

Organizadoras

**AKEMI INO**

**LUCIA SHIMBO**

# **PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA**



**Blucher**

Akemi Ino  
Lucia Shimbo

Organizadoras

Dedalus-Acervo-IAU



93000007694

## PROJETAR E CONSTRUIR COM MADEIRA



Class. 694.2  
Cutter. P964  
2.2  
Tombo 5642  
Sysno 3185600

*Projetar e construir com madeira*  
© 2024 Akemi Ino e Lucia Shimbo  
Editora Edgard Blücher Ltda.

*Publisher* Edgard Blücher  
*Editores* Eduardo Blücher e Jonas Eliakim  
*Coordenação editorial* Andressa Lira  
*Produção editorial* Alessandra de Proença  
*Preparação de texto* Amanda Fabbro  
*Diagramação* Marcio Freitas  
*Revisão de texto* Helena Miranda  
*Capa* Laércio Flenic  
*Imagem da capa* Tatiana de Oliveira Chiletto

(\*) As imagens utilizadas neste livro não caracterizam preferência por marca ou fabricante. Foram utilizadas devido à sua clareza e disponibilidade somente para ilustrar didaticamente os conceitos mencionados.

(\*\*) As imagens de equipamentos da marca Zaccaria estão sendo usadas com o consentimento da empresa aos autores.

# Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 - São Paulo - SP - Brasil  
Tel.: 55 11 3078-5366  
contato@blucher.com.br  
www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 6. ed.  
do Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa,  
Academia Brasileira de Letras, julho de 2021.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer  
meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora  
Edgard Blucher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Projetar e construir com madeira / Akemi  
Ino, Lucia Shimbo organizadoras. - São Paulo :  
Blucher, 2024.  
184 p. ; il.

Bibliografia  
ISBN 978-85-212-2194-4

1. Construções de madeira 2. Habitações  
- Projetos e construção 3. Madeiras de  
construção I. Ino, Akemi II. Shimbo, Lucia

23-4339

CDD 694

Índices para catálogo sistemático:  
1. Construção de madeira

# **CAPÍTULO 1**

## **Classificação, formação e características da madeira**

**Simone Fernandes Tavares  
Tatiana de Oliveira Chiletto  
Erich Kazuo Shigue  
Akemi Ino**



A madeira é um material orgânico natural e biodegradável, de origem vegetal. Ela resulta do tecido lenhoso gerado pelo tronco das árvores, plantas superiores de elevada complexidade anatômica e fisiológica. Sua estrutura decorre da complexa organização das células e dos vasos responsáveis pela sustentação e pela provisão de água e de nutrientes, bem como do armazenamento de bioquímicos da planta (WIEDENHOEFT, 2010). Ainda sofre influências de acordo com a localização geográfica, o clima, o tipo de solo, o grupo e a espécie botânica, condições que determinam as características da madeira, como permeabilidade, textura, propriedades físicas e mecânicas, tratabilidade<sup>1</sup> e trabalhabilidade<sup>2</sup> (PEREIRA, 2013). A partir do conhecimento da microestrutura do material é possível analisar e determinar o melhor uso das diferentes espécies nas distintas demandas da construção civil, assim como métodos mais adequados de plantio, corte, secagem e tratamento preventivo.

Este primeiro capítulo tem como objetivo apresentar o material madeira, desde sua classificação botânica, sua formação, seus constituintes micro e macroscópicos e suas características naturais, como durabilidade, propriedades de conforto ambiental (visual, tátil, acústica) e emissão e sorção de composto orgânico volátil (COV). Trata-se de aspectos inerentes ao material, os quais exercem influência nas suas propriedades físicas e mecânicas, e, por isso, no desempenho de componentes e sistemas nos quais é empregada.

<sup>1</sup> A tratabilidade da madeira se refere à sua capacidade de absorver e reter líquidos preservativos.

<sup>2</sup> A trabalhabilidade refere-se “ao comportamento da madeira no processamento com ferramentas manuais e mecânicas, bem como ao acabamento superficial obtido nas operações de usinagem, mais comumente empregadas na indústria de transformação secundária da madeira, quais sejam: serrar, furar, aplainar, lixar, tornear, colar, laminar, pregar e parafusar” (BERRIEL, 2009, p. 265). Em geral, madeiras mais pesadas e densas possuem difícil trabalhabilidade.

A madeira é um material orgânico natural e biodegradável, de origem vegetal. Ela resulta do tecido lenhoso gerado pelo tronco das árvores, plantas superiores de elevada complexidade anatômica e fisiológica. Sua estrutura decorre da complexa organização das células e dos vasos responsáveis pela sustentação e pela provisão de água e de nutrientes, bem como do armazenamento de bioquímicos da planta (WIEDENHOEFT, 2010). Ainda sofre influências de acordo com a localização geográfica, o clima, o tipo de solo, o grupo e a espécie botânica, condições que determinam as características da madeira, como permeabilidade, textura, propriedades físicas e mecânicas, tratabilidade<sup>1</sup> e trabalhabilidade<sup>2</sup> (PEREIRA, 2013). A partir do conhecimento da microestrutura do material é possível analisar e determinar o melhor uso das diferentes espécies nas distintas demandas da construção civil, assim como métodos mais adequados de plantio, corte, secagem e tratamento preventivo.

Este primeiro capítulo tem como objetivo apresentar o material madeira, desde sua classificação botânica, sua formação, seus constituintes micro e macroscópicos e suas características naturais, como durabilidade, propriedades de conforto ambiental (visual, tátil, acústica) e emissão e sorção de composto orgânico volátil (COV). Trata-se de aspectos inerentes ao material, os quais exercem influência nas suas propriedades físicas e mecânicas, e, por isso, no desempenho de componentes e sistemas nos quais é empregada.

<sup>1</sup> A tratabilidade da madeira se refere à sua capacidade de absorver e reter líquidos preservativos.

<sup>2</sup> A trabalhabilidade refere-se “ao comportamento da madeira no processamento com ferramentas manuais e mecânicas, bem como ao acabamento superficial obtido nas operações de usinagem, mais comumente empregadas na indústria de transformação secundária da madeira, quais sejam: serrar, furar, aplainar, lixar, tornear, colar, laminar, pregar e parafusar” (BERRIEL, 2009, p. 265). Em geral, madeiras mais pesadas e densas possuem difícil trabalhabilidade.

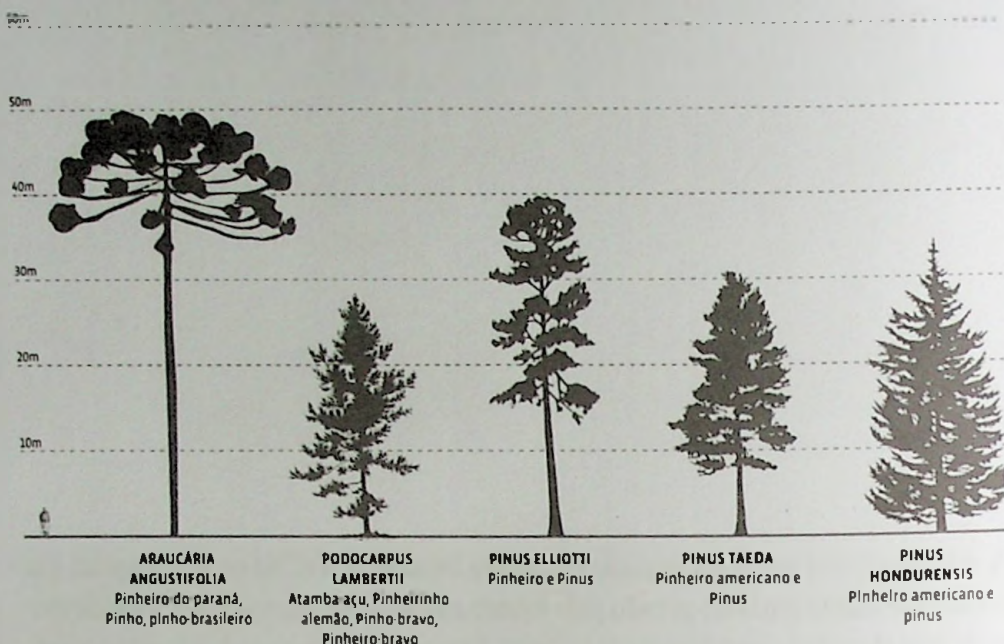


FIGURA 1.1

Exemplos de árvores Gimnospermas (espécie e nomes populares).

