

Capítulo 4
Projeto e construção de
edifícios em madeira

Lucia Shimbo
Akemi Ino

Projeto e construção de
edifícios em madeira

Este livro parte do argumento de que a arquitetura e a construção são indissociáveis no momento de elaboração do projeto arquitetônico. Esse argumento é derivado, por um lado, da ideia da *tectônica* bastante discutida na teoria da arquitetura, que reúne justamente a conexão conceitual da montagem física e metafísica do espaço arquitetônico, a partir de um processo de projeto que garanta que os fragmentos técnicos, estruturais e construtivos sejam arranjados em consonância com a concepção do espaço (FRAMPTON, 2001).

Por outro lado, ele se ampara nos mais de dezesseis séculos de arquitetura e de construção baseadas na tríade vitruviana, isto é, de que o edifício precisa ser firme, útil e belo (*firmitas, utilitas e venustas*), em um período no qual a técnica construtiva e o projeto arquitetônico eram indissociáveis. Foi somente a partir do século XIX, com o advento da parcelização do saber e das tecnologias, que esse equilíbrio foi quebrado (PARICIO, 1996).

Houve, portanto, uma quebra artificial da intimidade histórica entre arquitetura e construção, que precisa ser resgatada nos dias de hoje, quando a flexibilidade técnica permite, paradoxalmente, que os arquitetos esqueçam da presença da técnica (MONEO, 1985). Entendemos, assim, que “não há concepção sem técnica, nem projeto sem matéria” (PIÑON, 2006, p. 122) e que estrutura e arquitetura nascem juntas no momento elaboração do projeto (LOPES; BOGÉA; REBELLO, 2006).

A questão que este capítulo busca responder é: como resgatar essa unidade original entre concepção estrutural, arquitetônica e construtiva? A ideia aqui é apresentar a articulação entre concepção arquitetônica, princípios estruturais, sistemas construtivos e métodos de construção como um primeiro subsídio para a elaboração do projeto arquitetônico de edifícios.

É importante ressaltar que, para a concepção de projetos em madeira, essa articulação é imprescindível. Como explicam Bittencourt e Hellmeister (1995), é importante que o projeto de arquitetura responda às necessidades da produção. Nas palavras dos autores:

O fechamento e o paramento (acabamento) adquirem nas construções em madeira um valor e um significado inexistentes nos sistemas construtivos em alvenaria, pois é necessário definir, especificar e detalhar estas partes do edifício, para recobri-lo e protegê-lo, possibilitando a sua utilização. [...] Embora possa parecer elementar, a dissociação da estrutura, do fechamento e do paramento, exige do profissional conhecimento pormenorizado do material e derivados, dos materiais passíveis de serem conjugados com a madeira, dos detalhes construtivos principalmente das ligações, dos sistemas estruturais, do processo de produção da construção: seus agentes e meios produtivos (BITTENCOURT; HELLMEISTER, 1995, p. 8).

Este capítulo apresenta quatro itens principais. O primeiro trata dos aspectos relacionados à organização dos sistemas construtivos, à análise estrutural e à modulação, elementos estes que devem ser levados em consideração no momento das concepções estrutural, construtiva e arquitetônica. O segundo item apresenta os distintos graus de fabricação dos sistemas construtivos em madeira. No terceiro, são elencados alguns princípios básicos de projeto para garantir a durabilidade de edifícios em madeira. No quarto e último item, são apresentados os principais sistemas construtivos atualmente difundidos.

4.1 Concepções estrutural, construtiva e arquitetônica

Como projetar edifícios considerando a tectônica? Ou seja, como a concepção estrutural e construtiva entra no momento da elaboração do projeto? Há diversos caminhos possíveis e dimensões a serem consideradas nesse processo. Um dos primeiros passos na direção da tectônica de um projeto de arquitetura é perceber que o espaço gerado resulta de escolhas quanto ao material e às técnicas construtivas que serão combinados para atender a cada uma das funções do edifício, sumarizadas desde a tríade vitruviana.

Para ser belo, firme e útil, o edifício precisa atender a algumas exigências relativas à segurança (ou seja, ter desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação), à habitabilidade (garantir estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do

ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil) e à sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) – como preconiza a NBR 15575 (ABNT, 2013), que foi um marco importante para garantir a qualidade dos edifícios no Brasil, principalmente, para o uso habitacional.

Nesta seção, as concepções construtiva e estrutural entram na elaboração do projeto arquitetônico em três aspectos principais: pela compreensão das partes do sistema construtivo; na análise dos sistemas estruturais e pela modulação do projeto.

4.1.1 Sistemas construtivos

Pensar no ordenamento da construção é estabelecer a unidade que surge quando as partes consideradas em seu conjunto determinam o todo e, inversamente, quando as partes isoladas derivam desse todo, de modo igualmente coerente. Há um constante vaivém entre as partes e o todo e é essa constante reciprocidade que dá coerência ao conjunto. Uma comparação bastante comum desse ordenamento é com a língua. Por exemplo, o significado de cada frase de uma língua deriva das palavras que a compõem, ao mesmo tempo em que o significado de cada palavra deriva da frase como um todo (HERTZBERGER, 1996).

Hertzberger (1996) destaca que cada edifício tem uma unidade temática e uma unidade de vocabulário, ou seja, um uso específico, um material e um método de construção. Mas, nesse caso, o essencial é basear o projeto numa estratégia coerente. Começando pelos componentes, temos de percorrer todo o projeto do edifício várias vezes para verificarmos se todas as extremidades podem ser reunidas sob o denominador comum de um tema, testando assim a hipótese (HERTZBERGER, 1996).

Continuando com essa comparação, podemos pensar que os sistemas construtivos correspondem a esse primeiro denominador comum para ordenar a construção numa estratégia coerente. As funções e exigências são respondidas por diferentes partes do edifício. O conjunto dessas partes forma os sistemas construtivos, que é um conceito que surgiu entre os anos de 1950 e 1960 na Europa, no bojo das tentativas de introduzir o controle de qualidade e construir novas relações com os fabricantes de componentes construtivos, em busca da industrialização da construção (GANN, 1996). Hoje ela se encontra amplamente difundida na construção civil brasileira.

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece cinco sistemas principais que compõem os sistemas construtivos:

- Sistemas estruturais.
- Sistemas de pisos.
- Sistemas de vedações verticais internas e externas.
- Sistemas de coberturas.
- Sistemas hidrossanitários.

Cada um desses sistemas é formado por componentes construtivos, por exemplo: pilares, vigas, painéis, telhas, blocos etc. Esses componentes construtivos, por sua vez, são compostos por determinado material construtivo (madeira, aço, cimento, terra, bambu, entre outros). Essa nomenclatura será mobilizada ao longo deste livro.

4.1.2 Análise estrutural

Entendido esse primeiro ordenamento da construção, o segundo aspecto é conceber a estrutura do edifício considerando a relação com o espaço gerado pela escolha do sistema estrutural, os sistemas de transmissão das cargas ao solo e os materiais construtivos mais adequados a esses sistemas (REBELLO, 2000). Em outras palavras, trata-se de pensar numa análise estrutural que, no momento da elaboração do projeto, pode ser bastante simplificada.

No caso da construção em madeira, enfatizamos dois sistemas principais que efetuam a transmissão das cargas: o primeiro ocorre por componentes construtivos estruturais em forma de barras (que chamaremos de estruturas independentes) e o segundo se dá por meio de placas (que formam as paredes estruturais, como chamaremos daqui por diante).

Essa análise estrutural permite identificar quais são os componentes construtivos que transmitem as cargas, iniciando-se pelo sistema de cobertura até chegar na fundação. Como mostra o exemplo da Figura 4.1, começamos pela telha, que descarrega a carga nas vigas secundárias de cobertura (também chamadas de terças) que, por sua vez, descarregam nas vigas principais, e estas se apoiam nos pilares, que transmitem as cargas à fundação.

As estruturas independentes são formadas, principalmente, por pilares e vigas e se caracterizam pela separação entre os sistemas estruturais e os sistemas de vedação vertical. Em outras palavras, só tem a função estrutural e não a de fechamento. As cargas estruturais as quais estão submetidos os edifícios se concentram nessas barras que, em geral, apresentam maiores dimensões do que os componentes de madeira empregados nas paredes estruturais. Por isso, podem ser utilizadas para edifícios com vãos estruturais maiores. Essas características permitem maior

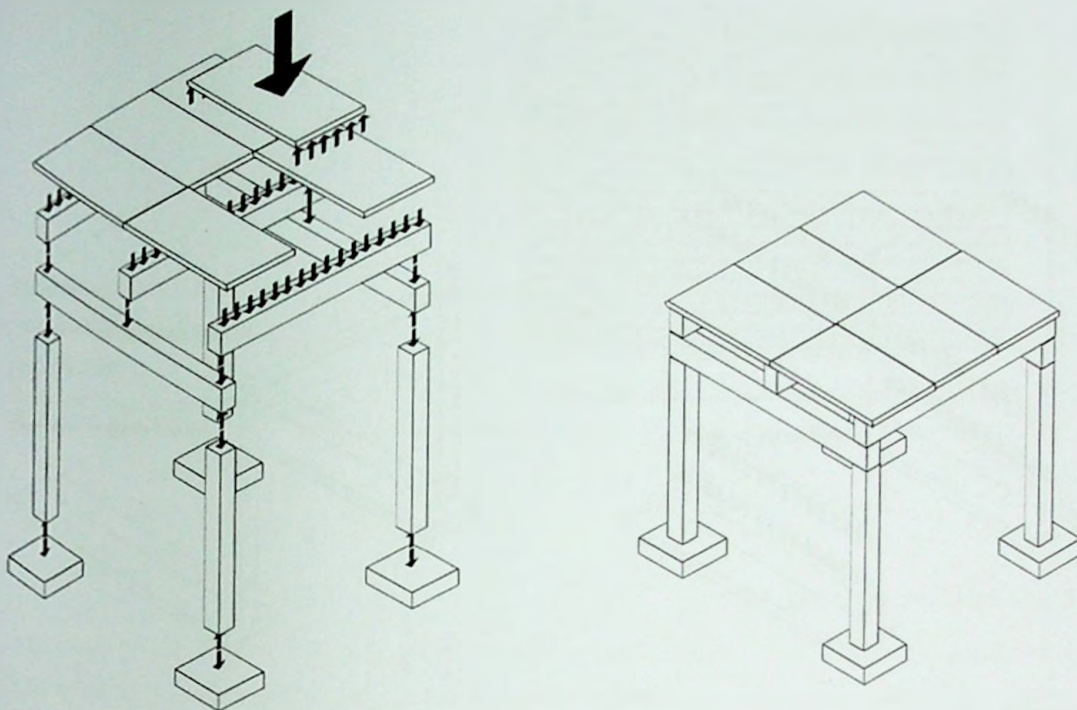


FIGURA 4.1

Transmissão das cargas em estrutura pilar e viga.

Fonte: adaptada de Ching (2010). Desenho: Inafuku (2022).

flexibilidade na composição arquitetônica, embora seja necessária a compatibilização entre vedação e estrutura, obtida por meio da modulação.

Nas paredes estruturais, essa análise se diferencia a partir dos componentes principais da estrutura. Ao invés de vigas que descarregam nos pilares, há placas que distribuem as cargas ao longo de seu comprimento e as descarregam diretamente na fundação, como está representado na Figura 4.2.

As paredes estruturais, como a própria denominação diz, se caracterizam pela correspondência entre os sistemas de vedação vertical e de estrutura, ou, em outras palavras, esse sistema tem a função também de vedar. As cargas estruturais são distribuídas ao longo das placas, fazendo com que sejam necessários componentes complementares para a abertura de vazios nos panos de parede (por exemplo, o uso de verga e contraverga para esquadrias). Essas características resultam numa composição arquitetônica que articula espaços com vãos menores, na qual a modulação é fundamental, assim como a compatibilização com outros sistemas (principalmente cobertura, pisos e instalações hidrossanitárias).

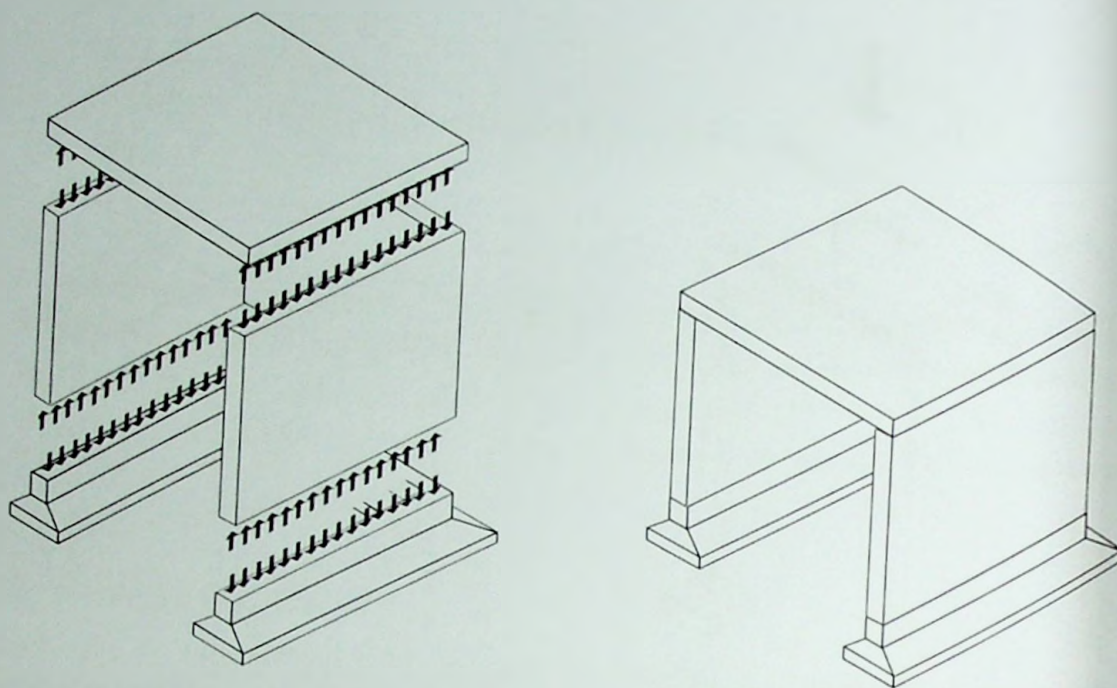


FIGURA 4.2
Transmissão das cargas em parede estrutural.
Fonte: adaptada de Ching (2010). Desenho: Inafuku (2022).

4.1.3 Modulação

O ordenamento da construção também pode ser obtido pela modulação do projeto arquitetônico, em consonância com o sistema estrutural adotado. Ela cumpre o papel que a urdidura tem no caso da fabricação dos tecidos em um tear, por exemplo, na medida em que estabelece o ordenamento básico do tecido proporcionando uma maior variedade de cor e de textura à trama, como ilustra a Figura 4.3 (HERTZBERGER, 1996).

O módulo é uma medida reguladora das proporções de uma obra arquitetônica. Na arquitetura grega, o módulo era adotado principalmente com função estética. Já os romanos adotaram o passo (uma medida antropométrica) como módulo, cumprindo aspecto estético-funcional. A partir da Revolução Industrial, o módulo passa a ser adotado dentro de uma concepção geral de coordenação modular, visando à industrialização da construção, que era essencial para a padronização de componentes, à racionalização da construção, à redução de resíduos etc. (HERTZBERGER, 1996). No Brasil, a discussão sobre coordenação modular se difundiu amplamente, articulada ao tema da racionalização da construção, em especial do sistema de alvenaria estrutural.

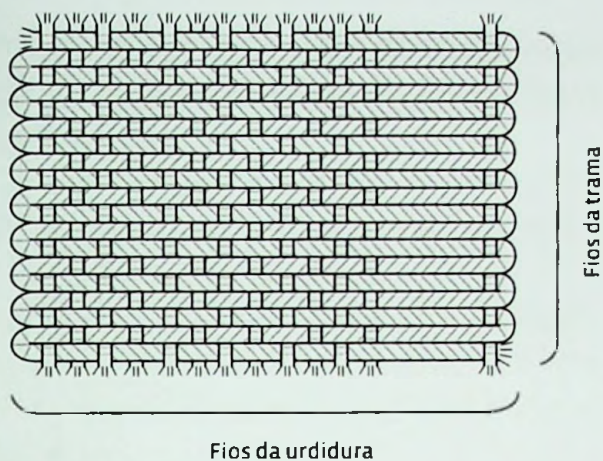


FIGURA 4.3
Trama e urdidura em um tecido.

Fonte: elaborada pelas autoras (2022).
Desenho: Inafuku (2022).

