90 x 14	14378	18 x 24	3,40 x 55	230
6 x 6	1,10 x 14	9310	18 x 27	3,40 x 62	198
6 x 7	1,10 x 16	7606	18 x 30	3,40 x 69	187
7 x 9	1,20 x 21	5050	18 x 33	3,40 x 76	171
8 x 7	1,30 x 16	5718	18 x 36	3,40 x 83	155
8 x 8	1,30 x 18	4938	19 x 15	3,90 x 34	290
8 x 10	1,30 x 23	4286	19 x 21	3,90 x 48	195
8 x 11	1,30 x 25	3606	19 x 27	3,90 x 62	155
10 x 9	1,50 x 21	3378	19 x 30	3,90 x 69	143
10 x 10	1,50 x 23	3250	19 x 33	3,90 x 76	136
10 x 11	1,50 x 25	2786	19 x 36	3,90 x 83	121
10 x 12	1,50 x 28	2570	19 x 39	3,90 x 90	109
11 x 11	1,60 x 25	2466	-	-	-
11 x 12	1,60 x 28	2236	-	-	-
11 x 18	1,60 x 41	1506	20 x 30	4,40 x 69	106
12 x 12	1,80 x 28	1632	20 x 33	4,40 x 76	98
12 x 15	1,80 x 34	1320	20 x 39	4,40 x 90	85
13 x 11	2,00 x 25	1456	20 x 42	4,40 x 96	77
13 x 15	2,00 x 34	1062	20 x 48	4,40 x 110	67
13 x 18	2,00 x 41	922	21 x 33	4,90 x 76	77
14 x 11	2,20 x 25	1172	21 x 45	4,90 x 103	59
14 x 15	2,20 x 34	814	21 x 48	4,90 x 110	54
14 x 18	2,20 x 41	708	21 x 54	4,90 x 124	49
14 x 21	2,20 x 48	610	22 x 42	5,40 x 96	49
14 x 27	2,20 x 62	490	22 x 45	5,40 x 103	46
15 x 15	2,40 x 34	672	22 x 48	5,40 x 110	48
15 x 18	2,40 x 41	582	22 x 51	5,40 x 117	43
15 x 21	2,40 x 48	477	22 x 54	5,40 x 124	38
15 x 27	2,40 x 62	382	23 x 45	5,90 x 103	38
16 x 18	2,70 x 41	476	23 x 54	5,90 x 124	33
16 x 21	2,70 x 48	393	23 x 60	5,90 x 138	29
16 x 24	2,70 x 55	354	23 x 66	5,90 x 152	26
16 x 27	2,70 x 62	312	24 x 60	6,40 x 138	25
17 x 21	3,00 x 48	291	24 x 66	6,40 x 152	23
17 x 24	3,00 x 55	266	25 x 72	7,00 x 165	18
17 x 27	3,00 x 62	242	26 x 72	7,60 x 165	14
17 x 30	3,00 x 69	210	26 x 78	7,60 x 179	16
18 x 11	3,40 x 25	495	26 x 84	7,60 x 193	14

ANEXO 9.6. TIPOS DE PREGOS (continuação)

Tabela 9.6.3. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos sem cabeça.

Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg	Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg
6 x 6	1,10 x 14	9776	14 x 15	2,20 x 34	814
6 x 7	1,10 x 16	8333	14 x 18	2,20 x 41	725
7 x 9	1,20 x 21	5263	14 x 21	2,20 x 48	623
8 x 7	1,30 x 16	6004	15 x 15	2,40 x 34	690
8 x 8	1,30 x 18	4938	15 x 18	2,40 x 41	611
8 x 12	1,30 x 28	3390	15 x 21	2,40 x 48	513
9 x 12	1,40 x 28	3077	16 x 18	2,70 x 41	486
10 x 9	1,50 x 21	3547	16 x 21	2,70 x 48	397
10 x 10	1,50 x 23	2941	16 x 24	2,70 x 55	345
10 x 11	1,50 x 25	2776	16 x 27	2,70 x 62	332
11 x 11	1,60 x 25	2589	17 x 21	3,00 x 48	314
11 x 15	1,60 x 34	1739	17 x 27	3,00 x 62	242
12 x 12	1,80 x 28	1613	18 x 24	3,40 x 55	237
13 x 11	2,00 x 25	1529	18 x 27	3,40 x 62	208
13 x 15	2,00 x 34	1130	18 x 30	3,40 x 69	187
13 x 18	2,00 x 41	952	19 x 36	3,90 x 83	127
13 x 21	2,00 x 48	815	19 x 39	3,90 x 90	109

Tabela 9.6.4. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos cabeça dupla.

Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg
17 x 27	3,00 x 62	206
18 x 27	3,40 x 62	170
18 x 30	3,40 x 69	153

Tabela 9.6.5. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos anelado.

Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm
12 x 11	1,80 x 25	16 x 21	2,70 x 48
12 x 12	1,80 x 28	16 x 24	2,70 x 55
13 x 15	2,00 x 34	17 x 21	3,00 x 48
13 x 18	2,00 x 41	17 x 24	3,00 x 55
15 x 12	2,40 x 28	17 x 27	3,00 x 62
15 x 15	2,40 x 34	18 x 24	3,40 x 55
15 x 18	2,40 x 41	18 x 27	3,40 x 62
15 x 21	2,40 x 48	18 x 30	3,40 x 69
16 x 18	2,70 x 41	18 x 36	3,40 x 83

ANEXO 9.6. TIPOS DE PREGOS (continuação)

Tabela 9.6.6. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos Ardox.

Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm
13 x 15	2,00 x 34	16 x 24	2,70 x 55
13 x 18	2,00 x 41	17 x 21	3,00 x 48
14 x 15	2,20 x 34	17 x 24	3,00 x 55
14 x 18	2,20 x 41	17 x 27	3,00 x 62
14 x 21	2,20 x 48	17 x 30	3,00 x 69
15 x 15	2,40 x 34	18 x 24	3,40 x 55
15 x 18	2,40 x 41	18 x 27	3,40 x 62
15 x 21	2,40 x 48	18 x 30	3,40 x 69
15 x 24	2,40 x 55	18 x 33	3,40 x 76
16 x 21	2,70 x 48	18 x 36	3,40 x 83

Tabela 9.6.7. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos quadrado.

Dimensões	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg
Mini-Galeota		246
1 /2 Galeota	3,40 x 57	168
Galeota	4,00 x 68	110
2 3/4 Galeota		48
1/2 Forro	4,38 x 79	80
Forro	6,12 x 94	35
1/2 Caverna	4,96 x 105	46
Caverna	6,12 x 130	25

Tabela 9.6.8. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos telheiro.

Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg
18 x 21	3,40 x 48	65
18 x 27	3,40 x 62	53
18 x 30	3,40 x 69	50
18 x 36	3,40 x 83	46

Tabela 9.6.9. Dimensões (Diâmetro x comprimento) de pregos para taco.

Dimensões JP x LPP	Dimensões mm x mm	Quantidade / kg
15 x 10	2,40 x 23	932

Anexo 9.7. TIPOS DE PARAFUSOS PARA MADEIRA

Assessorio utilizado para fixação de um modo geral, como por exemplo: armários, gabinetes e espelhos. Podem ser encontrados em aço inox, aço galvanizado e latão. Os modelos variam em termos da forma da cabeça (chata em fenda, philips, limão em fenda, sextavado para chave de boca) e do seu corpo, que podem ser com rosca (porcas e arruelas) ou auto – atarrachantes. Os parafusos com porcas são utilizados em praticamente todos os materiais. Já os parafusos sem porca servem para madeira e chapas de aço. As tabelas 9.7.1.a 9.7.4. mostram os tipos mais comuns de parafusos utilizados na madeira.

Tabela 9.7.1. Tipos de parafusos comuns para madeira.

Parafuso francês com até 31 cm de comprimento.

Aplicação: Madeira.

Diâmetros em polegadas: 3/16; 1/4; 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4.



Parafuso sextavado com até 12 cm de comprimento.

Aplicação: Madeira e metal.

Diâmetros em polegadas: 5/32; 3/16; 1/4; 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 1 1/8, 1 1/4 e 1 1/2.



Barra roscada para porca e arruela com 1 m ou 3 m de comprimento.

Aplicação: Madeira e metal.

Diâmetros em polegadas: 5/32; 3/16; 1/4; 5/16, 3/8, 7/16, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, 1, 1 1/8, 1 1/4 e 1 1/2.



Parafuso sextavado rosca soberba.

Aplicação: Madeira

(Tabela 9.7.4)



Parafuso autoatarraxante panela com fenda simples.

Aplicação: Madeira e metal.

(Tabela 9.7.2)



Parafuso autoatarraxante chata com fenda simples.

Aplicação: Madeira e metal.

(Tabela 9.7.3)



Parafuso autoatarraxante panela com fenda cruzada.

Aplicação: Madeira e metal.