Fonte: adaptada de Waugh Thistleton Architects (2018). Desenho: Chiletto (2022).

## 1.1 Classificação botânica da madeira

Existem dois grandes grupos botânicos de árvores produtoras de madeira: as gimnospermas e as angiospermas (HELLMEISTER, 1983). Elas possuem características morfológicas e anatômicas comparativamente distintas. O primeiro grupo, *gymnos* (nu) e *sperma* (semente), apresenta frutos sem casca em forma de cone. São designadas na literatura como produtoras de madeiras moles ou *softwoods*. Desse grupo, o mais utilizado pela construção civil é o das Coniferophyta (coníferas), com destaque para pinheiros, araucárias, sequoias, abetos, píceas e ciprestes. Essas árvores possuem folhas em formato de escamas ou agulhas e, geralmente, são perenes e resistentes a invernos rigorosos, distribuídas geograficamente principalmente em zonas temperadas. No Brasil, há apenas duas espécies de coníferas nativas, o pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) e o pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii* e *Podocarpus sellowii*). Entre as espécies exóticas<sup>3</sup> do país, destacam-se o

<sup>3</sup> Espécies exóticas são aquelas não originárias da região na qual se encontram. Elas podem ser exóticas invasoras ou não. São consideradas exóticas invasoras aquelas espécies que interferem ou ameaçam as espécies nativas de uma região, causando a destruição de habitats e ecossistemas.

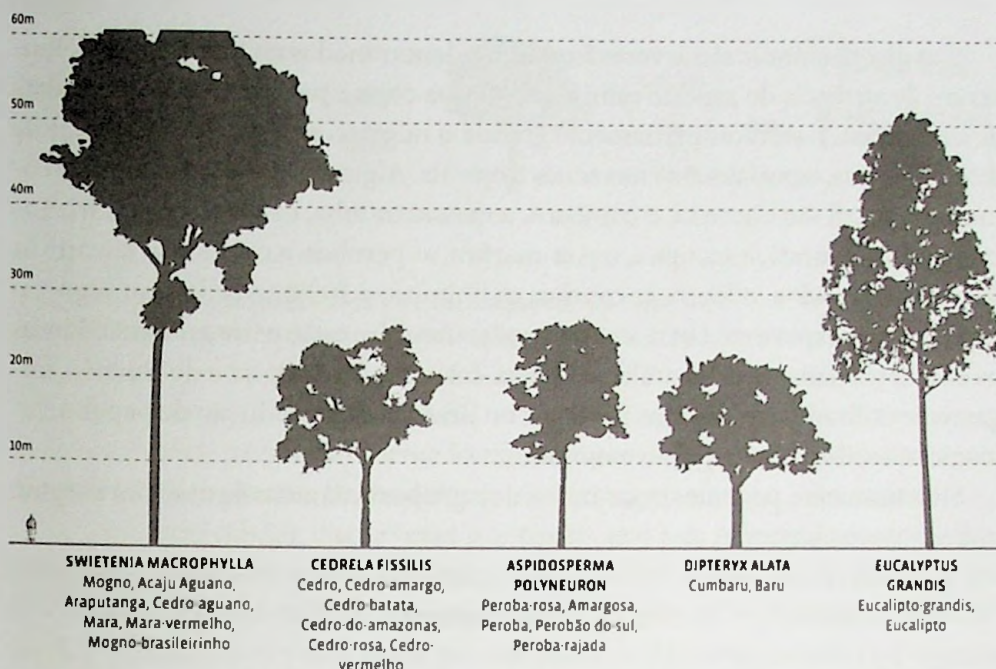


FIGURA 1.2

Exemplos de árvores Angiospermas (espécie e nomes populares).

Fonte: adaptada de Waugh Thistleton Architects (2018). Desenho: Chiletto (2022).

*Pinus elliottii* (variedades *elliottii* e *densa*) e o *Pinus taeda*, originários da Flórida (EUA), e o *Pinus caribaea* (variedades *hondurensis*, *bahamensis* e *caribaea*), natural da América Central (AGUIAR; SOUSA; SHIMIZU, 2014).

O segundo agrupamento, *angi* (envelope) e *sperma* (semente), forma um grupo vegetal mais completo e diversificado e pode ser subdividido em outras duas grandes classes: as monocotiledôneas e as dicotiledôneas. Nessa subdivisão, destacam-se as dicotiledôneas como produtoras de madeira para a construção, designadas na literatura como madeiras duras ou *hardwood*<sup>4</sup>.

Na família de monocotiledôneas encontram-se as palmas e as gramíneas. Um exemplo bastante utilizado de gramínea como material construtivo é o bambu, principalmente em construções leves, visto suas propriedades de boa resistência mecânica e baixa densidade. É importante dizer que o bambu não é classificado como uma madeira, no sentido usual da palavra (HELLMEISTER, 1983).

<sup>4</sup> É importante ressaltar que nem todas as *hardwoods* são duras e pesadas e nem todas as *softwoods* são macias e leves, apesar do que possa ser induzido pelos seus nomes. Essa distinção existe para diferenciar a madeira botanicamente, ou seja, distinguir o tipo de árvore da qual é derivada (se gimnospermas ou angiospermas), bem como a anatomia de seu tecido lenhoso (WIEDENHOEFT, 2010).

Já as dicotiledôneas são árvores frondosas, denominadas na literatura de folhosas em decorrência do aspecto ramificado de sua copa e pela renovação periódica de suas folhas. É extraordinariamente grande o número de espécies existentes de dicotiledôneas, especialmente nas zonas tropicais. Algumas das madeiras mais comuns no Brasil são a aroeira, o cumbaru, a massaranduba, os ipês, o pau d'arco, as cabreúvas, o guaratã, a sucupira, o pau-marfim, as perobas, a caviúna, o faveiro, os jacarandás, a taiúva, o louro, as canelas, as imbuías, o freijó, o cedro, o mogno, o jequitibá, o guarapuvu etc. (HELLMEISTER, 1983). Também estão entre as dicotiledôneas os eucaliptos nativos da Austrália, da Nova Zelândia, da Malásia e do Bornéu, largamente utilizados em plantios florestais no Brasil para a produção de papel, celulose, carvão, dormentes, postes e mourões.

Sinteticamente, podemos organizar os dois grupos botânicos da maneira a seguir.

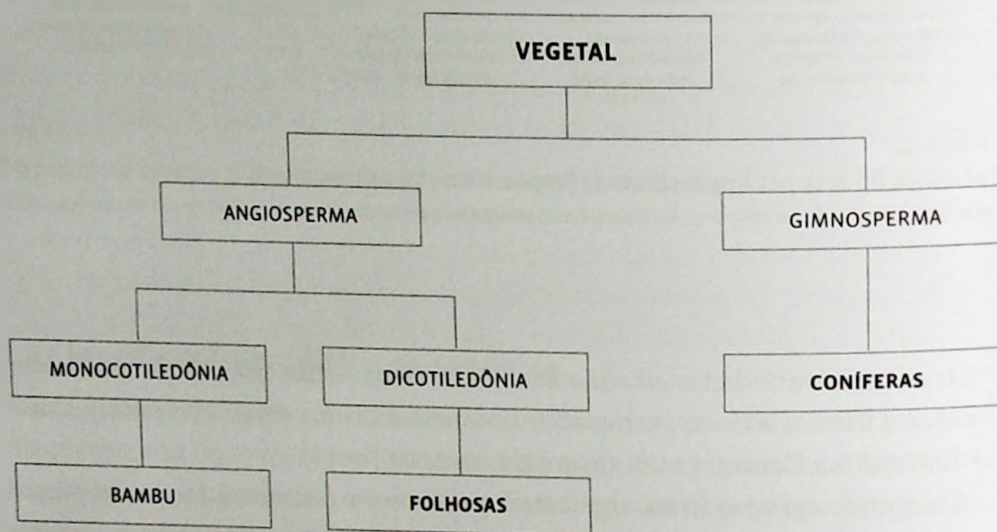


FIGURA 1.3

Diagrama síntese dos principais grupos botânicos utilizados na construção civil.