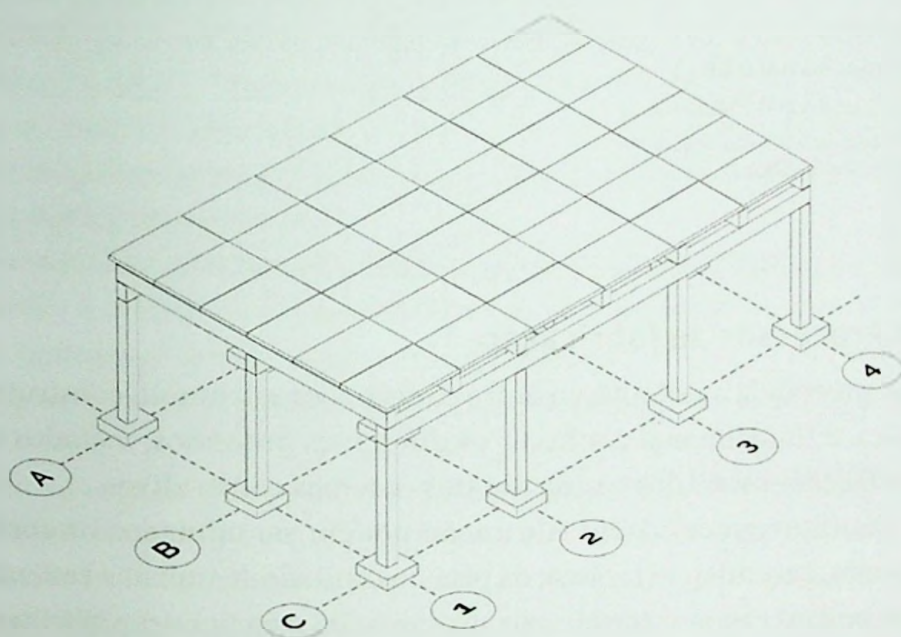


FIGURA 4.4
Perspectiva de estrutura modular a partir de malha

Fonte: adaptada de Kolb (2008). Desenho: Inafuku (2022)

No caso dos projetos em madeira, é fundamental estabelecer uma coordenação modular, definindo-se uma malha estrutural ortogonal formada a partir de um módulo mínimo. Essa malha estrutural é especificada no eixo vertical (y) com números e no eixo horizontal (x) com letras, conforme ilustra a perspectiva na Figura 4.4 e a planta na Figura 4.5.

No Brasil, tendo em vista a padronização de chapas de madeira e contraplacados, o módulo base mais comum é 60 cm, com seus múltiplos (120 cm) e submúltiplos (30 cm).

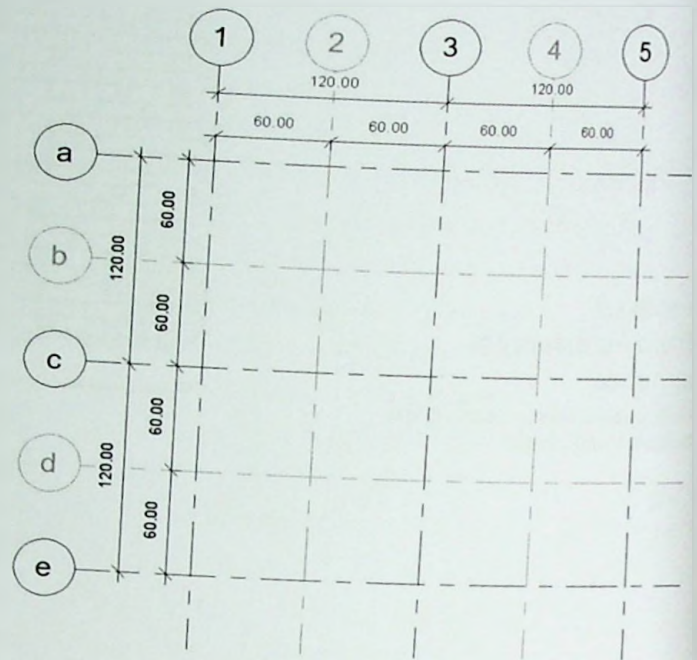


FIGURA 4.5
Modulação base de
construção em madeira.
Fonte: adaptada de KOŁB, 2008, p. 92.
Desenho: Inafuku (2022).

4.2 Processos de fabricação

Compreendida a articulação entre concepções estrutural, construtiva e arquitetônica, é fundamental conhecer os diferentes processos, métodos e técnicas de construção associados a cada um dos sistemas construtivos.

Distintos processos de fabricação podem ser adotados na construção com madeira, cuja diferenciação se dá pela quantidade de trabalho realizado na fábrica (que pode ser uma serraria, uma marcenaria, uma pequena fábrica e até grandes indústrias) e no canteiro de obras (JUNAC, 1984). Adotaremos a expressão em inglês *off site* para designar esse trabalho na fábrica, tendo em vista a disseminação do termo na construção civil tanto nacional quanto internacional; assim como utilizaremos a expressão *on site* para se referir ao trabalho em obra. É possível identificar, portanto, a existência de diferentes proporções de trabalho que ocorrem ora nos locais de fábricas ora no canteiro, de acordo com os sistemas construtivos ao longo da história e que coexistem contemporaneamente. Quanto maior a proporção de trabalho realizado na fábrica, maior o grau de pré-fabricação do sistema construtivo.

A pré-fabricação de componentes construtivos em madeira é difundida há bastante tempo, tendo em vista a menor complexidade de máquinas e de ferramentas necessárias, se comparadas a outros materiais, por exemplo, o aço. No canteiro de obras dos edifícios em madeira, a técnica de construção empregada,

na maioria das vezes, é a montagem desses componentes, que são fixados entre si por diferentes tipos de conexão (prego, encaixe, parafuso, cola e conectores metálicos), como detalharemos posteriormente.

Os sistemas construtivos em madeira podem ser agrupados de acordo com as proporções de trabalho *on site* e *off site*, como pode ser observado na Figura 4.6, adaptada de JUNAC (1984).

No primeiro caso, referente aos sistemas construtivos vernaculares, a totalidade do trabalho é realizada no canteiro de obras, ou seja, as toras de madeira são desdobradas e cortadas nas dimensões dos componentes construtivos que, por sua vez, são montados também em obras.

O segundo diz respeito aos sistemas que utilizam serrarias ou pequenas unidades de fabricação para aparelhar as peças de madeira em suas seções transversais, daí a denominação "método aparelhado". No canteiro de obras, os componentes de madeira aparelhada são cortados nos comprimentos adequados (portanto, longitudinalmente) e são realizados os ajustes necessários para a conexão dos componentes entre si.

No terceiro método, o pré-cortado, as serrarias ou unidades de fabricação aparelham a madeira e cortam os componentes em todas as seções de projeto. No canteiro, há a montagem dos componentes que chegam prontos da unidade de fabricação. A proporção de trabalho *off site* é aproximadamente igual ao trabalho *on site*.

Os métodos subsequentes se referem aos sistemas construtivos pré-fabricados. No quarto, os componentes construtivos são produzidos em unidades de pré-fabricação com maior emprego de tecnologia e de máquinas (podendo ser até indústrias). Podem ser chamados de componentes bidimensionais (por exemplo, painel vertical estrutural, painel laje e treliça), ou de pré-fabricação em 2D. No canteiro, há a montagem desses componentes entre si. No quinto, há a pré-fabricação volumétrica, tridimensional (3D), de ambientes ou da unidade habitacional completa, existindo aqui a pré-fabricação total. No canteiro, esses ambientes ou a unidade são acoplados à fundação do edifício e a proporção do trabalho *on site* é mínima.

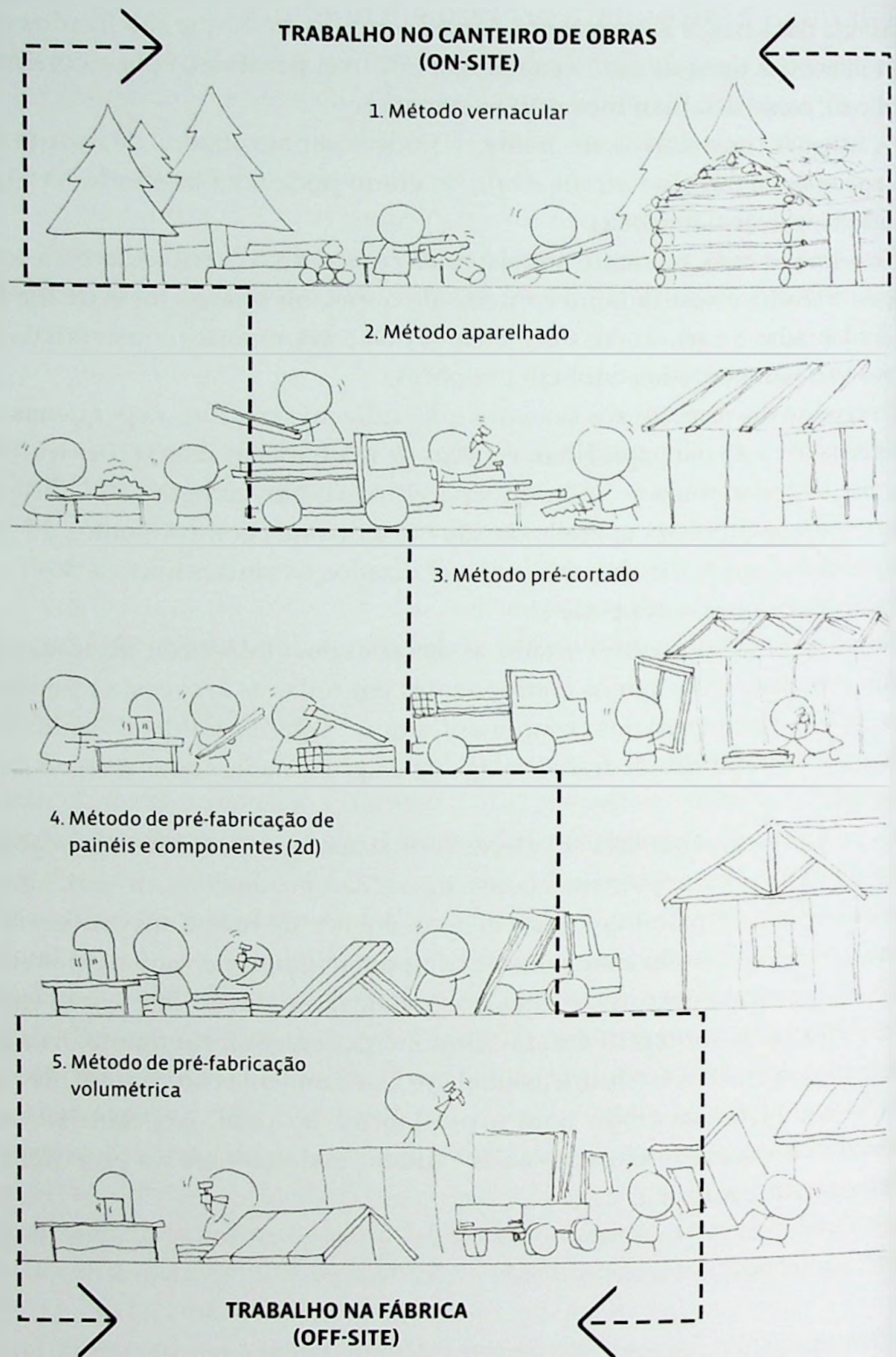


FIGURA 4.6

Proporções de trabalho *on site* e *off site*.

Fonte: adaptada de Junac (1984). Desenho: Inafuku (2022).

4.3 Princípios básicos para projeto em madeira

No âmbito da tectônica, a compatibilização entre sistemas construtivos, análise estrutural e modulação é fundamental para qualquer projeto arquitetônico, independentemente do material construtivo a ser adotado.

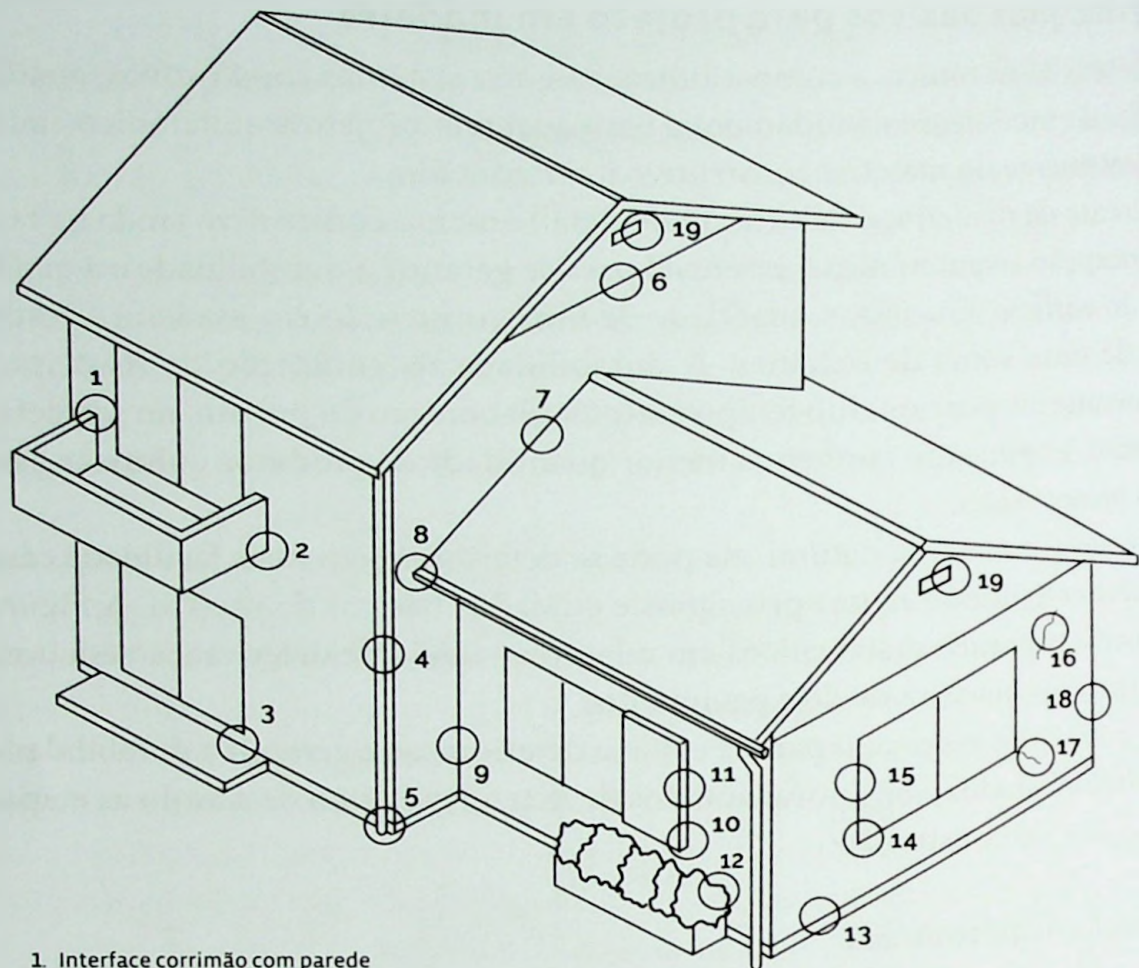
No caso da madeira, a elaboração do detalhamento construtivo ainda na fase da concepção arquitetônica é essencial para se garantir a durabilidade e a qualidade do edifício. Ou seja, a qualidade de uma construção em madeira é resultante de uma soma de detalhes. A durabilidade da edificação de madeira é diretamente proporcional ao tempo gasto na elaboração do projeto, no seu detalhamento, implicando também a menor quantidade de produtos químicos gastos na preservação.

Por ser um material natural, ela pode se deteriorar com mais facilidade caso não sejam atendidos alguns princípios e cuidados básicos de projeto. A Figura 4.7 ilustra os pontos mais críticos em relação ao início de deterioração em uma edificação em madeira de dois pavimentos.

Os princípios essenciais para se evitar a deterioração e garantir a durabilidade do edifício, listados a seguir (adaptados de INO, 1997), estão de acordo as etapas de projeto e de construção:

Concepção arquitetônica

- Na implantação, deve ser evitado o acúmulo de água ao redor da edificação por meio de nivelamento do terreno ou da especificação de drenagem superficial.
- Estabelecimento de uma coordenação modular em função dos materiais dos sistemas de vedação (sendo o mais usual múltiplos de 30 cm, mas também podem ser múltiplos de 20 cm). Normalmente, os vãos estruturais mais econômicos giram em torno de 3 a 4 m.
- Evitamento a ascensão por capilaridade de água e de umidade do solo, colocando-se a edificação distante do chão. É recomendável que as paredes externas ou pilares de madeira estejam distantes do nível do solo pelo menos 30 cm.
- Ventilação da madeira, garantindo a possibilidade de perder a umidade caso seja molhada. Ou seja, promover a ventilação dos componentes de madeira, principalmente daqueles expostos à ação de chuvas.
- escoamento das águas pluviais por meio de sistema na cobertura, convenientemente projetado, não permitindo o acúmulo de água, lodo e outros detritos na saída do condutor vertical. É recomendável projetar beirais generosos na cobertura.



1. Interface corrimão com parede
2. Parte inferior da varanda
3. Soleira
4. Fixador metálico da tubulação de águas pluviais
5. Salda de águas pluviais
6. Transição frechal / parede
7. Interface da cobertura com parede externa
8. Interface final do beiral / parede externa
9. Interface parede / parede a 90°
10. Extremidade inferior da veneziana
11. Interface veneziana / parede
12. Interface jardineira / parede
13. Interface fundação / parede externa
14. Canto do peitoril da janela
15. Interface marco / batente / parede
16. Fissuras nas paredes, ponto de infiltração
17. Surgimento de fissuras junto das janelas
18. Quina das paredes externas
19. Abertura para ventilação

FIGURA 4.7

Indicação dos pontos críticos em relação à deterioração.

Fonte: adaptada de Centro de Tecnologia da Madeira (1982). Desenho: Inafuku (2022).

Detalhamento construtivo

- Propiciar o rápido escoamento da água por meio dos detalhes construtivos, para evitar acúmulo em juntas e rachaduras.
- Proteger todas e quaisquer extremidades (topo) e saliências devem estar protegidas.
- Tomar especial atenção na interface fundação/parede e fundação/estrutura, especificando sempre uma boa impermeabilização da fundação e adotando soluções com componentes de transição, podendo ser metálicos ou de madeira tratada com possibilidade de fácil substituição.
- Proteger com pingadeira as partes salientes em madeira nos planos verticais, na medida do possível.
- Prover um bom escoamento das águas de chuva, colocando pingadeiras, calhas e rufos na cobertura.
- Escolher acabamentos que mantenham a propriedade principal da madeira, a de ser um material higroscópico, ou seja, permitir que ela continue respirando. Por exemplo, adotar pintura do tipo *stain* ou ceras.
- Especificar o tratamento fungicida e inseticida nos locais expostos às intempéries e nos locais úmidos. Dependendo da região, mesmo nas partes secas, é recomendável proteger por meio de pincelamento com produto inseticida.

Obra e uso/manutenção

- A madeira deve ser utilizada sempre em condição seca, com umidade em equilíbrio com a umidade do ar (aproximadamente, 15% de umidade).
- As etapas construtivas devem ser planejadas de maneira que a madeira fique menor tempo exposta à ação de intempéries. Por exemplo, executar primeiro a estrutura e a cobertura para depois se iniciar as vedações.
- Caso seja necessário estocar a madeira no canteiro de obras, garantir ventilação e sombreamento dos componentes.
- Sempre que possível, introduzir a pré-fabricação dos componentes no processo construtivo, a fim de se obter maior controle de qualidade e a precisão necessária na usinagem e no processamento das peças de madeira, resultando, assim, num acabamento mais adequado.
- Conscientização dos usuários quanto aos cuidados que devem ser tomados durante a manutenção do edifício, principalmente em relação à limpeza (evitando-se o excesso de lavagem com água) e à execução de tratamento periódico (por meio de tratamento fungicida e inseticida e de pinturas do tipo *stain*).

Os Quadros 4.1 e 4.2 procuram ilustrar alguns desses princípios e recomendações, apresentando as medidas necessárias a serem tomadas em áreas críticas da edificação em madeira e seus respectivos detalhes construtivos.

QUADRO 4.1

RECOMENDAÇÕES E DETALHES CONSTRUTIVOS PARA PROJETO EM MADEIRA

Áreas críticas, medidas preventivas e possíveis detalhamentos construtivos**Peças de madeira em áreas úmidas, como cozinha e banheiros:**

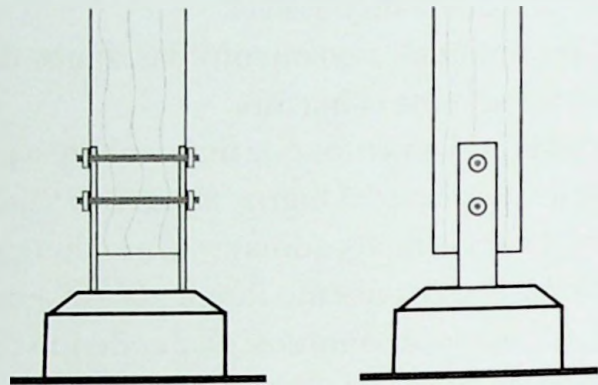
- Receber revestimentos impermeáveis ou pintura com tinta esmalte ou tinta a óleo;
- Cuidar, especialmente, das extremidades das peças.

Peças de telhados, próximas a rufos, calhas e telhas:

- Devem receber atenção especial no seu detalhamento e as peças que ficarão em contato direto com as telhas devem receber tratamento químico, além de facilitar sua substituição.

Interface do elemento estrutural com a fundação:

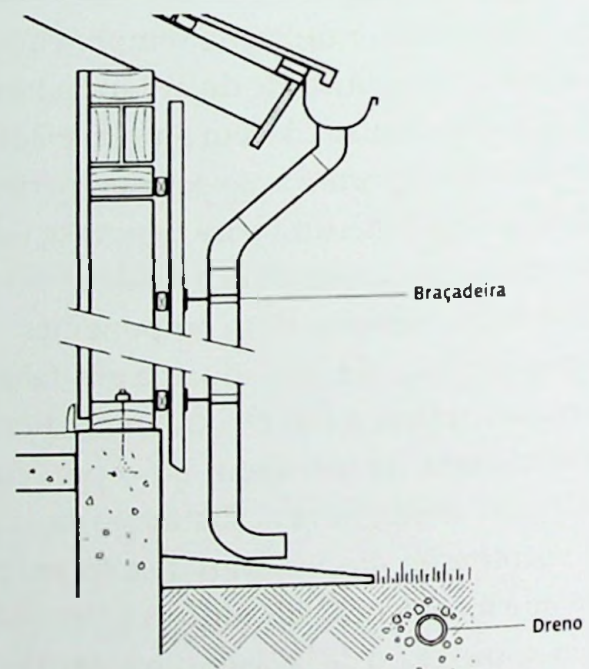
- Elevar o piso do solo;
- Utilizar conectores metálicos que impeçam o contato da madeira com o concreto, mantendo a extremidade do pilar ventilado.



Detalhe: corte de um pilar de madeira com dispositivo metálico de interface com a fundação de concreto. Desenho: Inafuku (2022).

Sistemas hidráulicos fixados na madeira:

- É necessário propiciar acesso fácil às redes de água e de esgoto a fim de sanar vazamentos com rapidez;
- Não deixar a madeira em contato com a umidade, colocando uma interface de material impermeável ou afastando os dutos dos elementos construtivos.

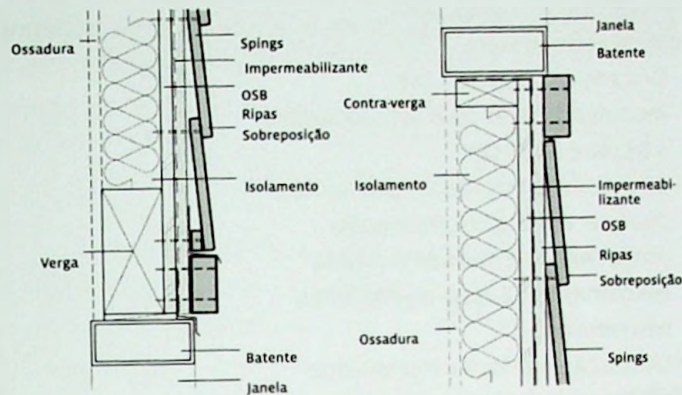


Detalhe: corte de um sistema de águas pluviais instalado distante da parede de madeira. Desenho: Inafuku (2022).

Áreas críticas, medidas preventivas e possíveis detalhamentos construtivos

Batentes de portas e janelas em contato com paredes úmidas:

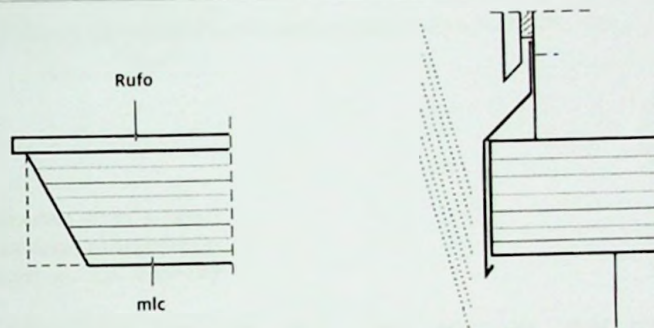
- Impermeabilização;
- Emprego de espécies mais resistentes;
- Proteção de pintura a óleo.



Detalhe: corte de uma parede mostrando a interface do batente com a parede. Desenho: Chiletto e Gomes (2022).

Proteção da extremidade das vigas expostas:

- Proteger por meio de rufos metálicos ou de corte em ângulo, reduzindo a sua exposição.

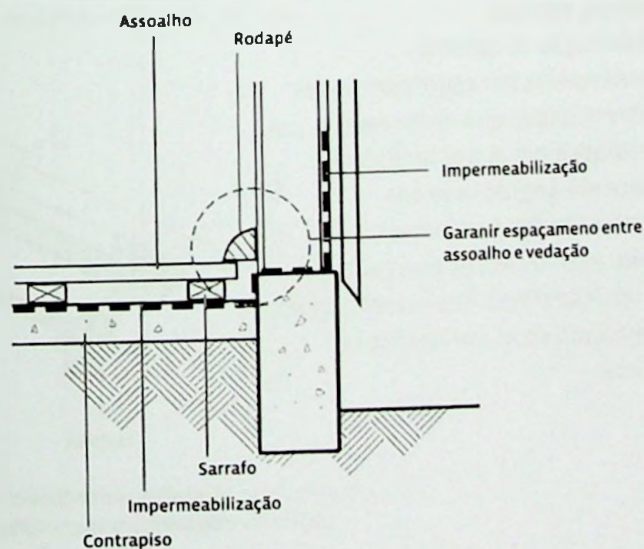


Detalhe: corte de extremidade (esquerda); proteção de topo com rufo metálico (direita).

Fonte: adaptada de Volz (2004, p. 61). Desenho: Inafuku (2022).

Tacos, assoalhos, assentados sobre pisos aos quais a água do solo tem acesso por capilaridade:

- Impermeabilização do contrapiso em argamassa;
- Utilização de sarrafos de fixação tratados com pintura impermeável, instalados sobre o contrapiso;
- Espaçamento da a última tábuia do assoalho da parede, mantendo um espaço ventilado.



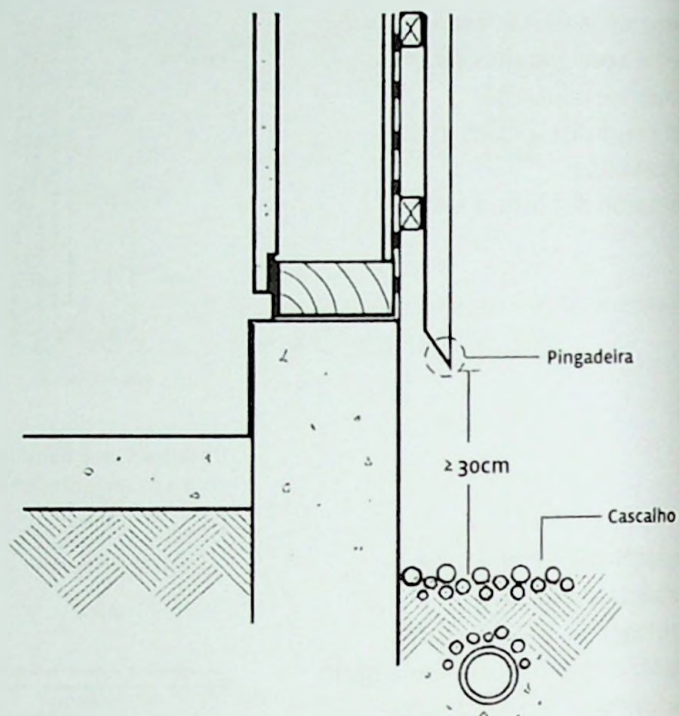
Detalhe: corte demonstrando cuidados para a instalação de piso. Desenho: Inafuku (2022).

Áreas críticas, medidas preventivas e possíveis detalhamentos construtivos

Revestimentos externos

em relação ao solo:

- Distanciamento mínimo recomendado entre o último lambril e o solo é de 30 cm;
- O corte do topo inferior dos lambrils deve ser em ângulo, formando pingadeira, permitindo o rápido escoamento da água e evitando o seu retorno;
- Utilização de pisos externos que ajudem a reduzir o respingo da água, como o cascalho.

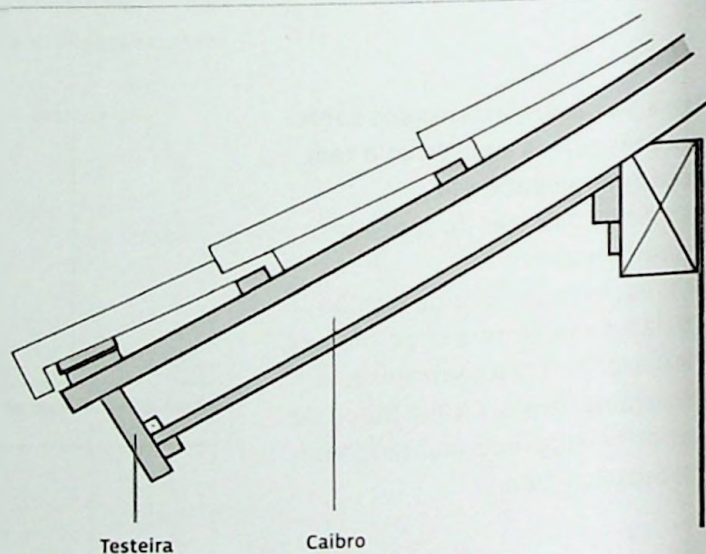


Detalhe: corte com condições ideais para instalação de revestimento externo.
Desenho: Inafuku (2022).

- Fendas, juntas e áreas ao redor de conectores como parafusos, pregos etc.
- Prever espaçadores que impeçam a permanência de água. Pode-se usar a borracha.

Os topos expostos das peças de madeira da cobertura (caibros, terças):

- Elaboração de detalhes construtivos para proteger essas extremidades que absorvem umidade com maior facilidade:
- Corte em ângulo reto das extremidades dos caibros,
- Colocação de peças que evitam a exposição direta das extremidades, ganhando-se maior rigidez do beiral.



Detalhe: proteção dos caibros com o uso de tabeira.
Desenho: Inafuku (2022).

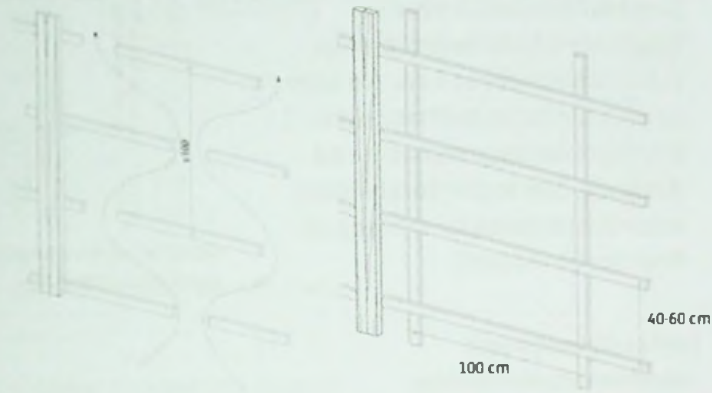
QUADRO 4.2
DETALHES CONSTRUTIVOS PARA FACHADAS EM MADEIRA

Descrição

Detalhe

O revestimento deve estar afastado da parede:

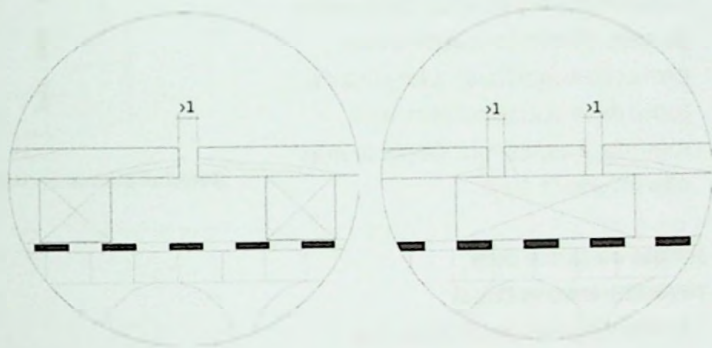
- As fachadas com câmara de ar facilitam a evaporação da água, reduzindo a variação dimensional das réguas de revestimento. Os sarrafos utilizados para fixação das réguas devem permitir a ventilação adequada da parede.



Detalhe: perspectiva com possibilidades de fixação dos sarrafos.

Juntas verticais:

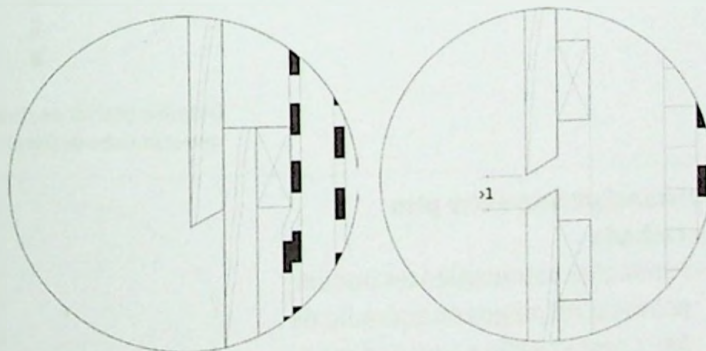
- Para fachadas não tratadas, a largura da junta deve ser de pelo menos 1 cm. Para fachadas com tratamento superficial, bem como painéis à base de madeira com proteção superficial, a largura da junta deve corresponder, no mínimo, à espessura da peça, mas não inferior a 1 cm.



Detalhe: plantas de duas possibilidades de arranjo das juntas verticais.

Espaçamento e geometria de juntas horizontais:

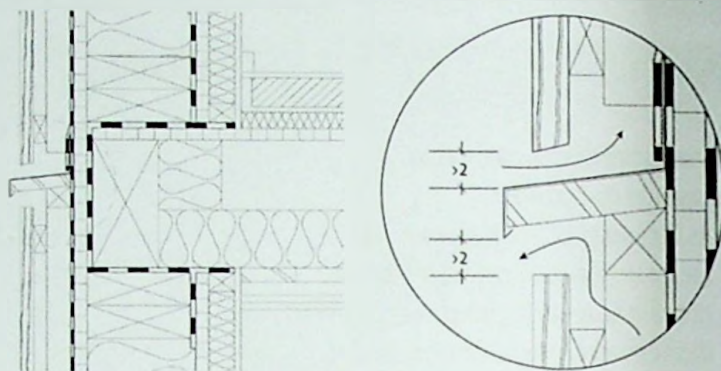
- No caso de sobreposição, a borda inferior da peça sobreposta deve ser cortada em um ângulo de 15°. Para juntas abertas (≥ 1 cm), as arestas devem ser cortadas com um ângulo de 15°.



Detalhe: corte de duas possibilidades de arranjo das juntas horizontais.

Descrição**Detalhe****Interface entre juntas horizontais:**

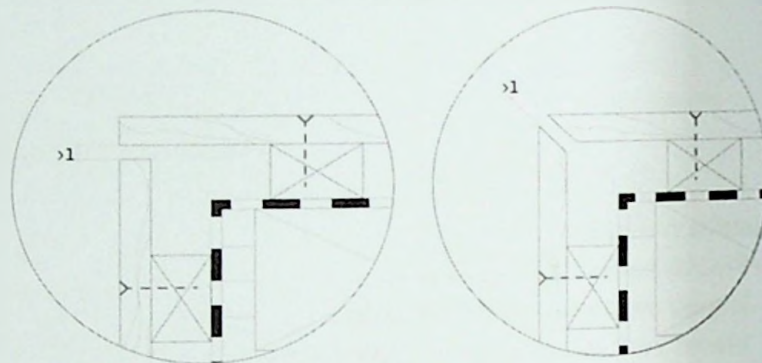
- A água pode escorrer apenas com larguras de juntas ≥ 1 cm. Uma pingadeira metálica deve ser fixada por trás do revestimento, subindo pelo menos 5 cm. No caso de pingadeira em madeira, esta deve ser uma peça resistente ao desgaste, com maior durabilidade natural, que possa ser trocada ao final de sua vida útil.



Detalhe: corte e ampliação do detalhe da pingadeira metálica protegida com rufo.

Juntas de canto com revestimento horizontal

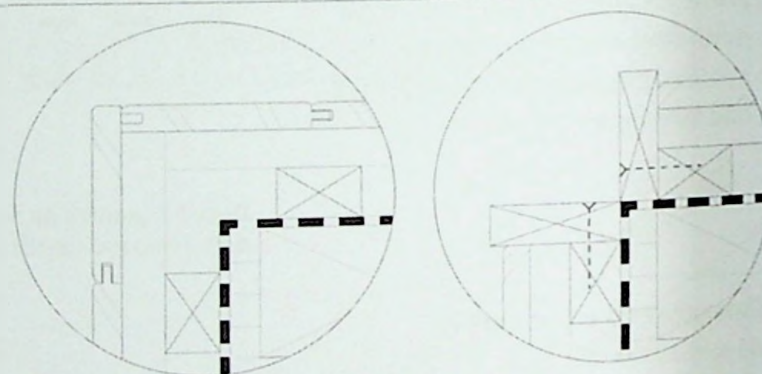
- Para fachadas não tratadas a largura da junta deve ser de pelo menos 1 cm. Para fachadas com tratamento superficial, bem como painéis à base de madeira com proteção superficial, a largura da junta deve corresponder, no mínimo, à espessura da peça, mas não inferior a 1 cm.



Detalhe: planta de duas possibilidades de encontro de canto.

Juntas de canto com revestimento vertical

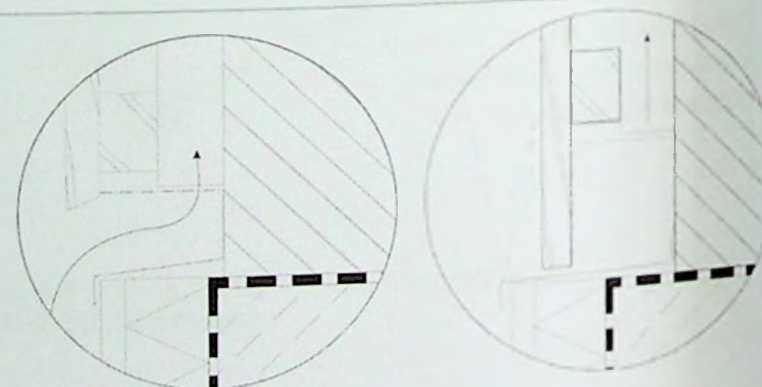
- Somente pode-se abdicar das juntas de canto com espaçamento quando utilizado revestimento de tábuas verticais.



Detalhe: planta de duas possibilidades de encontro de canto com revestimento vertical.

Distanciamento entre piso e fachada

- Fundações sobressalentes podem provocar respingos ou acúmulo de água nessa região e causar danos ao revestimento. Deve-se garantir a drenagem adequada com o uso de pingadeira e a ventilação suficiente atrás da fachada por meio do afastamento entre os elementos.

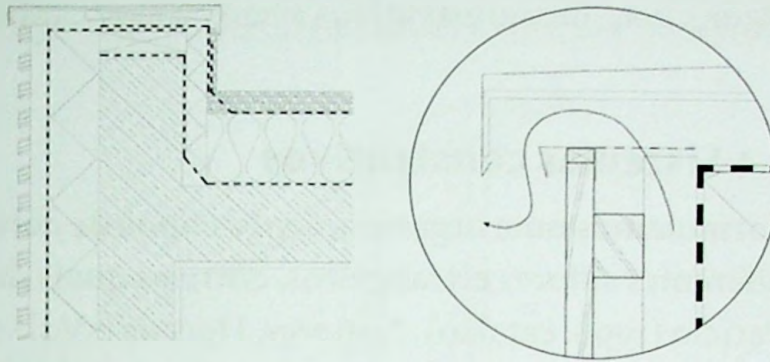


Detalhe: corte demonstrando o distanciamento e a proteção com o rufo. Em vermelho: não executar.

Descrição

- Interface entre revestimento e
- telhado sem beiral:
- Um rufo evita infiltração de água na
- área de conexão entre fachada e
- telhado. No caso de revestimento
- de tábuas ou ripas abertas, deve-se
- executar uma camada posterior
- resistente a intempéries.

Detalhe



Detalhe: corte mostrando o rufo.

Fonte: adaptado de Aprilanti, Tavares e Ino (2019). Desenho: Carnizello Souza (2023).

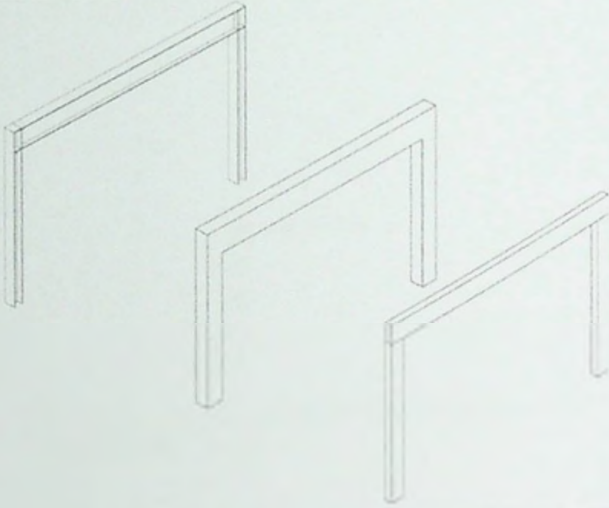
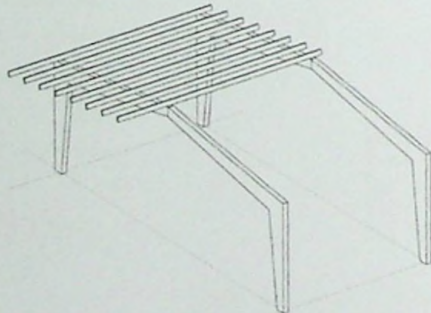

Especial atenção deve ser dada ao revestimento externo em madeira para garantir o seu desempenho – durabilidade e aparência. O Quadro 4.3 mostra alguns detalhes construtivos a serem executados para tanto.

4.4 Sistemas construtivos

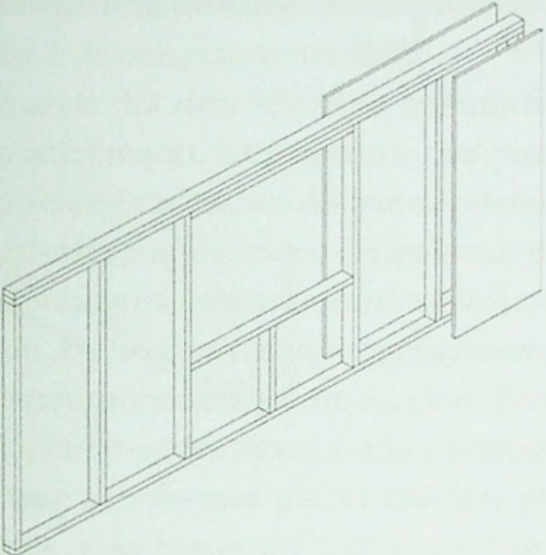
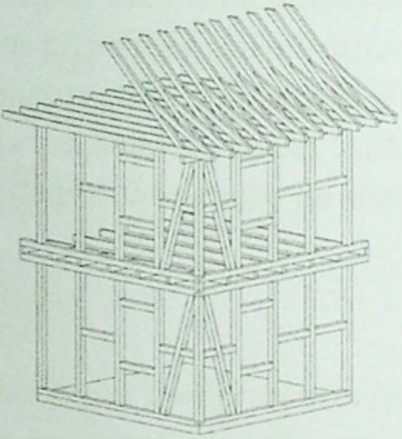
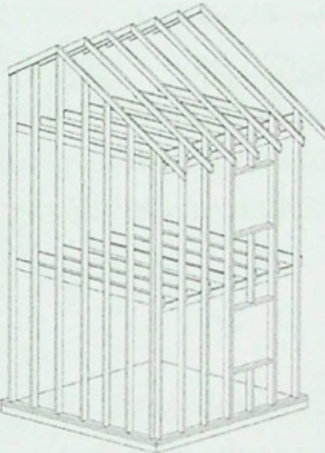

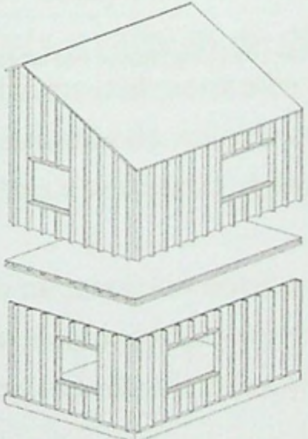
Formulamos uma organização dos tipos de construção em madeira com base em diferentes autores estrangeiros, entre os quais destacamos Deplazes (2005, suíço), Paricio (1996, catalão), Natterer, Herzog e Volz (1998, alemães), e fizemos a adaptação para o ensino de arquitetura e engenharia no Brasil.

Essa organização parte da primeira divisão dos sistemas estruturais, já mencionada, entre estruturas independentes e paredes estruturais, para depois apresentar cada um dos tipos de construção derivadas dessa divisão. Os quadros 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam os tipos de construção sobre as quais tratamos nesta seção do livro.

QUADRO 4.3
ESTRUTURAS INDEPENDENTES E ARRANJOS ESTRUTURAIS

Princípio estrutural	Estrutura independente	
Sistema estrutural	Pilar-viga	
		
Arranjo estrutural	Porticado	Reticulado
		

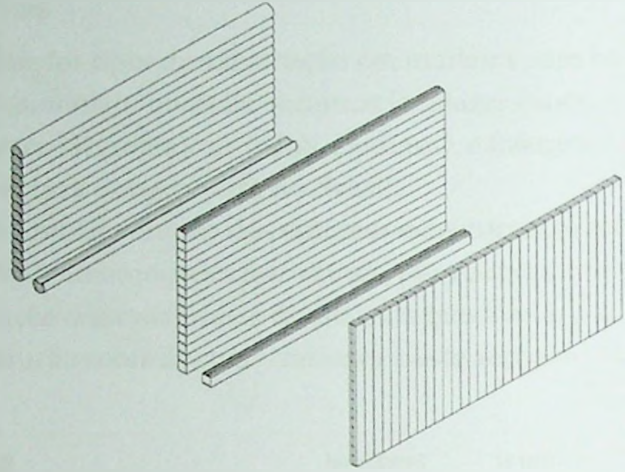
QUADRO 4.4
PAREDES ESTRUTURAIS E ARRANJOS ESTRUTURAIS - ENTRAMADO

Princípio estrutural	Parede estrutural	
Sistema estrutural	Entramado	
		
Arranjo estrutural	Enxaimel	Balloon
		
Arranjo estrutural	Plataforma	Painel modular
		

Fonte: adaptado de Ching (2010) e Deplazes (2005). Desenho: Santos (2022).

QUADRO 4.5
PAREDES ESTRUTURAIS E ARRANJOS ESTRUTURAIS – MACIÇO**Princípio estrutural** **Parede estrutural**

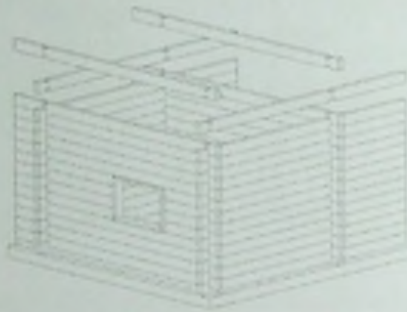
Sistema estrutural Maciço



Arranjo estrutural

Roliço

CLT



Fonte: adaptado de Ching (2010) e Deplazes (2005). Desenho: Santos (2022).

Na família das estruturas independentes, há um sistema estrutural principal, pilar-viga, do qual se derivam dois arranjos estruturais que serão aqui denominados porticado e reticulado. Em ambos, podem ser adotados distintos graus de pré-fabricação dos componentes e há uma diversidade de princípios de composição dos componentes estruturais e de conexão entre eles.

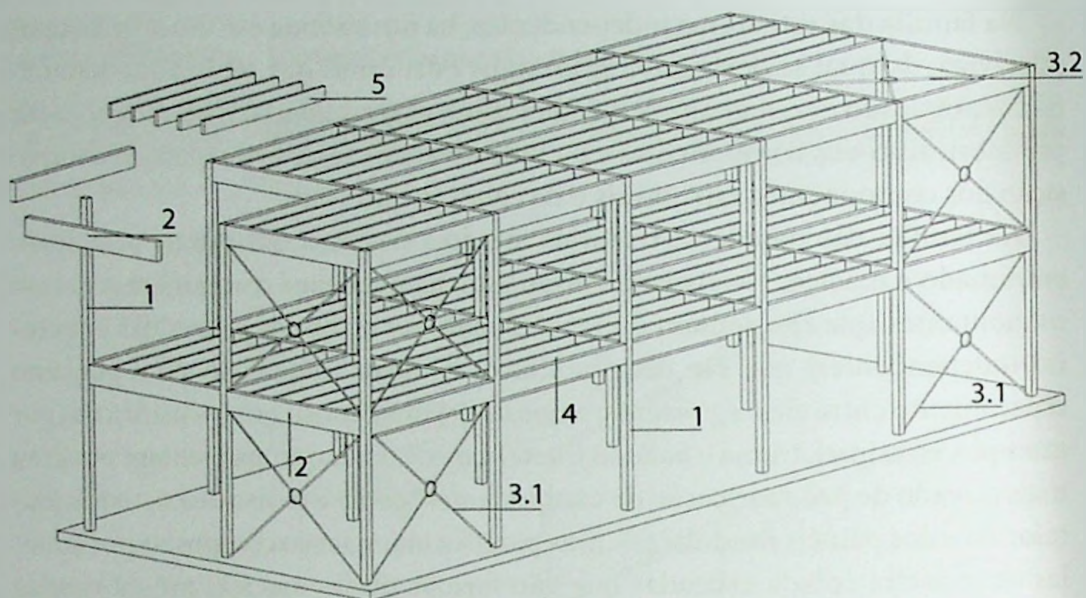
Na família das paredes estruturais, há dois sistemas estruturais principais: entramado e maciço. No sistema entramado, há pequenos componentes (como os montantes, que apresentam dimensões menores do que os pilares das estruturas independentes) que são distribuídos com maior frequência, com pequeno espaçamento entre eles. Apresentaremos os sistemas construtivos históricos (por exemplo, enxaimel, trama e *balloon frame*) e os sistemas que apresentam um grau mais elevado de pré-fabricação de componentes (como é o caso dos sistemas plataforma e dos painéis modulares). Já as paredes maciças são compostas por lamelas de madeira colada cruzadas que vão formar placas maciças pré-fabricadas (adotaremos aqui o termo em inglês *cross-laminated timber*, CLT) ou por componentes de madeira roliça (em inglês, *log*).

Descrevemos a seguir cada uma dessas formas de construção em madeira, de modo a destacar seus princípios estruturais, e seus principais componentes, conexões e métodos construtivos. Também são apresentados exemplos de projetos construídos de cada um deles no Brasil. Antes, porém, tecemos breves comentários sobre os graus de pré-fabricação de sistemas construtivos em madeira.

4.4.1. Pilar-viga

Este sistema é formado por componentes lineares rígidos, denominados pilares e vigas, que podem ser arranjados em estruturas porticadas ou estruturas reticuladas. Pilares e vigas constituem os componentes estruturais primários (principais). Esses componentes recebem as cargas dos componentes estruturais secundários (terças ou vigas secundárias na cobertura e barrotes no piso) e as transferem para a fundação. Também é necessário utilizar componentes que respondam aos esforços horizontais (principalmente resultante da ação dos ventos), que correspondem aos contraventamentos (horizontais e verticais). A Figura 4.8 apresenta esses componentes.

Como a estrutura é independente da vedação, são necessários outros componentes ou materiais construtivos para vedar o edifício, requisitando-se, portanto, sistemas de vedação, que podem ser compostos por painéis de madeira, por alvenaria ou por outros materiais.



- 1. Pilar
- 2. Vigas principais
- 3.1. Contraventamento vertical
- 3.2. Contraventamento horizontal
- 4. Vigas secundárias de piso (barrotes)
- 5. Vigas secundárias de cobertura (terças)

FIGURA 4.8

Isométrica pilar e viga.

Fonte: Kolb (2008). Desenho: Santos (2022).

O Quadro 4.6 apresenta os componentes, a análise estrutural e a utilização dos dois principais arranjos estruturais do sistema pilar-viga.

Em ambos os arranjos estruturais, é possível compor os componentes estruturais (principais e secundários) seguindo diferentes princípios. Os Quadros 4.7 a 4.10 apresentam quatro princípios de composição de componentes estruturais com seus respectivos detalhes, de acordo com Natterer, Herzog e Volz (1994).

É possível pré-dimensionar as vigas principais de acordo com o sistema estático e o tipo de estrutura. O Quadro 4.11 apresenta os vão usuais, a inclinação adequada e a altura máxima da estrutura de acordo com os tipos estruturais.

QUADRO 4.6
ESPECIFICAÇÕES DE ESTRUTURA PORTICADA E RETICULADA

Sistema estrutural	Estrutura porticada	Estrutura reticulada
Exemplo		
Componentes	Pilares, vigas principais (treliça, MLC, madeira serrada) e vigas secundárias (terças).	Pilares e vigas principais (treliça, MLC, madeira serrada), vigas secundárias (terças e barrote) ou painéis piso e painéis cobertura (laje), escadas, poços de elevador etc.
Análise estrutural	Apoios articulados; viga simplesmente apoiada nos pilares com dispositivos metálicos.	Apoios articulados; viga simplesmente apoiada nos pilares com dispositivos metálicos.
Contraventamento	As ações horizontais são distribuídas para os pilares pela ação de diafragma na cobertura e pelas vedações. O contraventamento em X (aço ou madeira) são elementos necessários para garantir a estabilidade nos planos verticais e horizontais.	Para construções com até 3 ou 4 pavimentos, a estabilidade horizontal pode ser facilmente conseguida pelo efeito do balanço dos pilares. Para múltiplos pavimentos, utilizar sistemas de contraventamento, por meio de caixas de escadas, poços de elevadores e contraventamento em X (aço ou madeira).
Utilização	Edifícios de até 1 pavimento. Indústrias, armazéns, galpões, ginásios.	Edifícios de múltiplos pavimentos. Residências, comércio, escritórios, apartamentos, escolas etc.

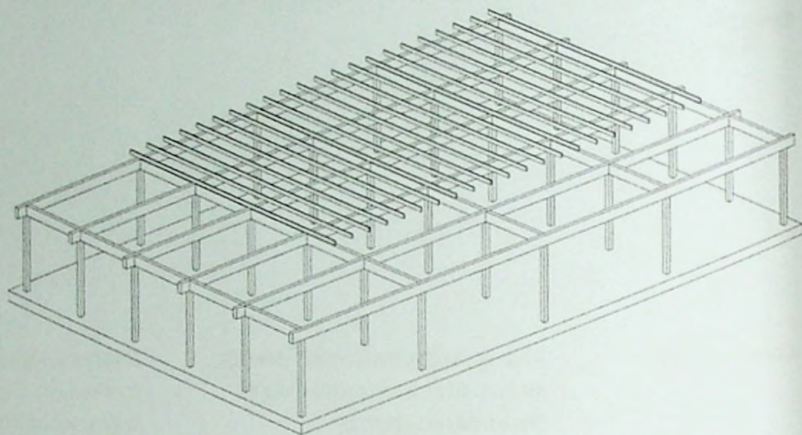
Fonte: Kolb (2008). Desenho: Santos (2022).

QUADRO 4.7
ARRANJOS ESTRUTURAIS DE VIGAS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS - 1 PAVIMENTO

Princípio

Pilares e vigas simples contínuas

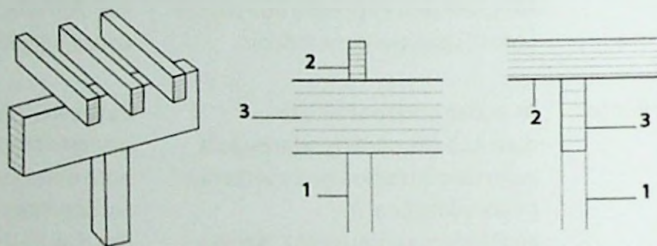
Ilustração



Componentes e apoios

Vigas principais apoiadas sobre pilares.
 Vigas secundárias de cobertura apoiadas sobre vigas principais.
 Viga secundária de travamento fixada de topo nas vigas principais.

Encontro entre vigas principais, secundárias e pilares



1. Pilar 2. Viga secundária 3. Viga primária

Conexão simples por sobreposição de componentes e uso de conectores metálicos para ligações de topo.

Uso principal

Edifícios com 1 pavimento.

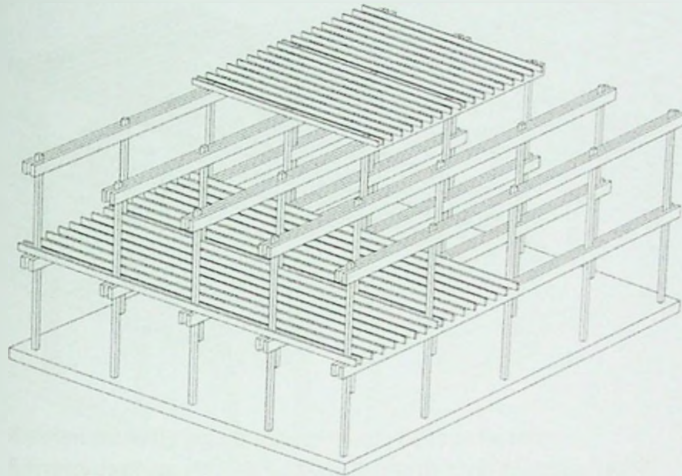
Fonte: adaptado de Herzog *et al.* (2003). Desenho: Santos e Souza (2022)

QUADRO 4.8
ARRANJOS ESTRUTURAIS DE VIGAS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS CONTÍNUAS E DUPLAS

Princípio

**Pilares, vigas principais e secundárias contínuas;
 vigas principais e secundárias duplas**

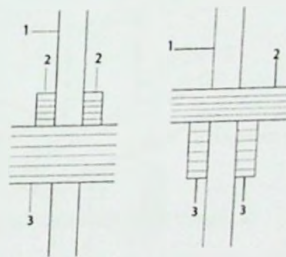
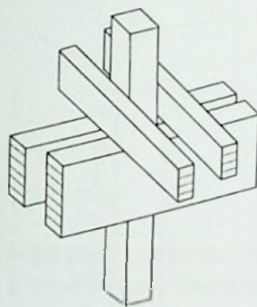
Ilustração



Componentes e apoios

Vigas principais fixadas lateralmente no pilar.
 Vigas secundárias apoiadas sobre vigas principais.

Encontro entre vigas principais, secundárias e os pilares



- 1. Pilar
- 2. Viga secundária
- 3. Viga primária

Vigas principais e secundárias duplas.
 Conexão entre viga principal e pilar por sobreposição.

Uso principal

Edifícios com 2 ou mais pavimentos.

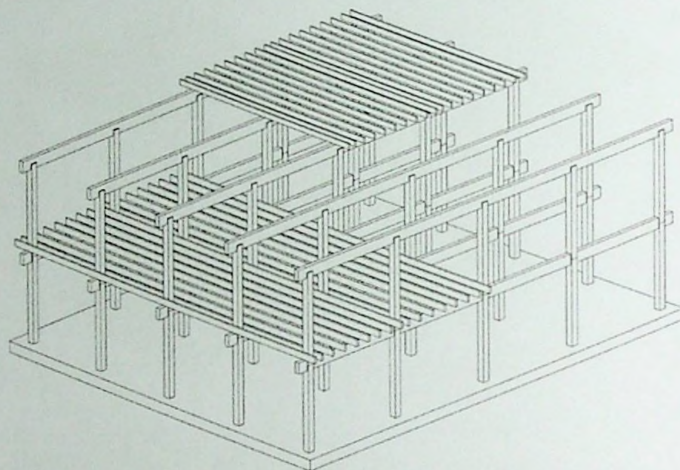
Fonte: adaptado de Herzog et al. (2003). Desenho: Santos e Souza (2022)

QUADRO 4.9
ARRANJOS ESTRUTURAIS DE PILARES, VIGAS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS CONTÍNUAS

Princípio

**Pilares, vigas principais e secundárias contínuas;
 pilares simples e vigas secundárias duplas**

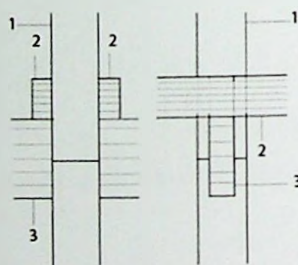
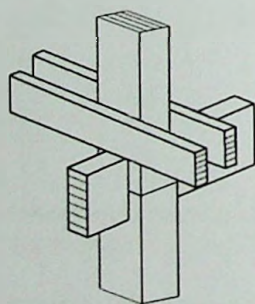
Ilustração



Componentes e apoios

Vigas principais, apoiadas e abraçadas pelo pilar simples.
 Vigas secundárias apoiadas sobre vigas principais simples.
 Pilares simples.

Encontro entre vigas principais, secundárias e os pilares



1. Pilar
2. Viga secundária
3. Viga primária

Vigas secundárias duplas apoiadas na viga principal simples.
 Conexão entre viga principal e pilar mais complexa.

Uso principal

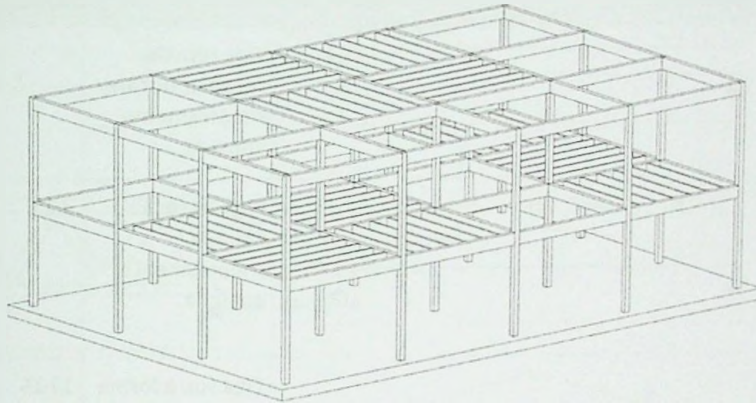
Edifícios com 2 ou mais pavimentos.
 Pilar simples abraça a viga principal simples.

QUADRO 4.10
ARRANJOS ESTRUTURAIS DE PILARES, VIGAS PRINCIPAIS E SECUNDÁRIAS COPLANARES

Princípio

Pilares contínuos, vigas principais e secundárias no mesmo plano

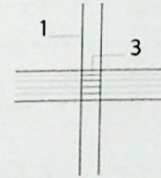
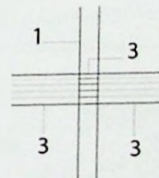
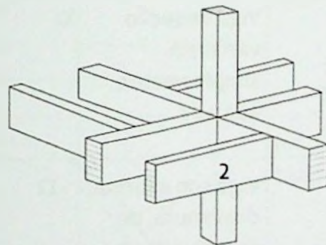
Ilustração



Componentes e apoios

Extremidade da viga principal fixada de topo no pilar.
 Extremidade da viga secundária fixada de topo na viga principal.

Encontro entre vigas principais, secundárias e os pilares



1. Pilar 2. Viga secundária 3. Viga primária

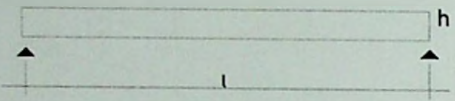
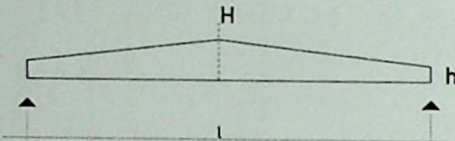

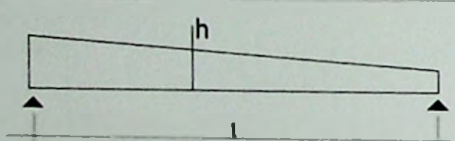
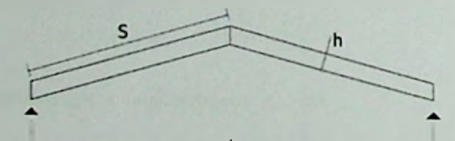
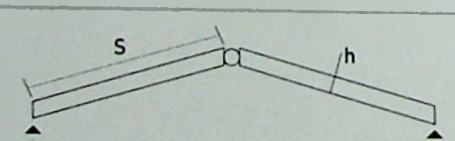
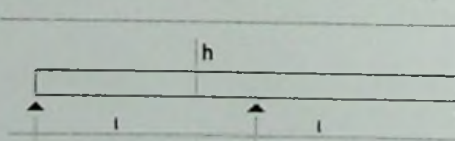
Viga principal, viga secundária e pilar em peça simples.
 Conexão mais complexa.

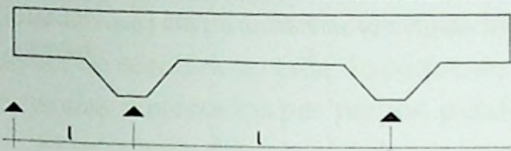
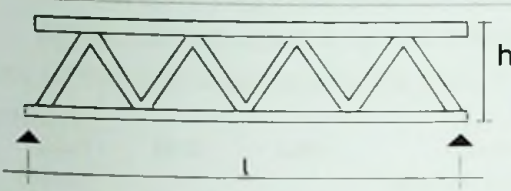
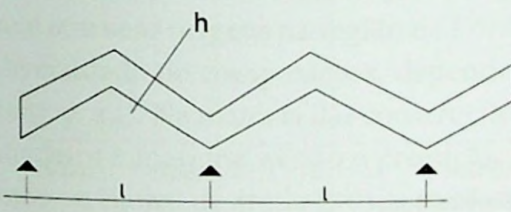
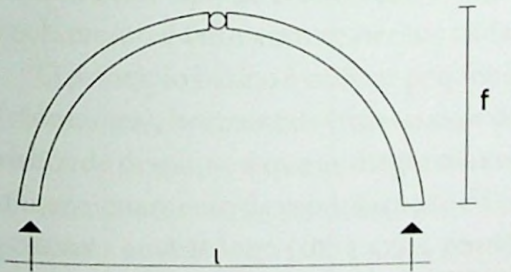
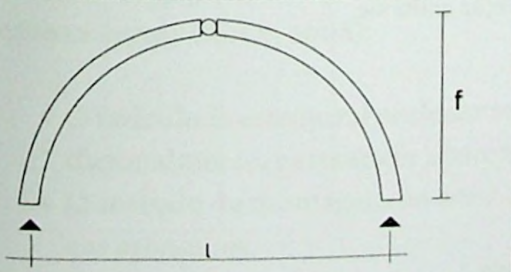
Uso principal

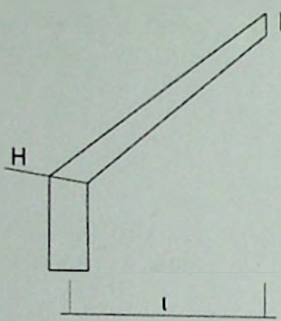
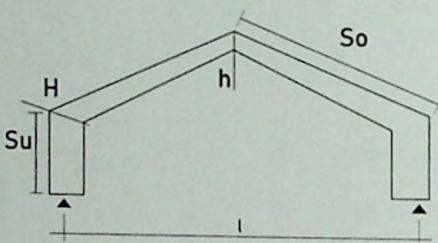
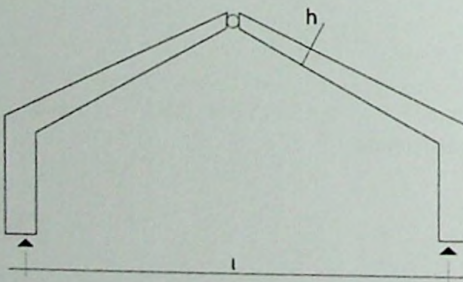
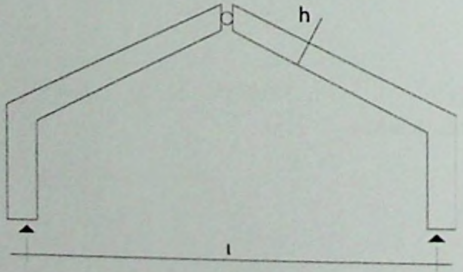
Edifícios com 2 ou mais pavimentos.

Fonte: adaptado de Herzog et al. (2003). Desenho: Santos e Souza (2022).

QUADRO 4.11
REFERÊNCIA PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE VIGAS EM MADEIRA

Sistema estático	Tipo de estrutura	Inclinação adequada (°)	Vãos usuais (m)	Altura máxima da estrutura
	Viga reta de seção uniforme, simplesmente apoiada.	0	10-30	$h \leq l/17$
	Viga de seção variada, simplesmente apoiada.	3-15	10-30	$H \sim l/16$ - $h \leq l/30$
	Viga sob a forma de tesoura, simplesmente apoiada.	13-15	10-30	$H \sim l/16$ - $h \leq l/30$
	Viga de seção variável, simplesmente apoiada.	0	10-30	$h \leq l/17$
	Viga sob a forma de tesoura, de seção uniforme, simplesmente apoiada.	>12	15-30	$h \leq S/20$
	Viga sob a forma de tesoura, triarticulada.	>12	20-50	$h \leq S/18$
	Viga contínua de seção uniforme.	0	10-25	$h \leq l/20$

Sistema estático	Tipo de estrutura	Inclinação adequada (°)	Vãos usuais (m)	Altura máxima da estrutura
	Viga contínua com aumento de seção nos apoios centrais.	0	10-25	$h_{\text{máx}}/20$ $h_{\text{máx}}/22$
	Viga treçada de altura constante, simplesmente apoiada.	0	30-60	$h_{\text{máx}}/13$
	Viga sob forma de tesoura contínua, de seção constante.	0	10-25	$h_{\text{máx}}/20$
	Arco biarticulado.	$f=0,315 \times l$	20-60	$h_{\text{máx}}/50$
	Arco triarticulado.	$f=0,315 \times l$	20-100	$h_{\text{máx}}/50$

Sistema estático	Tipo de estrutura	Inclinação adequada (°)	Vãos usuais (m)	Altura máxima da estrutura
	Pórtico simples.	0-10	5-15	$H_{\max}/10$ $h_{\max}/66$
	Pórtico biarticulado.	0-60	15-60	$H_{\max}/25$ (So+Su) $h_{\max}/66$
	Pórtico triarticulado.	0	15-30	$h_{\max}/25$
	Pórtico triarticulado de seção uniforme.	0	15-30	$h_{\max}/23$

Fonte: Perez Galaz, 1979, apud BONO, 1996. Desenhos: Souza (2022).

4.4.2 Entramado

Dentro do grupo denominado paredes estruturais, com base na transmissão de cargas adotada na seção 4.1.2, dividimos em dois tipos de construção o entramado (Quadro 4.4) e a parede maciça (Quadro 4.5). O entramado é formado por componentes de madeira serrada de pequenas dimensões dispostas a curto espaçamento entre eles, conectados por pregos, parafusos, encaixes ou conectores metálicos.

As principais diferenças entre os seus tipos de construção dizem respeito ao método construtivo (desde o tradicional até a pré-fabricação total de componentes) e às dimensões, aos arranjos estruturais e aos espaçamentos entre os seus componentes.

Apresentaremos quatro tipos de construção, desde os mais tradicionais e históricos (como o enxaimel e o *ballon frame*) até os mais contemporâneos (plataforma e painéis).

4.4.2.1. Enxaimel

O enxaimel (ou *timber-frame*) é um tradicional sistema construtivo em madeira que tem suas origens na região da Europa central, no século xv, e apresenta uma diversidade de composições, dependendo da tradição cultural local (WEIMER, 1983, p. 44). Na maioria das construções históricas em enxaimel, o reticulado em madeira é aparente, sendo o preenchimento da vedação feito com terra, taipa de mão ou tijolos de argila (KOLB, 2008; DEPLAZES, 2005). Atualmente, é rara a utilização desse tipo de construção e, quando utilizada, na maioria das vezes, o preenchimento é feito com materiais isolantes térmicos e impermeáveis.

O princípio básico é utilizar pequenos módulos entre os componentes verticais (montantes), horizontais (travessas) e diagonais (contraventamento). Sua característica de destaque é que as diagonais encontram-se no mesmo plano da parede. O dimensionamento da modulação se dá em função das seções transversais dos componentes em madeira (DEPLAZES, 2005).

Os mais importantes princípios de construção e seus componentes estão descritos a seguir (KOLB, 2008):

- O reticulado estrutural pode ser revestido interna e externamente, mas, tradicionalmente, permanece aparente no lado externo.
- O método de montagem *on site* é andar por andar, caracterizado por técnicas artesanais.
- As conexões são feitas por encaixes.
- São utilizadas seções robustas, em geral, com seção quadrada.

Os principais componentes estão ilustrados na Figura 4.9.

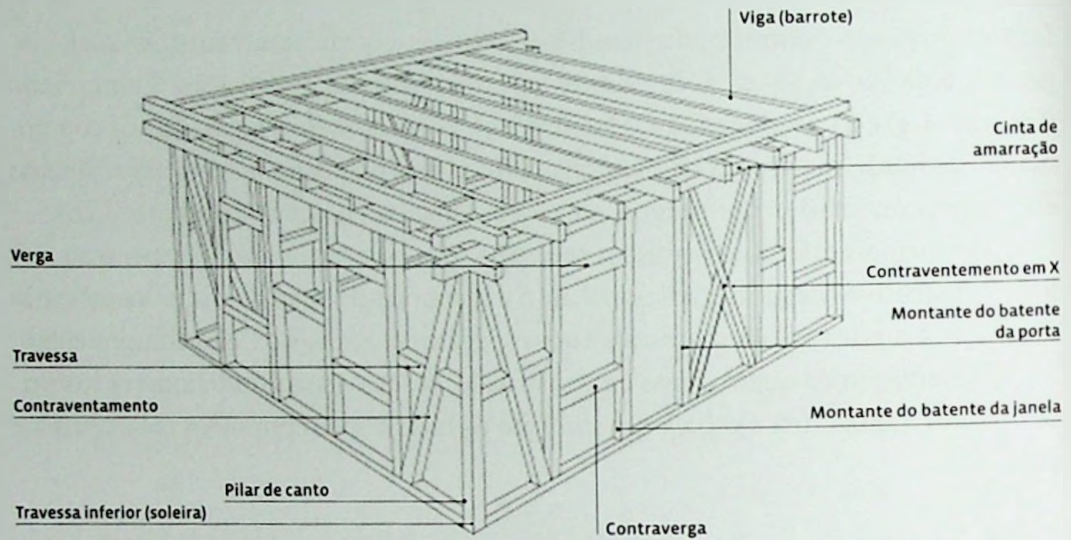


FIGURA 4.9

Componentes do sistema enxaimel

Fonte: adaptada de Kolb (2008). Desenho: Souza (2022).

4.4.2.2. Balloon Frame

O *balloon frame* é um sistema construtivo em madeira com ampla utilização na cultura construtiva dos Estados Unidos da América, tendo sua origem por volta da metade do século XIX. A sua difusão se dá justamente pelo desenvolvimento das máquinas a vapor, que possibilitaram a produção em massa de peças metálicas como o prego e madeira serrada com bitolas padronizadas (KOLB, 2008, p. 59).

Ele consiste na disposição de montantes e travessas que são pregados entre si. Os montantes normalmente apresentam seções de aproximadamente 5 x 20 cm ou 5 x 10 cm (mais conhecidas pela dimensão em polegada, 2" x 8" ou 2" x 4"). Quando necessário, em razão de demandas estruturais, os montantes podem ser pregados uns aos outros, criando, assim, peças mais robustas (DEPLAZES, 2005, p. 96).

Nesse sistema, os montantes podem se estender para o segundo ou demais pavimentos. A estabilidade é assegurada por tábuas de madeira serrada ou chapas de madeira que são pregadas sobre o entramado. A principal diferença entre o enxaimel e outros sistemas derivados de entramado (como, por exemplo, no *ballon frame* e no *wood frame*) se refere à estabilidade estrutural, na medida em que, no primeiro caso, o travamento é obtido com as diagonais no plano da parede e no segundo, com placas que revestem o entramado. (KOLB, 2008).

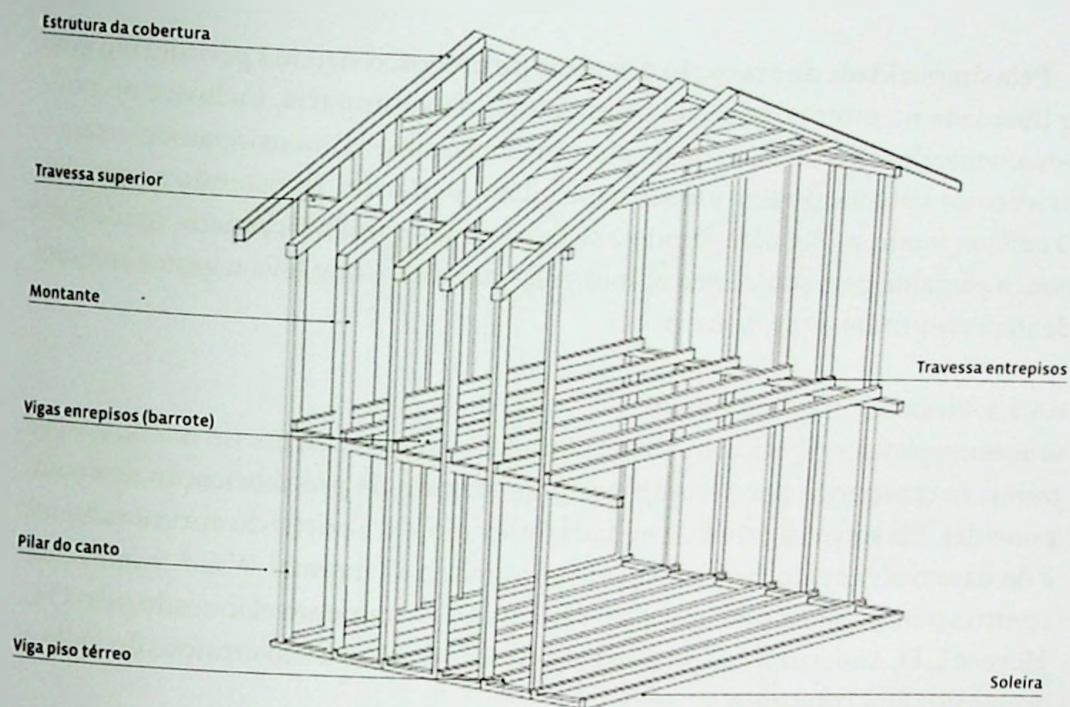


FIGURA 4.10
Componentes do *balloon frame*.

Fonte: adaptada de Espíndola (2017). Desenho: Souza (2022).

Além disso, podemos destacar as seguintes características do *balloon frame* (KOLB, 2008):

- Baixo grau de pré-fabricação e alto emprego de mão de obra no canteiro, ou seja, basicamente, *on site*.
- Durante a fase de montagem, relativamente longa, é necessária proteção contra intempéries;
- Revestimento externo e interno do entramado.
- Contraventamento ocorre pelos revestimentos rígidos (tábuas, placas ou painéis).
- Espaçamento pequeno entre montantes.
- As vigas (barrote) do piso intermediário são apoiadas diretamente na travessa e fixadas ao montante simultaneamente.

Os principais componentes estão ilustrados na Figura 4.10.

Pela simplicidade de execução por meio de pregos, o sistema permite um grau de liberdade no projeto, tanto na planta como na volumetria, inclusive no posicionamento das aberturas, as quais, em virtude do superdimensionamento característico do sistema, podem até ser realizadas *a posteriori* recortando as paredes. O *balloon frame*, ao ser comparado a sistemas mais contemporâneos, tende a ser pouco eficiente pelo seu dimensionamento excessivo, que leva a gastos maiores de materiais (DEPLAZES, 2005, p. 95).

4.4.2.3. Plataforma (*wood frame*)

O sistema plataforma ou, como ficou conhecido popularmente no Brasil, o *wood frame*, se caracteriza por permitir um grau elevado de pré-fabricação dos componentes. Ele surge na primeira metade do século XX, a partir do aprimoramento e do desenvolvimento das técnicas em entramado. O manual *Wood-frame house construction*, publicado em 1955 pelo FPL e USDA, documento elaborado pelo O.C. Heyer e L.O. Anderson, deu origem à sua padronização e à substituição do *balloon frame* nos EUA (ESPÍNDOLA, 2017).

Portanto, a maior diferença entre o *balloon frame*, tratado no item anterior, e o sistema plataforma se dá no processo de fabricação dos componentes que, por sua vez, permite uma mudança na composição estrutural. Enquanto no primeiro o comprimento dos montantes perpassa todos os pavimentos construídos e são cortados e montados no canteiro; no sistema plataforma, o comprimento se conforma à altura de cada pavimento. Essa característica permite maior pré-fabricação, tendo em vista que os montantes podem ser montados em painéis (com altura do pé-direito de cada pavimento), que são levados prontos até o canteiro. Para garantir a estabilidade, assim como no *balloon frame*, são fixadas chapas de compensado ou chapas de OSB sobre o quadro estrutural (ESPÍNDOLA, 2017).

A composição dos sistemas se dá da seguinte forma: sobre a fundação, é fixado o sistema de piso (em geral, compostos por vigas e barrotes ou painéis estruturais de piso), sobre o qual se apoiam os painéis pré-fabricados. Esses painéis são constituídos por: travessas (horizontais) superiores e inferiores, as superiores normalmente constituídas por duas travessas, e as peças inferiores asseguram a união entre os painéis e a fixação e estabilidade entre os pavimentos; e os montantes (verticais), geralmente constituídos por seções transversais de 5 cm x 10 cm (ou 2" x 4"), com espaçamentos de 30, 40 ou 60 cm (ESPÍNDOLA, 2017). Sobre esses painéis, é apoiada a estrutura da cobertura.

Os principais componentes estão ilustrados na Figura 4.11.

No Brasil, como visto na introdução, houve a difusão do *Light Wood Framing*, que, em 2011, obteve aprovação da Diretriz Sinat nº 005 – *Light Wood Framing* (a

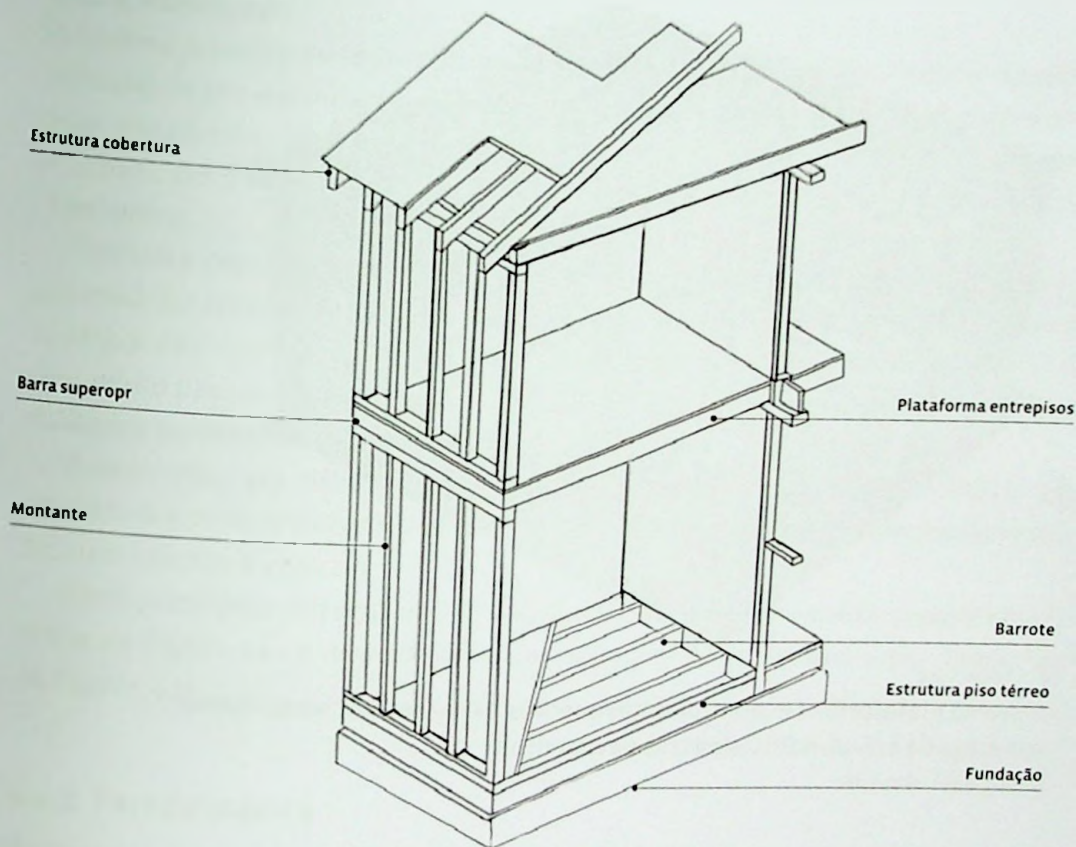


FIGURA 4.11 Componentes do sistema plataforma (wood frame).

Fonte: adaptada da Espindola (2017). Desenho: Souza (2022).

atual revisão 3/2020 e DATec nº 020-D – Tecverde, validade abril/2023). O sistema é composto por entramado pré-fabricado de madeira serrada tratada com fechamento em chapas de OSB. Esse sistema permite a construção de pavimentos múltiplos, e hoje são permitidos até 5 pavimentos incluindo o térreo, sendo que a Figura 4.12 apresenta a versão para 3 pavimentos:

A composição do painel do *Light Wood Framing* se diferencia de acordo com o uso e o contato com água. Ou seja, há revestimentos externos e internos específicos dependendo se são paredes externas, paredes internas ou paredes de áreas úmidas, como demonstra o exemplo na Figura 4.13.

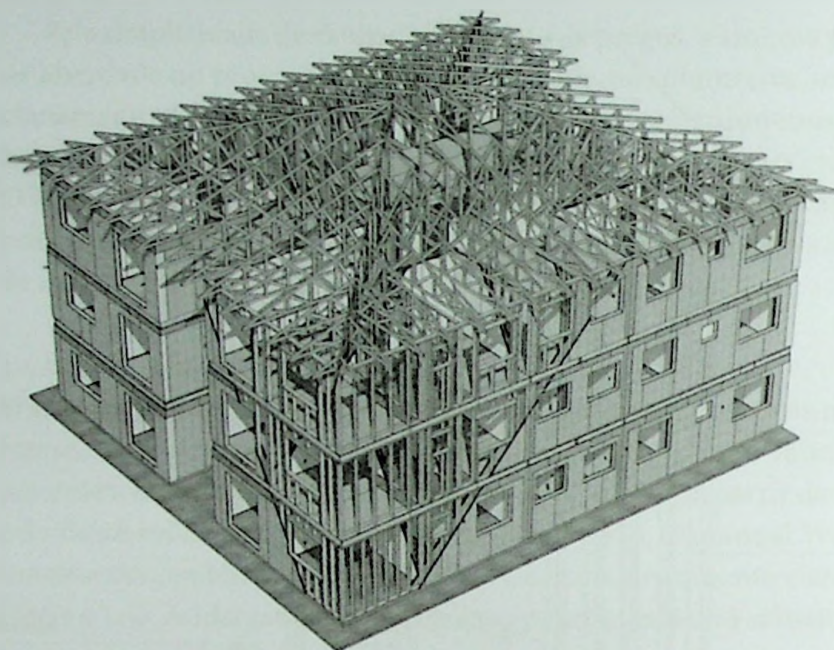
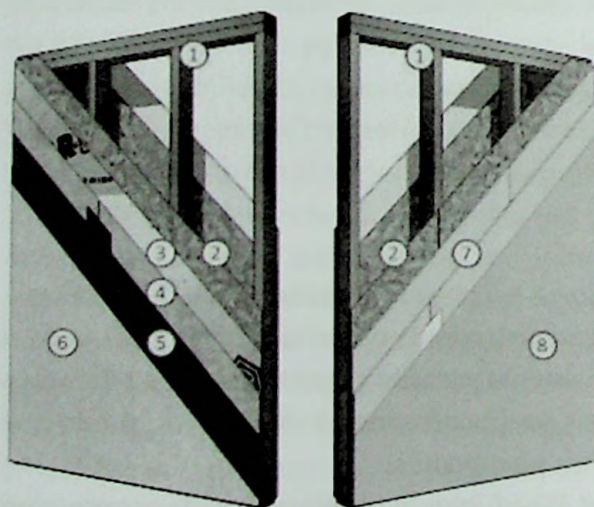


FIGURA 4.12

Sistema plataforma em múltiplos pavimentos. Sistema *light wood frame* empregado em um edifício de três pavimentos.

Fonte: Brasil (2020, p. 3).



1. Madeira autoclavada
2. Chapa de madeira OSB
3. Barreira impermeável
4. Placa cimentícia
5. Basecoat com tela de fibra de vidro
6. Acabamento textura acrílica
7. Chapa de gesso acartonado
8. Acabamento pintura acrílica

FIGURA 4.13

Composição do painel da parede estrutural.

Fonte: Sinat (2020, p. 4).

4.4.2.4. Panelizado

O sistema *panelizado* ou o *sistema de painéis* se desenvolveu a partir da intensificação da pré-fabricação de componentes, como um desdobramento do sistema plataforma. Nesse caso, os sistemas estruturais – de pisos, de vedações internas e externas e até de cobertura – podem ser constituídos por painéis pré-fabricados.

Devido a esse alto grau de pré-fabricação, é fundamental adotar a coordenação modular entre todos esses sistemas. Em geral, os eixos da modulação passam nos eixos dos montantes. No canteiro de obras, a montagem dos painéis se dá de pavimento por pavimento, possibilitando, portanto, a construção de edifícios de múltiplos pavimentos.

Assim como no sistema plataforma, a estabilidade estrutural é obtida pela ossatura dos painéis (formados por montantes e travessas) e pelas chapas de revestimento interno e externo.

Esses princípios estruturais e de construção do sistema panelizado podem ser vistos na Figura 4.14 e os principais componentes deste sistema estão ilustrados na Figura 4.15.

4.4.3. Parede maciça

As paredes maciças são formadas por elementos planos que apresentam tanto a função estrutural quanto de vedação. Diferente do sistema entramado, que apresentam vazios entre os montantes, são formadas por componentes maciços de madeira (*solid timber*), que podem ser em madeira roliça (conhecido pelo termo em inglês, *log construction*) ou por lamelas de madeira serradas que são coladas, cavilhadas ou pregadas entre si, formando-se placas (KOLB, 2005).

4.4.3.1. Sobreposição de toras (*log construction*)

A construção com toras de madeira tem longa tradição em muitos países e influenciou consideravelmente o desenvolvimento da arquitetura em madeira europeia. O sistema é marcante na cultura construtiva tradicional de países como Rússia e Escandinávia, onde o sistema não se atém apenas à construção de moradias, erguendo também palácios, torres e igrejas (KOLB, 2008).

O princípio estrutural do sistema se baseia em toras empilhadas horizontalmente, formando componentes planares. Nesse sistema, as toras de madeira são sobrepostas umas às outras horizontalmente e unidas por meio de juntas dentadas, constituindo as paredes, que revestem, vedam e sustentam a construção simultaneamente (DEPLAZES, 2005), como se vê na Figura 4.16. Essas toras podem ter se-

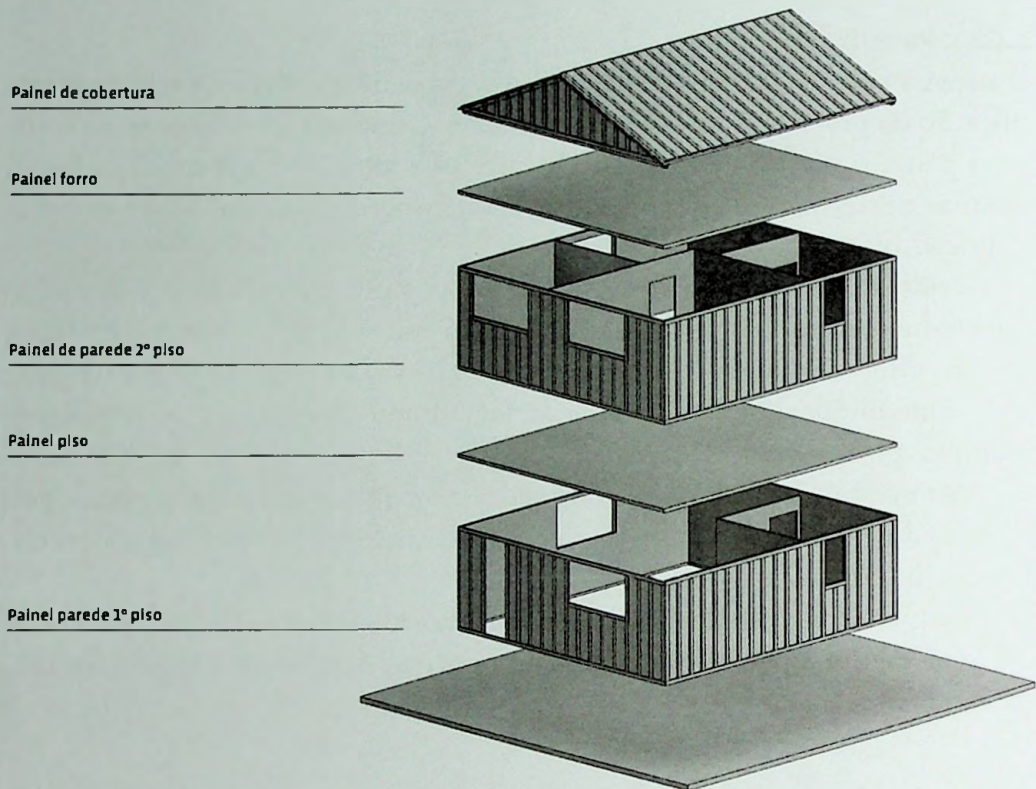


FIGURA 4.14

Princípios estruturais e de construção do sistema panelizado.

Fonte: adaptada de Kolb (2008). Desenho: Oliveira (2022)

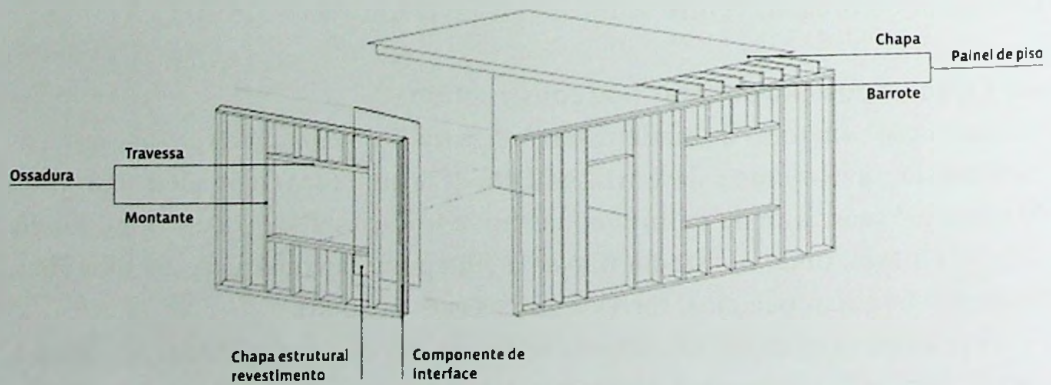


FIGURA 4.15

Componentes do sistema panelizado.

Fonte: adaptada de Kolb (2008, p.65). Desenho: Souza (2022).

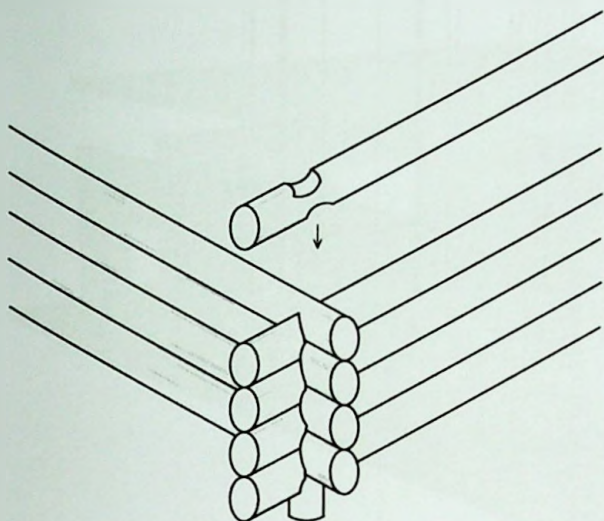


FIGURA 4.16

Isométrica sobreposição de toras de seção arredondada.

Fonte: adaptada de Natterer, Herzog, Volz (1994). Desenho: Oliveira (2022).

ção arredondada, *in natura*, conservando seu aspecto original, ou retangular, ou ainda quadrada, passando por processo de aparelhamento ou falquejamento.

As cargas da cobertura são distribuídas e transmitidas ao longo das paredes, que, por sua vez, transferem para a fundação (INO, 1992). A estabilidade é obtida por meio da resistência ao atrito entre as junções horizontais e pelas juntas amarradas nos cantos (no encontro das paredes), o que faz com que a parede de madeira maciça aja como uma placa. Os vãos possíveis dependem dos componentes de madeira, mas, usualmente, não excedem 4,5 m (DEPLAZES, 2005). Além de proporcionar maior estabilidade para a estrutura, o emprego de toras colocadas na horizontal também previne patologias ocasionadas pela umidade, visto que as fibras da madeira ficam paralelas ao solo, assim, o topo das toras fica protegidos, minimizando o efeito de capilaridade (ALTOÉ, 2009).

No passado, o sistema construtivo em toras era composto por uma única camada de componentes de madeira. Atualmente, a tecnologia de usinagem e a utilização de outros materiais possibilitam uma variedade na composição das paredes formadas por sobreposição de componentes sólidos em madeira (ver Figura 4.17).

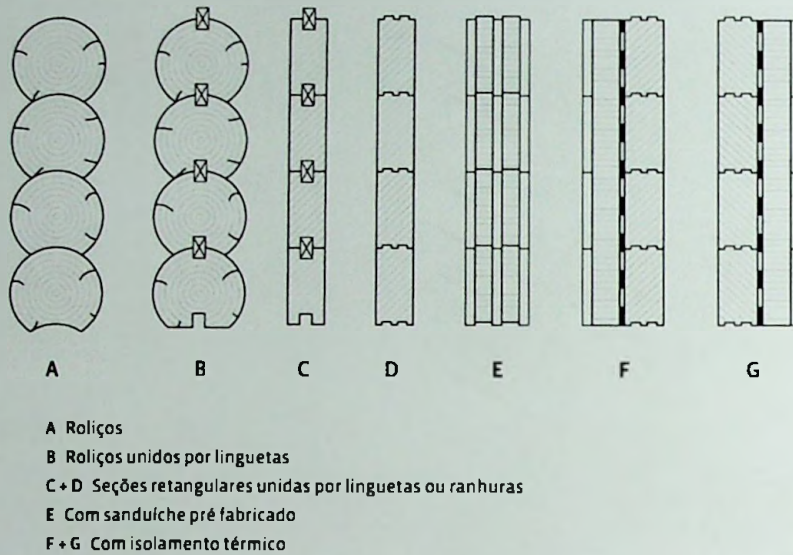


FIGURA 4.17

Seção transversal de diferentes formas e composição de sobreposição para paredes maciças.

Fonte: adaptada de Kolb (2008). Desenho: Oliveira (2022).

Outras características do sistema incluem mão de obra altamente especializada, cuidado na seleção da madeira, articulações de canto bem trabalhadas e alto consumo de madeira. Por conta de questões econômicas e construtivas, a construção em tora com vários andares não é viável atualmente (KOLB, 2008).

A Figura 4.17 mostra as possíveis formas de seção transversal para paredes de toras desde toras simples redondas até componentes colados tipo sanduíche.

4.4.3.2 Madeira engenheirada

O desenvolvimento da produção de grandes componentes pré-fabricados em madeira engenheirada (descrita na seção 3.2 deste livro) permitiu a introdução de novos sistemas construtivos. Esse tipo de construção ficou conhecido pelo termo em inglês *solid timber construction*, que se caracteriza por apresentar o sistema estrutural e os sistemas de vedação vertical e de pisos compostos por placas de madeira maciça, ou painéis maciços (KOLB, 2008). A estabilidade estrutural do sistema é garantida pela distribuição das cargas no plano da placa.

É empregada uma quantidade menor de componentes, tendo em vista que as camadas de suporte, de vedação vertical, de piso e de isolamento são formadas

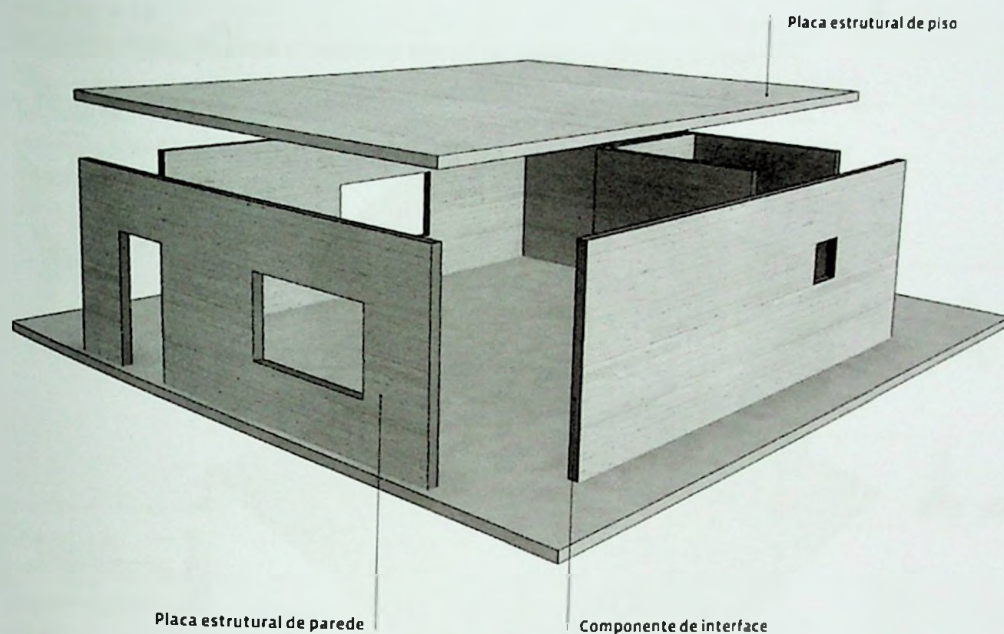


FIGURA 4.18
Componentes estruturais do *solid timber construction*.

Fonte: adaptada de Kolb (2008). Desenho: Oliveira (2022).

apenas pelos componentes estruturais maciços (KOLB, 2008). Contudo, é necessário adicionar materiais para revestimento externo para paredes e coberturas e para revestimento interno nas áreas úmidas. Os principais componentes estruturais estão apresentados na Figura 4.18.

A montagem em canteiro de obras se dá, usualmente, de pavimento por pavimento, contando com componentes pré-fabricados (painéis estruturais maciços). O sistema permite construir edifícios de multipavimentos. A modulação dos componentes depende do fabricante das placas estruturais.

No Brasil, o sistema construtivo que vem se difundindo recentemente dentro desse tipo de construção é a CLT. O pré-dimensionamento estrutural definirá a quantidade e a espessura das camadas que compõem o painel e os seus comprimentos máximos, dependendo se o painel servirá para parede, lajes de piso com vãos simples ou com vãos duplos e lajes de cobertura. As principais conexões entre os painéis estão ilustradas na Figura 4.19 e detalhadas no Quadro 4.12.

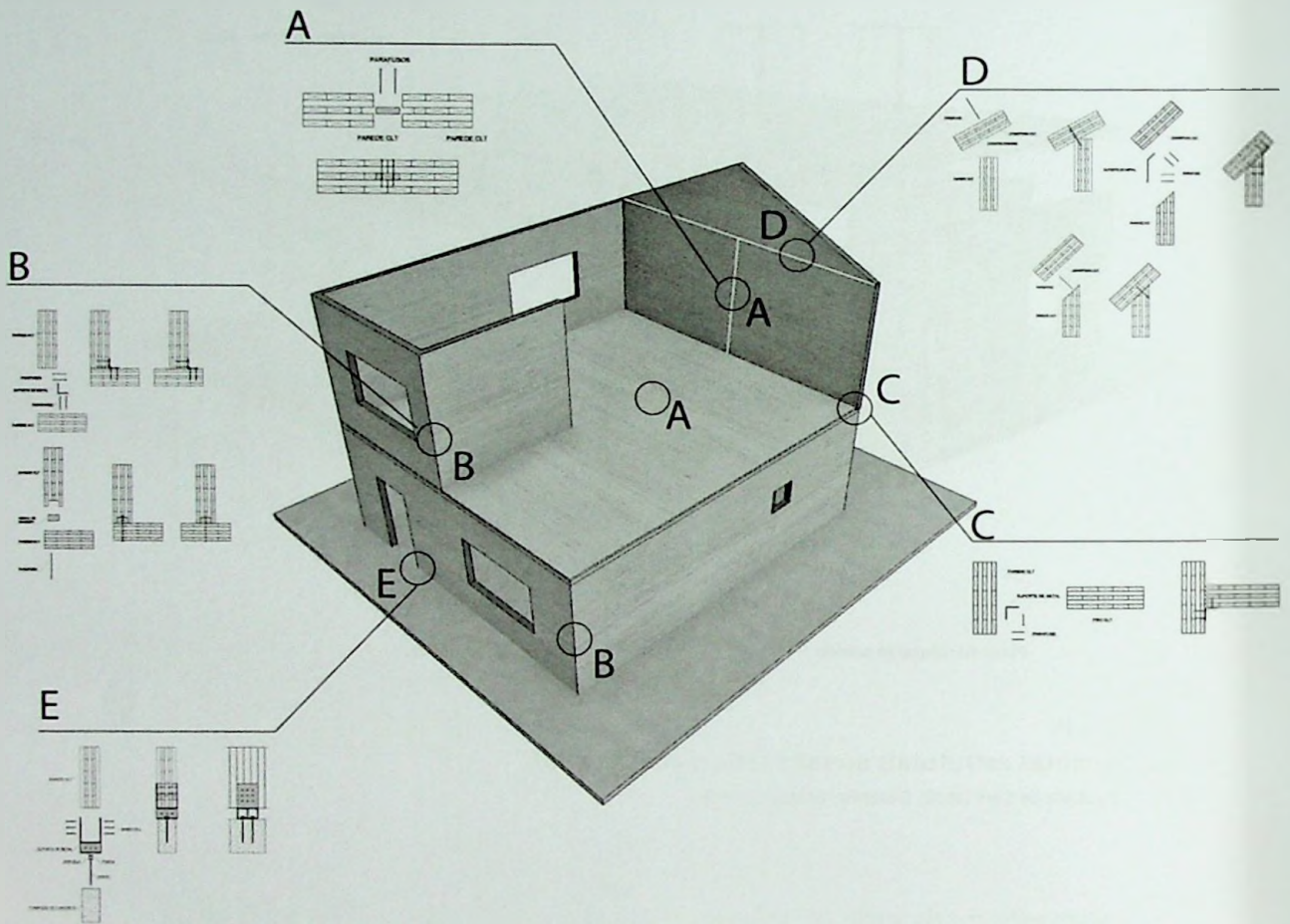
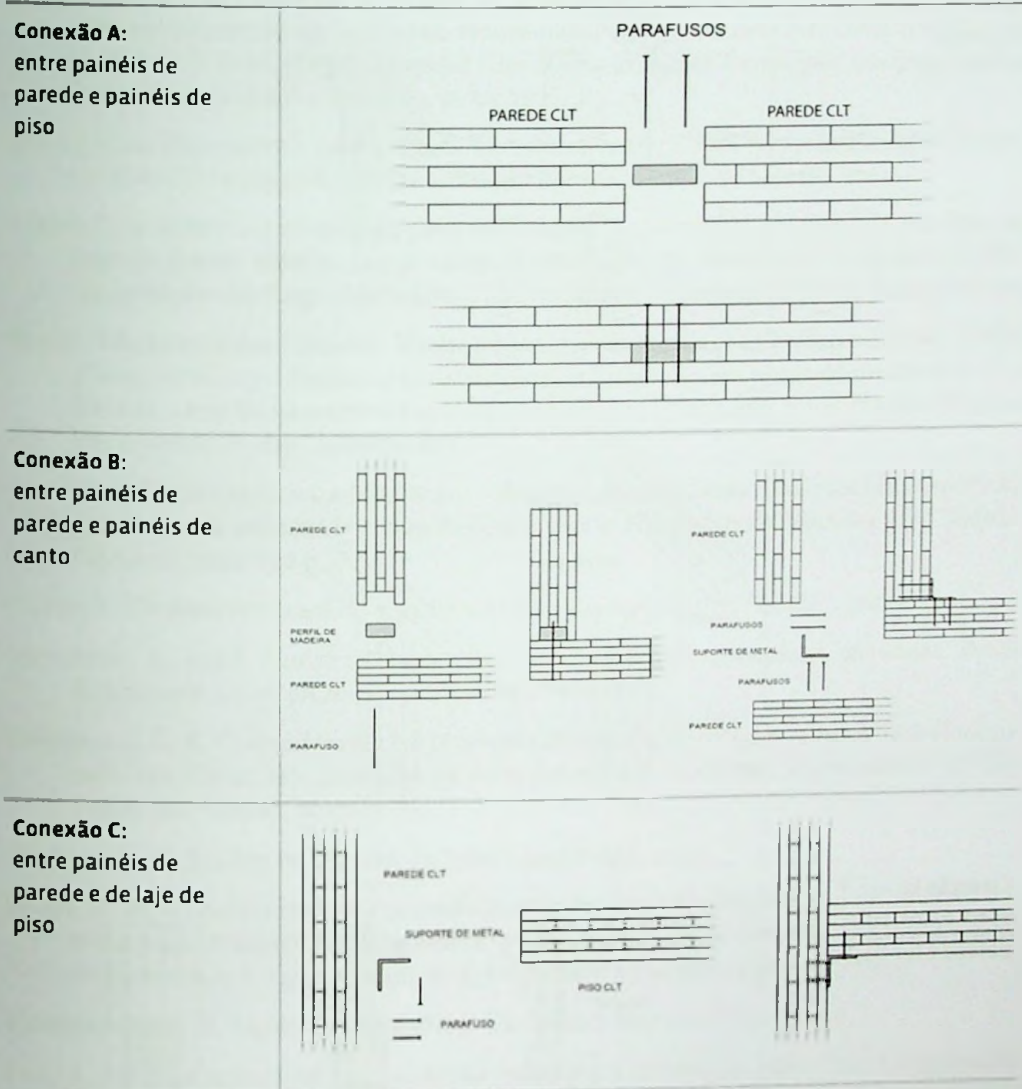


FIGURA 4.19

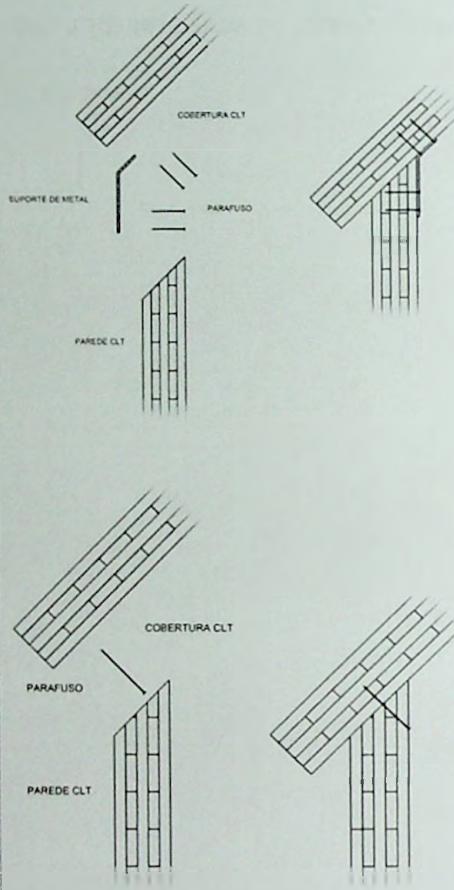
Principais conexões entre painéis CLT.

Fonte: adaptada de Karacabeyli e Gagnon (2019). Desenho: Oliveira e Souza (2022).

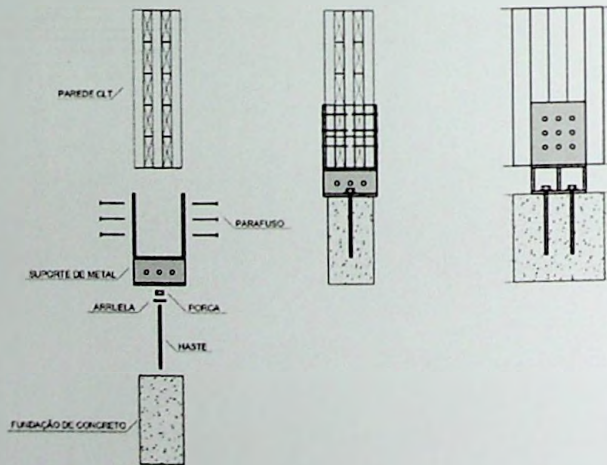
QUADRO 4.12
DETALHES PRINCIPAIS DE CONEXÕES ENTRE OS PAINÉIS PAREDE E PISO



Conexão D:
entre painéis de
parede e cobertura
inclinada



Conexão E:
entre painéis de
parede e fundação



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APRILANTI, M. D.; TAVARES, S. F.; INO, A. Avaliação de projetos de painéis em madeira para revestimento de fachadas: recomendações para o detalhamento construtivo. In: TULLIO, F. B. M. (Org.). *Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias*. Ponta Grossa: Atena, 2019, v.1, p. 94-107.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ALTOÉ, E. S. *Diretrizes projetuais para edificações unifamiliares em toras de eucalipto no Espírito Santo*. Vitória. 149 p. 2009. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (Sinat). *DA Tec nº 005, revisão 3 – Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas (Sistemas leves Light wood frame)*. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2020.
- CENTRO DE TECNOLOGIA DA MADEIRA – HABITAÇÃO JAPONESA. *Taikyusei koje no tebiki/ Manual para aumentar a durabilidade*. (Série Habitação de Madeira n.3). Tóquio: Maruzen, 1982. 110 p.
- CHING, F. *Dicionário visual de arquitetura*. São Paulo: Martins Fontes, 2010.
- DEPLAZES, A. (ed.). *Constructing architecture: materials, processes, structure*. Basel: Birkhäuser, 2005. DOI: 10.1007/3-7643-7666-x.
- ESPÍNDOLA, L. R. *O wood frame na produção da habitação social no Brasil*. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
- FRAMPTON, K. *Studies in Tectonic culture*, Cambridge, 2001.
- GANN, D. M. Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan. *Construction Management & Economics*, v. 14, n. 5, 1996, p. 437-450. DOI: 10.1080/014461996373304.
- HERTZBERGER, H. *Lições de arquitetura*. São Paulo: Martins Fontes, 1996.
- INO, A. *Sistema estrutural em eucalipto roliço para habitação*. 1992. Tese (Doutorado em engenharia de construção civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- INO, A. Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma edificação em madeira. *Workshop Durabilidade das Construções*, São Leopoldo, Brasil, 1997.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (Junac). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. PADT-Refort, 1984.
- KARACABEYLI, E.; GAGNON, S. *Canadian CLT handbook*. Point-Clare: FPInnovations, 2019.
- KOLB, J. *System in timber engineering*. Alemanha: Birkhäuser, 2008.
- LOPES, J. M.; BOGÉA, M.; REBELLO, Y. *Arquiteturas da engenharia ou engenharias da arquitetura*. São Paulo: Mandarin, 2006.

- MONEO, R. (1985). *The solitude of buildings*, Aula Magna, Kenzo Tange Visiting Professor Chair, Harvard University Graduate School of Design. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/626120/a-solidao-dos-edificios-rafael-moneo>. Acesso em: 31 jul. 2019.
- NATTERER, J.; HERZOG, T.; VOLZ, M. *Construire en bois 2*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1994.
- PARICIO, I. *La construcción de la arquitectura*. Barcelona: Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, 1996.
- PIÑON, H. *Teoria del Proyecto*. Barcelona: ETSAB, 2006.
- REBELLO, Y. *A concepção estrutural e a arquitetura*. São Paulo: Ziguarte, 2000.
- SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS (Sinat). *DATec nº 020-D*. Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada - Tecverde (tipo light wood framing). 2020. Disponível em: <https://pbqp-h.mdr.gov.br/biblioteca/datec-n-020-d/>.
- WEIMER, G. *Arquitetura da imigração alemã*. Porto Alegre: Editora da Universidade, Nobel, 1983.

Sobre os autores

Akemi Ino é engenheira civil e mestre em arquitetura pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP) e doutora pela Escola Politécnica da mesma instituição. Fez especialização na Osaka City University (Japão) com pesquisa “Habitação Japonesa em Madeira”. Em 1993 fundou o Grupo de Pesquisa Habis – Habitação e Sustentabilidade. Foi membro do Comitê de Assessoramento do CNPq CA-SA/AU (2013-2019) e desde 1994 é pesquisadora do CNPq. Participou na organização do Instituto Brasileiro de Madeira e Estrutura de Madeira (Ibramem) (1983). Atualmente é professora livre-docente no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP) e orientadora de mestrado e doutorado no Programa de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP). Coordenou vários projetos de pesquisa em desenvolvimento de componentes e sistemas construtivos em madeira e terra. Recentemente recebeu o Prêmio USP “Trajetória pela Inovação”.

Beatriz Aparecida Corrêa Souza é graduanda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo, no Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP), Campus São Carlos. Atualmente, é integrante do Grupo de Pesquisa Habitação e Sustentabilidade (Habis), em que atua como pesquisadora de iniciação científica na área de tecnologia dos materiais com enfoque nos sistemas construtivos em madeira.

Erich Kazuo Shigue é graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista (Faac-Unesp). Mestre e doutorando pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP). Foi aluno pesquisador pela Kyushu University (Japão) na área de construções pré-fabricadas em madeira. Possui experiência no