Parafuso autoatarraxante chata com fenda cruzada.

Aplicação: Madeira e metal.



Parafuso autoatarraxante oval com fenda cruzada.

Aplicação: Madeira e metal



ANEXO 9.7. TIPOS DE PARAFUSOS PARA MADEIRA (continuação)

Parafuso autoatarraxante chata com fenda simples.

Aplicação: Madeira.
(Tabela 9.7.3)



Parafuso chipboard chata com fenda cruzada.

Aplicação: Madeiras de baixa densidade, aglomerado e MDF.
(Conhecido como parafuso de MDF)



Parafuso chipboard panela com fenda cruzada.

Aplicação: Madeiras de baixa densidade, aglomerados e MDF.
(Conhecido como parafuso de MDF)



Parafuso chipboard oval com fenda cruzada.

Aplicação: Madeiras de baixa densidade, aglomerados e MDF.
(Conhecido como parafuso de MDF)



Parafuso chipboard flangeado com fenda cruzada.

(Conhecido como parafuso de MDF)
Aplicação: Madeiras de baixa densidade, aglomerados e MDF.
(Conhecido como parafuso de MDF)



Tabela 9.7.2. Dimensões de parafusos cabeça panela.

Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)											
	4,5	6,5	9,5	13,0	16,0	19,0	22,0	25,0	32,0	38,0	45,0	50,0
2,2												
2,9												
3,5												
3,9												
4,2												
4,8												
5,5												
6,3												

Tabela 9.7.3. Dimensões de parafusos cabeça chata.

Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)										
	10	12	16	20	25	30	40	45	50	65	75
2,2											
2,5											
2,8											
3,2											
3,5											
3,8											
4,2											
4,8											
5,5											
6,1											

ANEXO 9.7. TIPOS DE PARAFUSOS PARA MADEIRA (continuação)

Tabela 9.7.4. Dimensões de parafusos sextavados com rosca soberba.

Diâmetro (Polegada)	Comprimento (mm)												
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75		
3/16													
1/4													
5/16													
3/8													
1/2													

ANEXO 9.8. CARACTERÍSTICAS DE TELHA CERÂMICA

Cerâmica	Tipo de Telha	Unidades/ m ²	Peso úmido (N/ m ²)	Inclinação mínima (%)	Espaçamento aprox. entre ripas (cm)
Carmelo-MG	Colonial	18	630	30	-
	Romana	15,5	470	35	-
	Portuguesa	17	515	35	-
	Americana	12,6	455	35	-
Ibituruna - MG	Plan	26	555	28 a 40	40
	Portuguesa	16	500	28 a 40	34,5
Mineira - MG	Plan	30	525	25 a 37	39
	Colonial	28	620	25 a 37	37
	Romana	16	450	30 a 45	33
	Portuguesa	16	450	30 a 45	33
	Americana	12	450	30 a 45	37
Santorini - MG	Portuguesa	17	470	-	33
	Romana	16	480	-	34
	Americana	12	470	-	-
	Cumeeira	2,5 unid./m	-	-	-
Santa Bárbara - SP	Portuguesa	17	515	35 a 45	34
	Romana	17	515	35 a 45	34
	Cumeeira	-	-	-	3 unid. / m
Vasatex-SP	Romana	16	445	-	-
	Portuguesa	16	485	-	-
	Romana (vidro)	16	80	-	-
	portuguesa (vidro)	16	80	-	-
Martins - SC	Portuguesa	17	460	25	35,3
	Americana	12	415	35	36,5
Campo Maior - PI	Canal	28	460	-	-
	Colonial	28	430	-	40
Terra Vitta - SP	Imperial	8,3	455	35	-
	Americana	16	595	35	-
	Portuguesa	16	505	35	-
	Romana	16	505	35	-
	Plan	26	665	30	-
	Cumeeira	3 unid. /m	85/m	-	-
Corabras - SC (concreto)	Coppo venetto	10,5	520	30	-
	Coral plana	10,5	575	45	-
Tegotelha - SP	Concreto	10,4	520	30	-

ANEXO 9.9. TIPOS DE TELHAS



Telha Plan



Telha portuguesa



Telha romana



Telha americana



Telha colonial



Telha francesa



Telha de cumeeira

ANEXO 9.10. DESDOBRO DE TORAS DE MADEIRA





<http://ibiuna.olx.com.br>



<http://ibiuna.olx.com.br/serrarias>





<http://www.faidigamadeiras.com.br>





http://www.google.com.br/images?hl=pt-BR&q=Imagem+de+serraria+de+madeira&um=1&ie=UTF-8&source=univ&ei=E61QTMrZMISdlgfY6-27CQ&sa=X&oi=image_result_group&ct=title&resnum=1&ved=0CCUQsAQwAA&biw=1280&bih=897
<http://www.faidigamadeiras.com.br/index.php?iCodMenu=3788&iCodCategoria=0&iPagina=1&sTip o=5&>