Desenho: Inafuku, 2022.

## 1.2 Formação e composição anatômica da madeira

A madeira é constituída predominantemente por substâncias orgânicas geradas a partir de átomos de carbono (50%), oxigênio (43%) e hidrogênio (6%) (HELLMEISTER, 1983). Ela procede de reações de fotossíntese. Nesse processo, há a formação da molécula de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ), a partir da qual se originam quase



FIGURA 1.4

Processo de fotossíntese e fluxo de formação da madeira.

Fonte: adaptada de Howe (2015). Desenho: Inafuku (2022).

todos os demais polímeros formadores da árvore. A Figura 1.4 apresenta a equação básica da formação da madeira.

A estrutura celular das árvores é formada por três principais componentes orgânicos: a celulose, a hemicelulose e a lignina (ver figura 1.5). A celulose é um carboidrato do tipo polissacarídeo, polímero de glicose, representado pela fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , sendo o principal componente da parede celular dos vegetais (cerca de 50%, independentemente da espécie). É um polímero linear não ramificado que se arranja em feixes ou fibras. Não é digerida por humanos, apenas por algumas espécies de bactérias e fungos.

As hemiceluloses também são polissacarídeos, mas apresentam estrutura amorfa e cadeia ramificada. Elas se ligam por meio de ponte de hidrogênio às moléculas de celulose as envolvendo, impedindo que elas se toquem e, ao mesmo tempo, conferindo-lhes elasticidade. O grupo de cadeias de celulose envolvidas por moléculas de hemicelulose é denominado microfibrila (BRITO, 2014).

Já as ligninas são polímeros amorfos organizados de forma tridimensional, cuja unidade básica estrutural é o fenil-propano (ou fenol). Quando ligadas às moléculas de celulose, conferem-lhes rigidez, aumento da resistência da árvore à compressão, impermeabilidade da parede celular e proteção dos tecidos vegetais contra possíveis ataques biológicos (PEDRAZZI *et al.*, 2019).

Em resumo, a parede da célula vegetal é composta em grande parte de celulose e hemicelulose com presença dos grupos hidroxila (OH), que tornam a parede celular higroscópica, ou seja, capaz de absorver água da atmosfera. A lignina é o agente que cimenta as células e é uma molécula relativamente hidrofóbica, um repelente natural de água. Em conjunto, isso significa que as paredes celulares da madeira têm uma grande afinidade pela água, mas a capacidade das paredes de absorver água é limitada em parte pela presença de lignina (WIEDENHOEFT, 2010).

A proporção dos três componentes da estrutura celular é apresentada na Tabela 1.1.

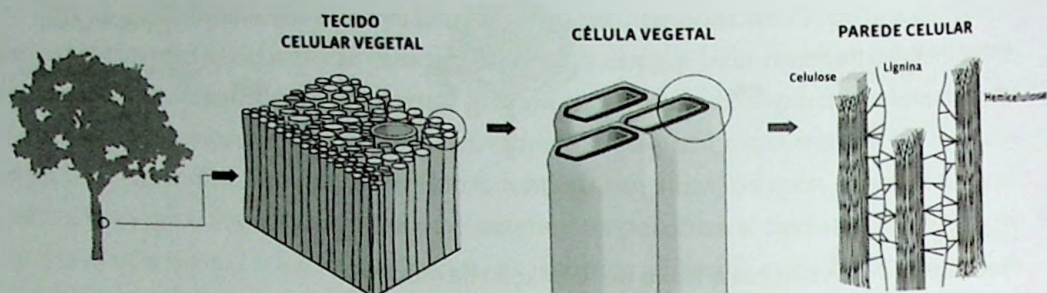


FIGURA 1.5

Composição da parede celular dos vegetais.

Fonte: adaptada de Santos et al. (2012). Desenho: Inafuku (2022).

TABELA 1.1

QUANTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES ORGÂNICOS DAS CONIFERAS E FOLHOSAS

|              | Coníferas | Dicotiledôneas<br>(folhosas) |
|--------------|-----------|------------------------------|
| Celulose     | 48-56%    | 46-48%                       |
| Hemicelulose | 23-26%    | 19-28%                       |
| Lignina      | 26-30%    | 26-35%                       |

Fonte: HELLMMEISTER, 1983, p. 12.

É a proporção desses componentes e a estrutura celular peculiar de cada espécie que irão definir se as madeiras são pesadas ou leves, rígidas ou flexíveis, duras ou macias (HELLMEISTER, 1983). Por exemplo, quanto maior a proporção de lignina da espécie vegetal, maior é a sua resistência natural ao ataque de organismos xilófagos. A lignina atua como fungicida natural. Nesse sentido, a cerejeira é naturalmente mais resistente ao ataque de microrganismos do que o angico vermelho (27,37% e 24,31% de lignina, respectivamente). Por sua vez, a maior proporção de hemicelulose torna a planta mais propensa a ataques xilófagos, já que confere maior umidade à planta e, quando em processo de degradação, libera açúcares que atraem ainda mais organismos (PEDRAZZI *et al.*, 2019). A proporção entre lignina e hemicelulose também determina a capacidade de inchar e encolher da madeira (sua higroscopia) diante da presença de umidade.

Observando a partir da escala celular da madeira, notamos que a estrutura dos tecidos de lenho é diferente nas angiospermas (*hardwoods*) e gimnospermas (*softwoods*). Comparativamente, as *softwoods* têm uma estrutura básica mais simples, composta por apenas dois tipos de células, os traqueídes e os raios medulares. Já as *hardwoods* são constituídas, predominantemente, por fibras (lúmen), vasos (poros) e raios medulares, organizados de maneira mais complexa (HELLMEISTER, 1983).

Traqueídes, vasos e fibras são células alongadas, ocas, dispostas paralelamente ao eixo longitudinal da árvore. Nas *softwoods*, os traqueídes são responsáveis pela alimentação (seiva bruta) e sustentação das árvores, dando-lhes resistência e rigidez. Nas *hardwoods*, os vasos desempenham a função de alimentação (seiva bruta) e as fibras, de sustentação, sendo estas últimas responsáveis pela maior parte da resistência e rigidez da madeira. Aos raios medulares, em ambas as madeiras, compete o transporte radial de seiva elaborada e o armazenamento de matéria orgânica não utilizada no desenvolvimento da árvore (HELLMEISTER, 1983).

O modo como as diferentes células se organizam para a formação do tecido lenhoso faz com que a madeira tenha uma estrutura, uma aparência e um comportamento diferentes a depender do plano de corte – transversal, radial ou tangencial. É essa heterogeneidade e variabilidade que torna a madeira um material anisotrópico<sup>5</sup> (ver Figura 1.6).

Segundo Hellmeister (1983), as árvores crescem, inicialmente, seguindo a direção vertical (crescimento primário). No entanto, o crescimento em altura é acompanhado do aumento da seção transversal do tronco da árvore (crescimento secundário), fundamental para a sua sustentação. O crescimento secundário ocorre pela formação de camadas concêntricas sucessivas, a partir da medula, que vão se acomodando ao redor das camadas mais antigas, conformando os chamados anéis de crescimento. O anel mais novo, mais periférico, sempre se estende da base da árvore até a sua copa.

A espessura dos anéis de crescimento está relacionada às diferentes estações do ano. Nas zonas temperadas, com estações bem-marcadas, as árvores possuem anéis bem definidos. Na primavera e no verão, quando as atividades biológicas se intensificam, resultando em crescimento mais rápido, os anéis estão maiores, mais claros e menos densos, formando células maiores de paredes mais finas. No outono e no inverno, quando o crescimento desacelera, ocorre o fenômeno oposto, e os anéis ficam bem-marcados, menores e mais densos, sendo suas células menores e de pa-

<sup>5</sup> De acordo com a NBR 16864-1 (ABNT, 2020, p. 1), anisotropia é a “[...] característica das propriedades físicas da madeira variarem conforme a direção dos planos anatômicos (axial, radial e tangencial)”.

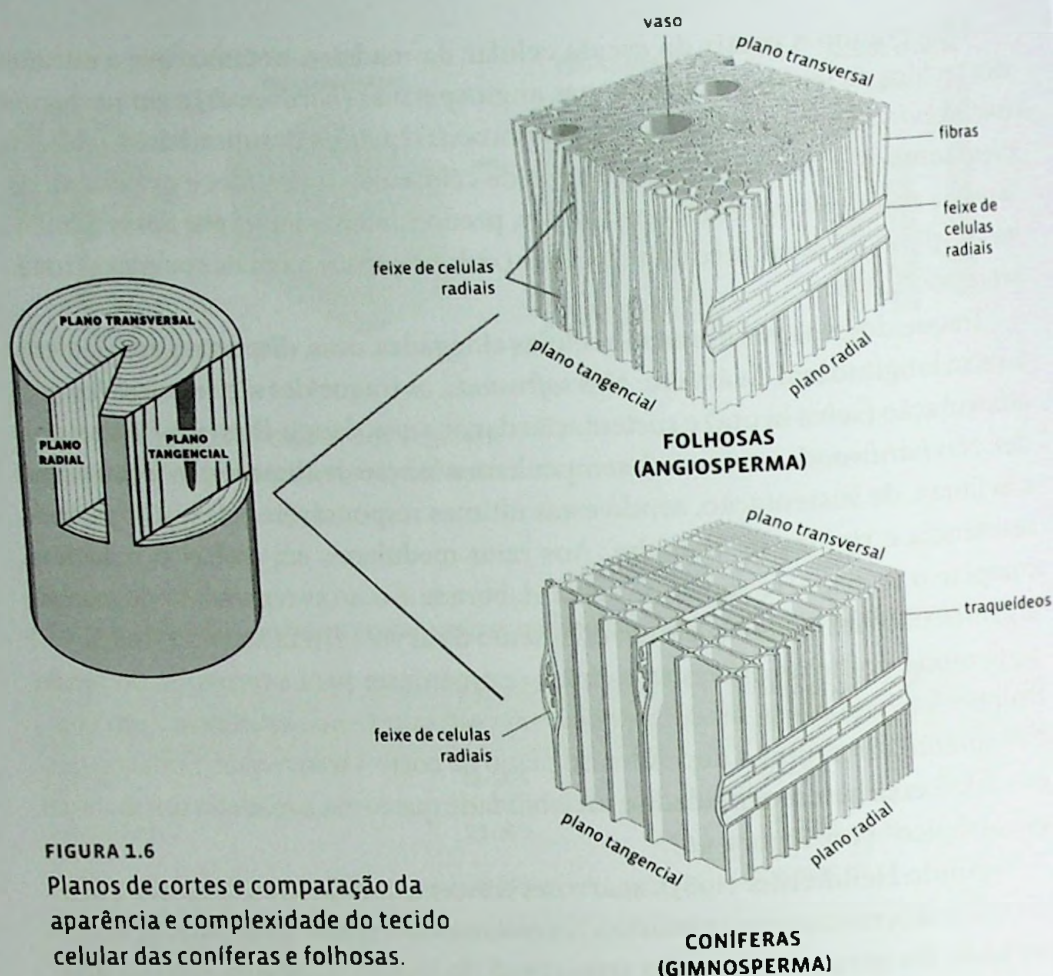


FIGURA 1.6

Planos de cortes e comparação da aparência e complexidade do tecido celular das coníferas e folhosas.

Fonte: adaptada de Herzog et al. (2003).  
Desenho: Inafuku (2022).

redes mais grossas. É o caso de todas as coníferas. Nas espécies tropicais, prevalentes em países nos quais as estações não são tão marcadas, os anéis são quase indistintos (ver Figura 1.7).

Do ponto de vista macroscópico, observam-se os seguintes elementos anômicos no tronco de uma árvore como apresentado na Figura 1.8.

A madeira, ou lenho, é a parte dividida em medula, cerne e alburno.

- **Alburno:** é a parte mais externa do lenho, ativa e viva, que conduz a água e os sais minerais (ou a seiva bruta) das raízes para as folhas. Trata-se do xilema

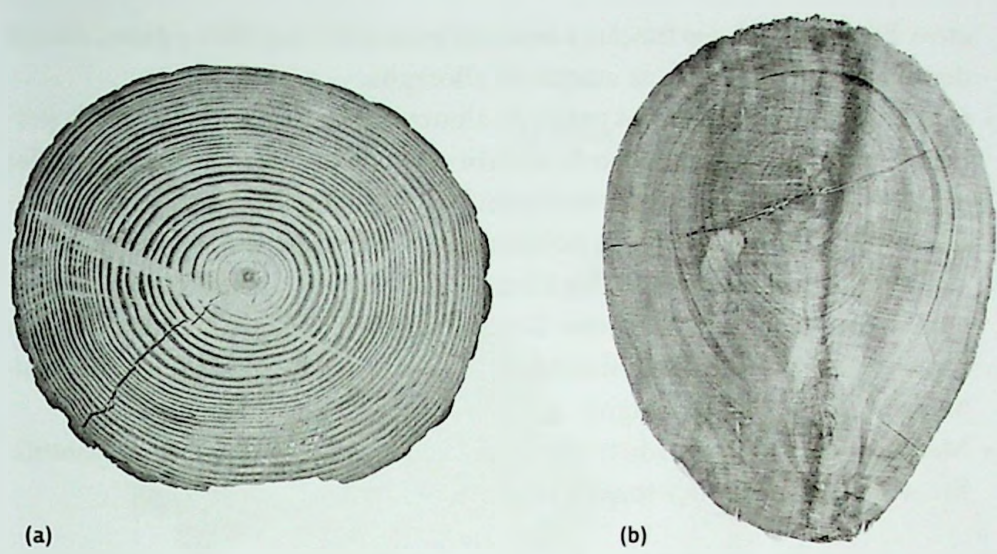


FIGURA 1.7  
Seção transversal de uma conífera (a) e de uma folhosa (b).  
Fonte: Acervo Akemi Ino.

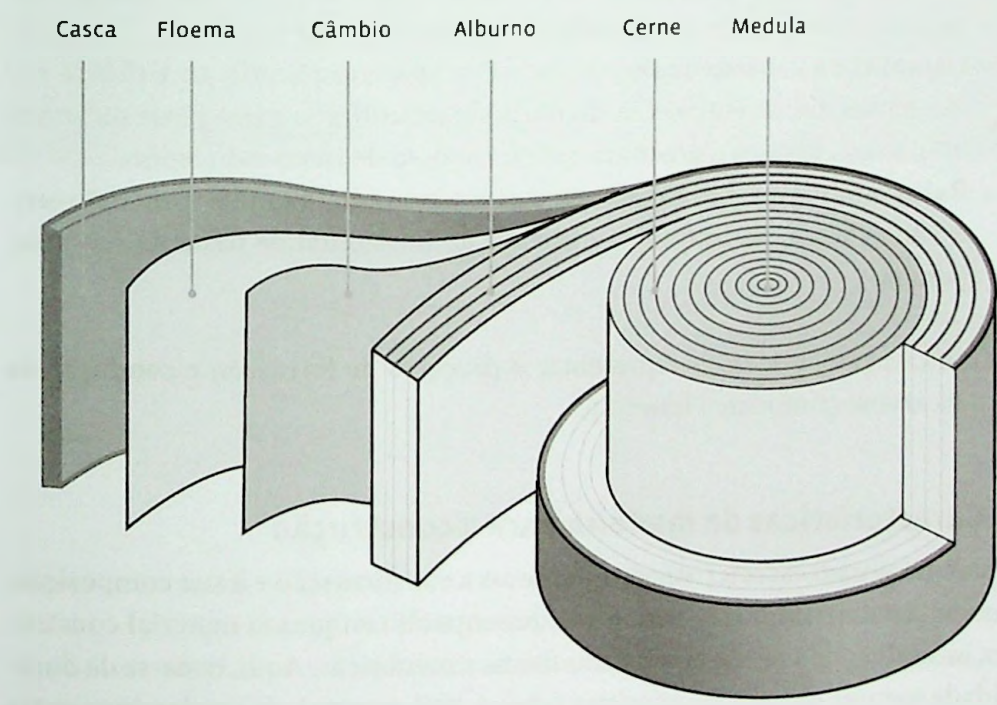


FIGURA 1.8  
Corte transversal genérico do tronco da árvore e sua estrutura macroscópica.  
Fonte: adaptada de Johnson (1994). Desenho: Inafuku (2022).

ativo. Em virtude de sua função, é mais permeável aos líquidos e gases, menos denso e está mais sujeito ao ataque de xilófagos.

- **Cerne:** ao longo do tempo, as partes do alburno mais próximas à medula perdem a sua função de condução de seiva bruta. Isso acontece porque parte das substâncias não utilizadas como alimentos pelas células ficam ali armazenadas, endurecendo por meio de polimerização. Dessa forma, o xilema torna-se inativo e passa a desempenhar a função de resistência, dando suporte para o crescimento da copa da árvore. Essa parte do tronco é chamada de cerne, caracterizado por sua maior densidade, menores permeabilidade e susceptibilidade ao ataque de xilófagos.
- **Medula:** é a parte central do tronco, mais antiga, delgada e menos resistente. Em geral, a sua presença torna a madeira defeituosa.

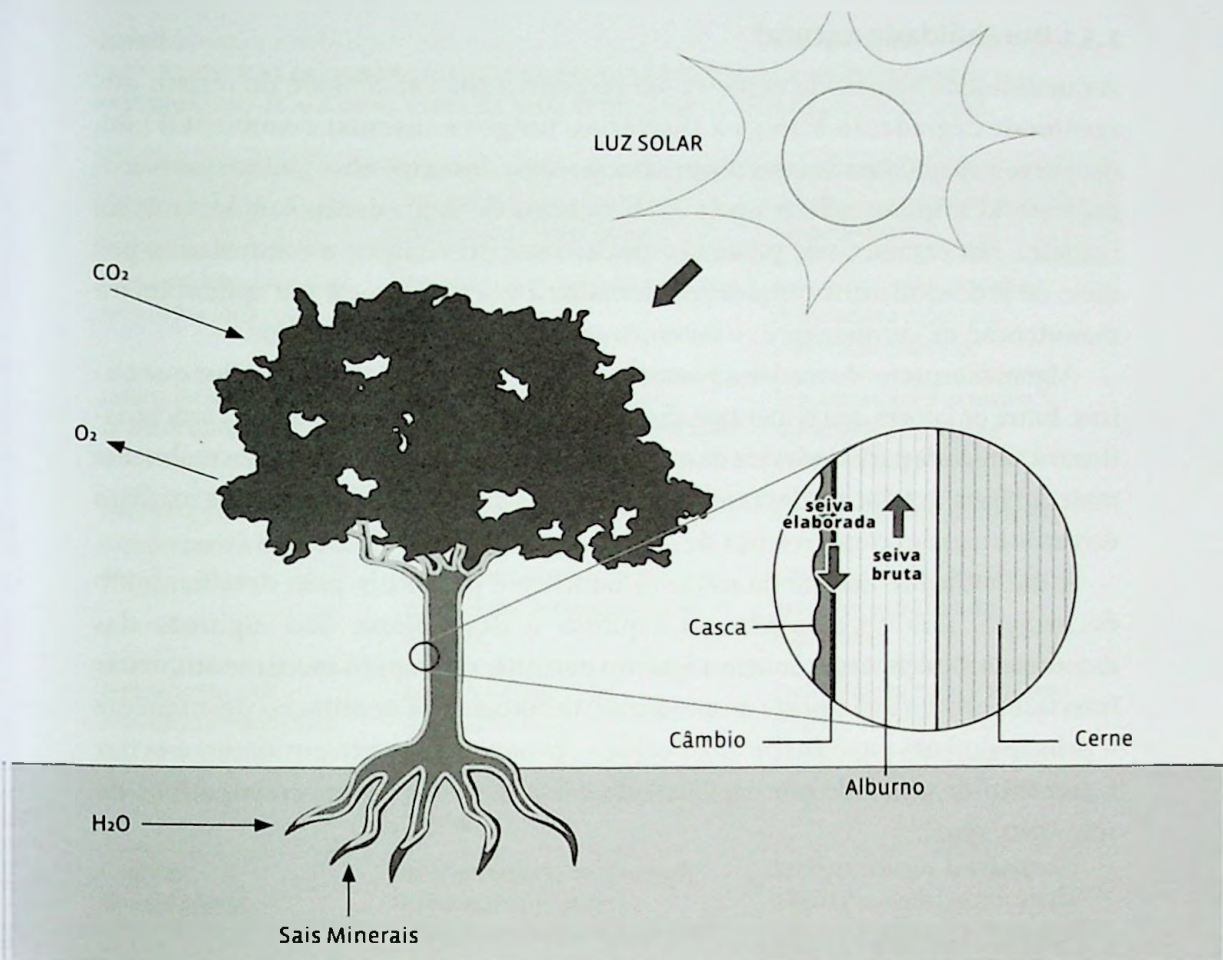
As outras partes do tronco são:

- **Casca externa:** formada por tecidos mortos, proporciona proteção mecânica e proteção contra os agentes atmosféricos (gelo, chuva) e ambientais (fogo) à casca interna, também limitando a perda de água evaporativa.
- **Floema ou casca interna:** mais macia, é um tecido vivo que conduz alimento (seiva elaborada) das folhas aos ramos, troncos e raízes.
- **Câmbio:** é a camada abaixo da casca, de aparência fluida, constituída por elementos monocelulares. A divisão celular realizada nesta parte da árvore origina os elementos anatômicos (ou tecidos) da casca e do lenho.
- **Raios medulares:** são canais que atravessam radialmente o tronco do centro ao exterior, permitindo a distribuição horizontal de parte da seiva elaborada.

Graficamente, podemos representar o processo de formação e condução da seiva da árvore conforme Figura 1.9.

### 1.3 Características da madeira para a construção

A madeira possui características intrínsecas à sua formação e à sua composição, as quais são determinantes para o seu desempenho enquanto material construtivo, indo além de suas características físicas e mecânicas. Aqui, trata-se da durabilidade natural, da questão sensitiva (visual, tátil, sonora), de saúde e bem-estar humano, aspectos que são influenciados positivamente pelo uso da madeira.



**FIGURA 1.9**  
Processo de formação e condução da seiva bruta e elaborada.  
Fonte: adaptada de Hellmeister (1983). Desenho: Inafuku (2022).

### 1.3.1 Durabilidade natural

A durabilidade natural da madeira diz respeito à sua capacidade de resistir aos agentes de degradação biológica (bactérias, fungos e insetos) e ambiental (sol, chuva, vento), mantendo suas propriedades e seu desempenho. Como um material natural e biodegradável que é, os processos de degradação são naturais na madeira. No entanto, tais processos podem ser prevenidos e controlados por meio de procedimentos simples relacionados à sua escolha e à sua aplicação, e à manutenção de componentes e sistemas construtivos dela advindos.

Algumas espécies de madeira possuem uma durabilidade natural maior que outras. Entre os fatores que sustentam essa propriedade estão a espécie e a característica anatômica da parte da árvore da qual a peça foi retirada. São, assim, normalmente mais duráveis: as folhosas de crescimento lento; as madeiras mais densas; a madeira do cerne e aquelas com presença de óleos essenciais, ceras e resinas.

A durabilidade natural da madeira também é garantida pelo detalhamento de projeto, será apresentado no capítulo 4 deste livro. São algumas das recomendações: proteger contra a água ou permitir seu rápido escoamento, evitar interfaces onde a água possa se acumular, propiciar sua ventilação permanente – principalmente quando for umedecida –, proteger suas extremidades e evitar a ascensão de umidade por capilaridade, afastando elementos construtivos do solo (INO, 1997).

### 1.3.2 Propriedade térmica

A condutividade térmica de determinado material se refere à sua capacidade de conduzir energia térmica (fluxo de calor), o que ocorre mediante diferenças de temperatura entre as suas faces e de acordo com a sua espessura. A condutividade térmica é influenciada pela densidade do material, no qual quanto menor a densidade (relação entre massa e volume) menor é a sua condutividade.

A madeira, em comparação a materiais comumente utilizados na construção civil, possui baixa densidade. Isso ocorre devido à quantidade de vazios próprios de sua estrutura, na qual as cavidades de fibras, vasos e traqueídeos abrigam grande volume de ar, este último, um isolante térmico natural. Isso confere à madeira a propriedade de baixa condutividade térmica, atuando também como um material isolante térmico, de desempenho muito superior ao do concreto e do aço, por exemplo.

Há, no entanto, outros fatores que exercem influência sobre a condutividade térmica das diferentes madeiras, incluindo: teor de umidade, direção dos grãos<sup>6</sup>,

<sup>6</sup> Grã é o termo empregado para indicar a direção dos elementos celulares em relação ao eixo longitudinal do tronco: direita/cruzada (reversa, ondulada e irregular).

## QUADRO 1.1

## CARACTERÍSTICAS DE DURABILIDADE NATURAL E PERMEABILIDADE AO TRATAMENTO PRESERVATIVO DE ALGUMAS ESPÉCIES MAIS CONHECIDAS E SEUS RESPECTIVOS USOS

| Nome vulgar e nome científico                          | Durabilidade natural ao ataque biológico e permeabilidade ao tratamento preservativo                       | Recomendações quanto ao principal emprego de madeiras em edifícios                                                        |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maçaranduba ou paraju<br><i>Manilkara longifolia</i>   | Resistência moderada a alta ao apodrecimento.                                                              | Sem tratamento: assoalho; estrutura da cobertura; elementos externos.                                                     |
| Jatobá ou jataí peba<br><i>Dialium Guianense</i>       | Resistência média a alta ao ataque de organismos xilófagos; baixa permeabilidade.                          | Sem tratamento: assoalho; estrutura da cobertura; elementos externos.                                                     |
| Peroba rosa<br><i>Aspidosperma polyneuron</i><br>Muell | Baixa resistência ao ataque de organismos; baixa permeabilidade ao tratamento preservativo sob pressão.    | Sem tratamento: acabamento interno;<br>Com tratamento: esquadria; assoalho; estrutura da cobertura.                       |
| Pinho do Paraná<br><i>Araucaria angustifolia</i>       | Baixa resistência ao apodrecimento; alta permeabilidade ao tratamento preservativo sob pressão.            | Com tratamento: acabamento interno; miolo de porta; estrutura de cobertura.                                               |
| Cupiuba<br><i>Goupia glabra</i>                        | Alta resistência ao ataque de organismos xilófagos; moderada permeabilidade ao tratamento sob pressão.     | Sem tratamento: acabamento interno; assoalho; estrutura de cobertura; elementos externos; fundação em contato com o solo. |
| Eucalipto citriodora<br><i>Eucalyptus Citriodora</i>   | Moderada resistência ao ataque de organismos xilófagos; moderada permeabilidade.                           | Sem tratamento: acabamento interior.<br>Com tratamento: esquadria; assoalho; estrutura da cobertura.                      |
| Eucalipto grandis<br><i>Eucalyptus Grandis</i>         | Moderada resistência ao ataque de organismos xilófagos; moderada permeabilidade ao tratamento sob pressão. | Sem tratamento: acabamento interno.<br>Com tratamento: esquadria; assoalho; estrutura da cobertura.                       |
| Pinus<br><i>Pinus spp</i>                              | Baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos; alta permeabilidade ao tratamento sob pressão.        | Com tratamento: acabamento interno; caibro, ripa; sarrafo.                                                                |

Fonte: Ino (2009), com base nos relatórios IPT (1981) e IPT (1989).

temperatura e irregularidades estruturais. Via de regra, quanto maior a densidade, teor de umidade e temperatura maior será a condutividade térmica da madeira. Além disso, a condutividade térmica em seus sentidos radial e tangencial é praticamente idêntica, porém, no sentido transversal é de 1,5 a 2,8 vezes maior, em parte em decorrência da sua estrutura celular (GLASS; ZELINKA, 2010). A baixa condutividade térmica da madeira é responsável pelo material ser percebido como caloroso mediante estímulo tátil, mantendo-se perceptualmente agradável tanto em climas quentes quanto frios.

### 1.3.3 Propriedade acústica

A propagação das ondas sonoras em um determinado espaço é influenciada diretamente pelos mobiliários existentes, ocupação (quantidade de pessoas) e, principalmente, pela composição dos materiais que revestem a superfície do ambiente, em especial, sua materialidade, geometria e dimensão. Materiais rígidos e pesados tendem a refletir o som, enquanto materiais macios tendem a absorvê-lo. A compreensão dessa relação é fundamental, pois quanto maior a reflexão sonora dentro de determinado ambiente, maior tende a ser o tempo de reverberação, ou seja, o tempo que determinado som demora para cessar. A madeira é, em geral, um material rígido e de baixa densidade, o que a torna acusticamente reflexiva, ou seja, com baixo coeficiente de absorção sonora. No entanto, a porosidade, a estrutura anatômica e a composição química dos materiais exercem influência sobre suas propriedades acústicas. Desse modo, além da anisotropia, as distintas densidades e estruturas celulares das diversas espécies de madeira existentes fazem com que haja uma grande variabilidade sobre o coeficiente de absorção da madeira, conforme apresentado na Tabela 1.3. Em geral, a absorção sonora de *hardwoods* é melhor do que a de *softwoods* porque na sua composição celular há presença dos vasos que são mais permeáveis do que os dos traqueídes. Seguindo a mesma lógica, a seção transversal possui maior coeficiente de absorção sonora do que a radial e a tangencial (JANG; KANG, 2021). Outro fator que exerce influência é o acabamento superficial empregado (ver tabela 1.4), visto que altera a superfície do material (XU *et al.*, 2020).

Outro aspecto a ser levado em consideração no ambiente construído consiste no isolamento acústico, que se refere à capacidade de transmissão de determinado som de um ambiente para outro. Materiais densos e pesados tendem a ser mais eficazes no isolamento acústico. A madeira é um material de densidade relativamente baixa, principalmente quando comparada a outros mate-

TABELA 1.2  
CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA  
E COM DISTINTOS ACABAMENTOS SUPERFICIAIS

| Espécie                                                                                        | Rugosidade superficial (µm) | Condutividade térmica [W/(m K)] |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Aço inoxidável                                                                                 | 0,02                        | 0,336                           |
| Mármore                                                                                        | 0,16                        | 1,947                           |
| Carvalho branco ( <i>Quercus alba</i> ) – escovada                                             | 57,10                       | 0,120                           |
| Carvalho branco ( <i>Quercus alba</i> ) – revestida com óleo                                   | 56,80                       | 0,128                           |
| Carvalho branco ( <i>Quercus alba</i> ) – acabamento em uretano                                | 36,75                       | 0,119                           |
| Carvalho branco ( <i>Quercus alba</i> ) – acabamento espelhado (semelhante ao usado em pianos) | 0,12                        | 0,119                           |
| Cedro japonês ( <i>Cryptomeria japonica</i> ) – lixada                                         | 3,65                        | 0,120                           |
| Cedro japonês ( <i>Cryptomeria japonica</i> ) – escovada (técnica japonesa <i>uzukuri</i> )    | 52,38                       | 0,106                           |
| Cipreste japonês ( <i>Chamaecyparis obtusa</i> ) – escovada                                    | 35,03                       | 0,121                           |

Fonte: adaptada de Ikei e Miyazaki (2020) e Ikei, Song e Miyazaki (2017a, 2017b, 2018)

riais construtivos, como o concreto e a alvenaria. Por esse motivo, a madeira, em geral, não é considerada um isolante acústico eficaz. No entanto, cabe levar em consideração que a densidade da madeira pode variar significativamente de acordo com a espécie, conforme apresentado na seção 2.1.3. Nesse contexto, a capacidade de atenuação sonora da madeira pode também ser bastante variável. Por exemplo, no estudo de Neto *et al.* (2008) foi verificado que a madeira da espécie *Eucalyptus grandis* (densidade de 0,880 g/cm<sup>3</sup>) promoveu a atenuação sonora de 25,7 dB enquanto a da espécie *Pinus sp.* (densidade de 0,445 g/cm<sup>3</sup>) foi de apenas de 15 dB.

TABELA 1.3  
COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA

| Espécie                                    | Densidade | Frequência (Hz) |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------|-----------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                            |           | 125             | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000  |
| Hardwoods                                  |           |                 |       |       |       |       |       |
| Nogueira ( <i>Castanea</i> )               | 526       |                 |       |       |       | 0,282 | 0,185 |
| Alamo prateado ( <i>Populus alba</i> )     | 476       |                 |       |       |       | 0,432 | 0,219 |
| Sinensis ( <i>Aquilaria sinensis</i> )     | 592       |                 |       |       |       | 0,265 | 0,233 |
| Platanus ( <i>Cilicia</i> )                | 635       |                 |       |       |       | 0,464 | 0,450 |
| Amoreira ( <i>Celtis occidentalis</i> )    | 729       |                 |       |       |       | 0,233 | 0,640 |
| Paulownia ( <i>Paulowniaceae</i> )         | 328       |                 |       |       |       | 0,142 | 0,128 |
| Balsa leve ( <i>Ochroma pyramidale</i> )   | 140       |                 |       |       |       | 0,175 | 0,557 |
| Balsa pesada ( <i>Ochroma pyramidale</i> ) | 316       |                 |       |       |       | 0,181 | 0,269 |
| Cerejeira ( <i>Prunus serotina</i> )       | 472       |                 |       |       |       | 0,162 | 0,247 |
| Bordo ( <i>Acer saccharum</i> )            | 452       |                 |       |       |       | 0,259 | 0,314 |
| <i>Eucalyptus urophylla</i>                |           |                 | 0,033 | 0,017 | 0,017 | 0,042 |       |
| <i>Eucalyptus camaldulensi</i>             |           |                 | 0,022 | 0,012 | 0,013 | 0,078 |       |
| <i>Eucalyptus cloeziana</i>                |           |                 | 0,025 | 0,010 | 0,010 | 0,120 |       |
| Binuang ( <i>Octomeles sumatrana</i> )     |           |                 |       | 0,309 | 0,384 | 0,333 | 0,306 |
| Balsa ( <i>Ochroma lagopus Swartz</i> )    |           |                 |       | 0,325 | 0,438 | 0,317 | 0,216 |
| Paulownia ( <i>Paulownia coreana</i> )     |           |                 |       | 0,094 | 0,099 | 0,097 | 0,110 |
| Softwoods                                  |           |                 |       |       |       |       |       |
| Abeto coreano ( <i>Picea koraiensis</i> )  |           | 0,083           | 0,015 | 0,026 | 0,050 | 0,068 |       |
| Abeto Sitka ( <i>Picea sitchensis</i> )    |           | 0,106           | 0,020 | 0,022 | 0,018 | 0,043 |       |
| <i>Picea brachytyla</i>                    |           | 0,108           | 0,016 | 0,018 | 0,023 | 0,035 |       |

Fonte: adaptada de Jang e Kang (2021), Jiang, Rong-Jun e Fei (2004), Kolya e Kang (2020) e Xu et al. (2020).

**TABELA 1.4**  
**VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA EM FUNÇÃO**  
**DA ESPESSURA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL**

| Espécie: <i>Picea brachytyla</i> |                                    |                 |       |       |       |       |      |
|----------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|
| Gravidade Específica             | Espessura do acabamento de PU (mm) | Frequência (Hz) |       |       |       |       |      |
|                                  |                                    | 125             | 250   | 500   | 1000  | 2000  | 4000 |
| 0,51                             | 0,00                               | 0,108           | 0,016 | 0,018 | 0,023 | 0,035 |      |
|                                  | 0,30                               | 0,148           | 0,102 | 0,066 | 0,042 | 0,059 |      |
|                                  | 0,60                               | 0,158           | 0,099 | 0,072 | 0,050 | 0,054 |      |

Fonte: adaptada de Xu *et al.* (2020).

### 1.3.4 Emissão e sorção de COVs

Sorção é o nome dado ao dinâmico processo de adsorção e dessorção. A adsorção se refere ao fenômeno em que átomos, íons ou moléculas na forma gasosa ou líquida aderem à superfície de um material, criando uma película. O processo se diferencia da absorção, em que o fluido é dissolvido e permeia o material, pois no caso da adsorção, o efeito é superficial. Já a dessorção é o processo inverso da adsorção, em que a camada adsorvida se desprende da superfície e retorna ao ar.

A capacidade de absorção e adsorção da madeira não ocorre somente em relação a moléculas de água (higroscopia), mas também aos compostos orgânicos voláteis (COVs). Em função de sua estrutura molecular, a madeira é capaz de adsorver os COVs presentes no ar e dessorvê-los gradativamente, reduzindo a concentração dessas partículas e proporcionando a melhoria da qualidade do ar, especialmente em ambientes fechados. Essa propriedade é relevante, tendo em vista que a toxicidade de determinado COV está diretamente associada à sua concentração – que varia de acordo com cada substância –, logo, ao reduzir sua concentração, seus potenciais riscos à saúde são diminuídos (KOTRADYOVA *et al.*, 2019; NIEDERMAYER *et al.*, 2013).

Apesar de a madeira ser capaz de contribuir para a adsorção de COVs presentes no ar, é relevante destacar que o próprio material também é, em si, uma fonte de emissão de COVs (em alguns casos, bastante significativa). No entanto, diferentemente de COVs associados a produtos químicos, os compostos volatilizados pela madeira

são em sua maioria terpenos, substâncias produzidas naturalmente pelos vegetais, em especial por árvores coníferas. O segundo grupo mais abundante é formado por carbonilas, principalmente os aldeídos resultantes do processo de oxidação de ácidos-graxos insaturados. E o último componente mais abundante são os compostos aromáticos (CZAJKA; FABISIAK; FABISIAK, 2020).

Pesquisas recentes sugerem que, da mesma forma que existem COVs nocivos à saúde, causadores de câncer e doenças respiratórias, outros são capazes de causar o efeito oposto, sendo potencialmente benéficos à saúde. Um exemplo dessa classe de COVs é o  $\alpha$ -pineno, um tipo de terpeno que é especialmente abundante em espécies de coníferas. Além de ser majoritariamente percebido como de odor agradável (é a principal substância responsável pelo odor característico das coníferas), tem efeito relaxante sobre as pessoas, melhora o sistema imunológico, tem efeito anti-inflamatório e pode até contribuir para o tratamento de alguns tipos de câncer (IKEI; SONG; MIYAZAKI, 2016; KIM *et al.*, 2015; THOPPIL; BISHAYEE, 2011).

### 1.3.5 Propriedades sensoriais

A maneira com que experienciamos a realidade ocorre pelo processamento e análise das informações coletadas por meio dos sentidos. Mesmo quando há a percepção de uma modalidade sensorial predominante (frequentemente a visão), dados provenientes dos outros sentidos são cruzados a todo momento para fornecer informações mais detalhadas acerca de determinado objeto ou cena. Por exemplo, ao avistar um objeto é natural o impulso de tocá-lo para averiguar se sua superfície possui propriedades que correspondem à expectativa gerada pelo estímulo visual. Qual a temperatura dessa superfície? E sua rugosidade? A partir de explorações multissensoriais, cria-se um repertório com base em experiências prévias que influenciam a percepção e o comportamento do usuário em relação ao material. Por exemplo, por conta de sua baixa condutividade térmica, em geral, a madeira é percebida como um material caloroso, cujo toque é agradável. Em um cenário hipotético de uma caminhada ao ar livre em um dia frio, ao se deparar com duas opções de banco, sendo um de madeira e outro de aço, provavelmente a escolha instintiva da grande maioria das pessoas será o banco de madeira.

Portanto, pode-se compreender que todo material possui propriedades sensoriais, que, inclusive, nos permitem discernir um material de outro. No entanto, o aspecto prático dessa propriedade é frequentemente subestimado, considerando que os livros que têm como tópico a madeira focam predominantemente nas propriedades funcionais do material, como resistência mecânica, trabalhabilidade e

durabilidade, havendo pouca ou nenhuma menção às propriedades sensoriais. Não raro, são abordadas unicamente as propriedades visuais do material, com destaque para a cor e para a aparência dos grãos, que influenciam seu valor estético. No entanto, pesquisas realizadas nas últimas décadas, que investigaram os efeitos das propriedades sensoriais da madeira sobre o ser humano, verificaram que o contato com a madeira induz a redução dos níveis de estresse e proporciona relaxamento (BURNARD; KUTNAR, 2020; IKEI; SONG; MIYAZAKI, 2018; KELZ; GROTE; MOSER, 2011; SAKURAGAWA *et al.*, 2005; TSUNETSUGU; MIYAZAKI; SATO, 2005). Além disso, há a prevalente percepção de que a presença de madeira melhora a qualidade do espaço, tornando-o mais aconchegante, agradável, natural e saudável. Foram realizados estudos a partir de estímulo visual, olfativo e tátil (separadamente) que chegaram aos mesmos resultados. Os estudos nessa área ainda são escassos e preliminares, porém oferecem indicativos de que reside – ao menos parcialmente – nas propriedades sensoriais da madeira o motivo pelo qual o material causa efeitos e percepções positivas sobre o ser humano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. Espécies de pinus mais plantadas no Brasil. In: *Embrapa Florestas. Sistema de Produção* 5, 2. ed., jun/2014. Disponível em: <https://goo.gl/Hrj7bv>. Acesso em 27 jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16864-1: Madeira Serrada – Parte 1 Terminologia*. Rio de Janeiro, 2020.
- BERRIEL, A. *Arquitetura de madeira: reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos*. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- BRITO, L. D. *Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação*. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- BURNARD, M. D.; KUTNAR, A. Human stress responses in office-like environments with wood furniture. *Building Research and Information*, [s. l.], v. 48, n. 3, p. 316-330, 2020. DOI: 10.1080/09613218.2019.1660609.
- CZAJKA, M.; FABISIAK, B.; FABISIAK, E. Emission of Volatile Organic Compounds From Heartwood and Sapwood of Selected Coniferous Species. *Forests*, [s. l.], v. 11, n. 1, 2020. DOI: 10.3390/f11010092
- GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture relations and physical properties of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). *Wood handbook-wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, p. 4-1 a 4-19. DOI: 10.2737/FPL-GTR-190.
- HELLMEISTER, J. C. Madeiras e suas características. In: I Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, 1983, São Carlos. *Anais... I Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira*, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1983, p. 1-37.
- HERZOG, T.; NATTERER, J.; SCHWEITZER, R.; VOLZ, M.; WINTER, W. *Timber Construction Manual*. Munich: Edition Detail, 2003.
- HOWE, J. *Building with Wood: Proactive Climate Protection*. Dovetail Partners, 2015. Disponível em: [http://www.dovetailinc.org/reports/Building+with+Wood+Proactive+Climate+Protection\\_n656?prefix=%2Freports](http://www.dovetailinc.org/reports/Building+with+Wood+Proactive+Climate+Protection_n656?prefix=%2Freports). Acesso em: 27 jun. 2023.
- IKEI, H.; MIYAZAKI, Y. Positive physiological effects of touching sugi (*Cryptomeria japonica*) with the sole of the feet. *Journal of Wood Science*, v. 66, n. 1, p. 1-12, 2020. DOI: 10.1186/s10086-020-01876-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01876-1>.
- IKEI, H.; SONG, C.; MIYAZAKI, Y. Effects of olfactory stimulation by  $\alpha$ -pinene on autonomic nervous activity. *Journal of Wood Science*, v. 62, n. 6, p. 568-72, 2016. DOI: 10.1007/s10086-016-1576-1.
- IKEI, H.; SONG, C.; MIYAZAKI, Y. Physiological effects of touching coated wood. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 14, n. 7, 2017. a. DOI: 10.3390/ijerph14070773.

- IKEI, H.; SONG, C.; MIYAZAKI, Y. Physiological effects of touching wood. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 14, n. 7, p. 1–14, 2017. DOI: 10.3390/ijerph14070801.
- IKEI, H.; SONG, C.; MIYAZAKI, Y. Physiological effects of touching the wood of hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) with the soles of the feet. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 10, 2018. DOI: 10.3390/ijerph15102135.
- INO, A. *Projeto e construção em madeira*. Material produzido para o minicurso realizado no V Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis e II Bienal de Sustentabilidade José Lutzenberger, Recife, 2009.
- \_\_\_\_\_. Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma edificação em madeira. *Workshop Durabilidade das Construções*, São Leopoldo, Brasil, 1997.
- JANG, E. S.; KANG, C. W. Sound absorption characteristics of three species (binuang, balsa and paulownia) of low density hardwood. *Holzforschung*, v. 75, n. 12, p. 1115–1124, 2021. DOI: 10.1515/hf-2021-0049.
- JIANG, Z.; RONG-JUN, Z.; FEI, Ben-Hua. Sound absorption property of wood for five eucalypt species. *Journal of Forestry Research*, v. 15, n. 3, p. 207–210, 2004.
- JOHNSON, H. *La madera*. Barcelona: Editorial Blume, 1994.
- KELZ, C.; GROTE, V.; MOSER, M. Interior wood use in classrooms reduces pupils' stress levels. *Proceedings of the 9th Biennial Conference on Environmental Psychology*, 2011.
- KIM, D. S. *et al.* Alpha-Pinene Exhibits Anti-Inflammatory Activity Through the Suppression of MAPKs and the NF- $\kappa$ B Pathway in Mouse Peritoneal Macrophages. *American Journal of Chinese Medicine*, v. 43, n. 4, p. 731–42, 2015. DOI: 10.1142/S0192415X15500457.
- KOLYA, H.; KANG, C. W. High acoustic absorption properties of hackberry compared to nine different hardwood species: A novel finding for acoustical engineers. *Applied Acoustics*, v. 169, 2020. DOI: 10.1016/j.apacoust.2020.107475.
- KOTRADYOVA, V. *et al.* Wood and its impact on humans and environment quality in health care facilities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 18, 2019. DOI: 10.3390/ijerph16183496.
- NETO, A. L. *et al.* Efeito das Diferentes Madeiras no Isolamento Acústico. *Floresta*, v. 38, p. 673–82, 2008.
- NIEDERMAYER, S. *et al.* VOC sorption and diffusion behavior of building materials. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 71, n. 5, p. 563–71, 2013. DOI: 10.1007/s00107-013-0713-4.
- PEDRAZZI, C. *et al.* *Química da madeira*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, 2019.
- SAKURAGAWA, S. *et al.* Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. *Journal of Wood Science*, v. 51, n. 2, p. 136–40, 2005. DOI: 10.1007/s10086-004-0643-1.

- SANTOS, F. A. *et al.* Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, v. 35, nº 5, pp. 1004-10, 2012.
- THOPPIL, R. J.; BISHAYEE, A. Terpenoids as potential chemopreventive and therapeutic agents in liver cancer. *World Journal of Hepatology*, 2011. DOI: 10.4254/wjh.v3.i9.228.
- TSUNETSUGU, Y.; MIYAZAKI, Y.; SATO, H. Visual effects of interior design in actual-size living rooms on physiological responses. *Building and Environment*, v. 40, n. 10, p. 1341-6, 2005. DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.11.026
- WAUGH THISTLETON ARCHITECTS. *100 projects UK CLT*. Canadá: Softwood Lumber Board & Forestry Innovation Investment, 2018.
- WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). *Wood handbook: wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, pp. 3-1 a 3-18.
- Xu, W. *et al.* Effect of coating thickness on sound absorption property of four wood species commonly used for piano soundboards. *Wood and Fiber Science*, v. 52, n. 1, p. 28-43, 2020. DOI: 10.22382/wfs-2020-004.