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. Timber Construction Manual. Washington, 1966.
- ABNT, NBR 7190/82- Cálculo e dimensionamento de estruturas de madeira, 1981.
- ABNT, NBR 7190/97- Projeto de estruturas de Madeira, 1997.
- BODIG, J. & JAYNE, B. A. Mechanics of Wood and Wood Composites. Ed. Van Nostrand Reinhold Company. New York, 1982.
- BOOTH, L. G. & REECE, P. O. The Structural Use of Timber. Ed. E. & F. N. SPON LTD, London, 1967.
- BURGER, L. M. & RICHTER, H. G. Anatomia da madeira. São Paulo - SP: Nobel, 1991.
- CORADIN, V. T. R. Noções sobre identificação de madeiras. Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA (Apostila). Brasília - DF, 1990.
- FERNÁNDEZ, F.R.; ECHENIQUE, R. Estructuras de Madera. Ed. Limusa. Mexico, 1983.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY, FOREST SERVICE, USDA. Wood: Its Structure and Properties. Ed. Wangaard, USA, 1981.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY, FOREST SERVICE, USDA. Wood: Engineering Design Concepts. Pennsylvania State University. USA, 1986.
- GALVÃO, A. P. M. Estimativa de Umidade de Equilíbrio da Madeira em diferentes Cidades do Brasil. ESALQ / USP. Piracicaba, SP. s.d.
- HOYLE, R. J. Wood Technology in the Design of Structures. College of Engineering. Washington State University. Pullman, Washington. 1971.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - Madeiras da Amazônia: Características e Utilização - V.3 – Amazônia oriental, Brasília – DF, 1997. 141 p.//www.ibama.gov.br/lpf/madeira/)
- IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Madeiras da Amazônia: Características e Utilização - V.1, CNPq, Brasília – DF, 1981. 114 p. <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>
- IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Madeiras da Amazônia: Características e Utilização - V.2, Brasília – DF, 1988. 236 p. <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/>
- JUNIOR, C. C. & BRITO, L. D. Manual de Projetos e Construção de Estruturas em Peças Rolijas de Madeira de Reflorestamento. ISBN 978-85-8023-000-0. EESC/USP, São Carlos, 2010 <http://www.montana.com.br/Noticias/Publicacoes/Livros-e-Manuais>
- JUNIOR, C. C. et all. Tecnologia da Madeira, Aspectos do Material e de durabilidade. São Carlos-SP, 1978. (Apostila).
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino., Peru, Lima, 1982.
- MELO, J.E. & Camargos. J. A. A. A Madeira e seus Usos. ISBN 978-85-912590-0-7, www.mundoflorestal.com.br
- MELO, J.E. Curso de Estruturas de Madeira. Apostila. 2013
- MOLITERNO, A. Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1981.
- MOLITERNO, A. Escoramentos, Cimbramentos, Fôrmas para concreto e Travessias em Estruturas de Madeira. Ed. Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 1989.
- PARKER, T. L. H. & Ambrose, J. Simplified Design of Wood Structures. Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA, 1994.
- PAULA; J. H.M. de. Projeto e construção de edifícios de aço – Notas de aula. UnB/FT/EnC, 1995.
- PFEIL, W. Estruturas de Madeira. Ed. Livros Técnicos e Científicos S. A. Rio de Janeiro, 1977.
- KATHERINE ESAU. Anatomia das Plantas com Sementes; Trad. Morretes, B. L. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 1976.
- LISBOA, C. D. J; MATOS, J. L. M & MELO, J. E. Amostragem e Propriedades Físico-mecânicas de Madeiras da Amazônia. Coleção Meio Ambiente – Floresta, nº 1. Brasília: IBAMA, 1993.

- RAMALHO, R. S. Dendrologia. Escola Superior de Florestas- Universidade Federal de Viçosa. Vol. 1. Viçosa-MG, 1976.]
- RESNICK, R. & HALLIDAY, D. Física 1. Ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 3ª ed. Rio de Janeiro, 1983.
- WOOD HANDBOOK: Wood as an Engineering Material. Forest products Laboratory– United States Department of Agriculture. Madison, USA, 2002..
- http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf