ANDREA BERRIEL

ARQUITETURA DE MADEIRA: REFLEXÕES E DIRETRIZES DE PROJETO PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor(a) em Engenharia Florestal.

CURITIBA
2009

ANDREA BERRIEL

ARQUITETURA DE MADEIRA: REFLEXÕES E DIRETRIZES DE PROJETO PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor(a) em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Monteiro de Matos

Co-orientadora: Prof.ª Dr.ª Josilena MZ Gonçalves

CURITIBA
2009

Capa
Fábio Stinghen

Diagramação
Andrea Berriel

Revisão Ortográfica
Maria Cristina Périgo

FICHA CATALOGRÁFICA

B533a Berriel, Andrea, 1972-

Arquitetura de madeira [manuscrito] : reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos / Andrea Berriel. – 2009.

363p. : il. [algumas color.] ; 31 cm.

Impresso.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, na Área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, 2009.

"Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Monteiro de Matos e co-orientadora: Profª. Drª. Josilena M. Z. Gonçalves".

Bibliografia: p. 353-363

1. Arquitetura - Projetos e construção. 2. Construção de madeira. 3. Estruturas de madeira (Construção civil). 4. Madeiras de construção. I. Universidade Federal do Paraná. II. Matos, Jorge Luís Monteiro de, 1960-. III. Gonçalves, Josilena Maria Zanello, 1960- . IV. Título.

CDD: 721.0448

Bibliotecário: **Arthur Leitis Junior – CRB9/1548**

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 801

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Andréa Berriel Mercadante Stinghen* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "***ARQUITETURA DE MADEIRA: REFLEXÕES E DIRETRIZES DE PROJETO PARA CONCEPÇÃO DE SISTEMAS E ELEMENTOS CONSTRUTIVOS***", é de parecer favorável à *APROVAÇÃO* do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS.

Dr. Antonio Carlos Zani
Universidade Estadual de Londrina
Primeiro examinador

Dr. Key Imaguire Junior
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

Dr. Graciela Ines Bolzon de Muniz
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador

Dr. Josilena Maria Zanello Gonçalves
Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador

Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO U.F.P.R. MESTRADO DOUTORADO Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 03 de setembro de 2009.

Setsuo Iwakiri
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
João Carlos Garzel Leodoro da Silva
Vice-coordenador do curso

Ao Fábio e ao Thor

Dedico

E também aos admiradores, pesquisadores e executores da arquitetura de madeira, carpinteiros, artesãos, estudantes, arquitetos e clientes.

À minha família, com a qual pude contar em *todos* os momentos.

Aos amigos queridos, que dão graça e *tom* à vida.

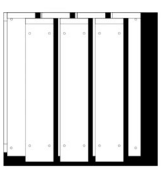




Figura 1 - Arquiteto R. M. Schindler. Casa Schindler / Chace. *North Kings Road,* West Hollywood, 1921-22. FONTE: STEELE (2007, p. 23).

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jorge Matos pela orientação, amizade, incentivo e apoio constantes.

À Prof.ª Josilena Gonçalves por ter co-orientado este trabalho, pela amizade e por compartilhar o gosto pelos “caminhos de florestas”.

Ao meu pai, Rafael Mercadante Neto, *in memorian*, por ter patrocinado parte do meu mestrado e por ter me ensinado a acordar cedo. Sem essas coisas, eu provavelmente não estaria aqui agora.

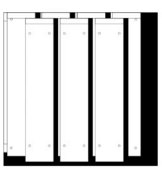
Ao meu marido Fábio Stinghen, por ter patrocinado a outra parte do mestrado, por toda sua generosidade e paciência e, durante o Doutorado, por rastrear e comprar livros esgotados para mim, como o *“RM SHINDLER, Composition and Construction*”, fundamental nesta pesquisa.

À Universidade Estadual de Londrina, UEL, onde me graduei Arquiteta e Urbanista em 1996 e onde recebi ensino público, gratuito e de qualidade.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, que através de convênio com a Pontifícia Universidade Católica do Paraná, PUC-PR, trouxe um curso de mestrado em Arquitetura para Curitiba o que possibilitou que em 2002 eu me tornasse mestre em Arquitetura e Urbanismo.

À Universidade Federal do Paraná, UFPR, onde fiz o doutorado no Curso de Engenharia Florestal e mais uma vez recebi ensino público, gratuito e de qualidade.

Aos colegas professores e funcionários do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Paraná, especialmente ao meu grande amigo, o Prof. Key Imaguire, pelo conhecimento compartilhado e por ter acompanhado e incentivado esses meus quase dez anos pesquisando a arquitetura de madeira, ao Prof. Emerson Vidigal por me emprestar os primeiros textos sobre o metaprojeto, por me incentivar a pesquisar o assunto e, também, por ter me substituído no *atelier* de projeto do segundo ano para que eu pudesse me concentrar em escrever a tese, ao Prof. Antônio Castelnou pela ajuda constante e à Profª. Lisana Schmitz pelo importante auxílio e amizade ao longo do trabalho, me ajudando inclusive a “enxugar” o primeiro sumário, do qual poderiam ser extraídas pelo menos umas oito teses diferentes.



Aos colegas da Biblioteca de Ciência e Tecnologia da UFPR, especialmente às bibliotecárias Eliane Stroparo e Angela Mengatto Farias, por todo o auxílio permeado de amizade e gentileza.

Aos colegas estudantes, professores e funcionários do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, especialmente à Marilzete Basso, pela nossa primeira conversa sobre modulação, também à Sílvia Romão, Esoline Zamarian, Márcia Keiko Ono e Janice Bernardo pela amizade e por compartilharmos um tempo muito bom. À professora Graciela Inês Bolzon Muñiz pelos ensinamentos valiosos sobre a madeira e sobre a vida nos nossos inesquecíveis cafés dentro do Laboratório de Anatomia da Madeira; ao professor Setsuo Iwakiri que me ensinou o que eu sei sobre painéis de madeira, à Roselaine e ao Prata pelos conselhos técnicos durante o desenvolvimento dos protótipos.

Ao Cervantes Ayres por me enviar textos do Lionel March sobre o Schindler e seu *"Space Reference Frame, Modular Coordenation and the row"*.

Ao Fábio Domingos (Instituto ArqBrasil) pelo grande auxílio e pelos livros emprestados ao longo de todo o trabalho.

Ao Ricardo Dias Silva (UEM) pela cumplicidade, amizade e auxílio durante toda a pesquisa;

Ao Hélio Olga (ITA Construtora) por todas as conversas sobre construção de madeira e racionalização da construção.

À Akemi Ino (USP - São Carlos) pelo auxílio no início da estruturação do trabalho.

Ao Professor Ivan Tomazelli (UFPR e STCP) pela orientação desde a estruturação do projeto de tese.

Ao Erich Schaitza (EMBRAPA), pelo auxílio constante durante o mestrado e o doutorado e ao Alexandre Tetto (SEAB) pelos dados sobre a bracatinga, o pinus e o ipê, que foram as três espécies florestais utilizadas na construção dos protótipos deste trabalho.

Ao Gerson, ao Otto, ao Sr. Antenor, ao marceneiro Luis e aos outros funcionários da Marcenaria Confraria Moveleira, por me auxiliaram durante a construção dos protótipos.

Aos estudantes de Arquitetura e Urbanismo, por me ensinarem muitas coisas todos os dias.

Aos amigos que conferem sentido e alegria à minha vida, principalmente à Camila, à Pat, à Baby, à Rê e ao Chapinha, que continuam sempre conosco, mesmo em meio a fraldas, mamadeiras e capítulos de uma tese de doutorado.

À minha família toda: minha amada mãe Lea, que nos auxiliou o tempo todo, suportanto um frio rigoroso em Curitiba nas semanas que ela passou aqui em julho de 2009. Ao meu irmão Rafael e minha cunhada Daniele, às sobrinhas Gabriela e Bianca, aos primos e primas, especialmente: Pili, Lyzete, Cláudia e Cristina; aos tios e tias, especialmente tia Lyenne e tio José Cardoso; e aos meus avós (*in memorian*), especialmente à vovó Minerva, que nos ensinou a todos que as coisas – mesmo as mais triviais – podem ser bem feitas.

À Néia, que manteve minha casa limpa e organizada para que eu pudesse me dedicar ao trabalho.

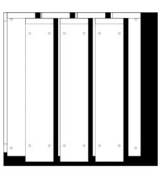
Aos professores de yoga, Luciana Kaiut e Francisco Kaiut, ao último também por ser meu mestre nos primeiros passos da construção de uma mente contemplativa.

Agradeço especialmente aos meus amados filhos: ao Thor, por me dar sua mãozinha, me abraçar e por me acordar todas as manhãs com um beijo. E ao Arthur, pelo tempo que tivemos juntos.

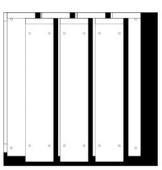
Aos mentores que trazem as oportunidades e apontam caminhos.

A Deus e ao Espírito Santo por me guiarem sempre.

À força da Natureza, sua perfeição inexorável que permeia tudo a nossa volta.

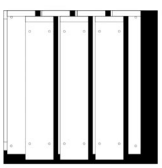


Durante o doutorado nasceu meu filho Thor, foi quando eu aprendi a amar numa dimensão maior e muitas outras coisas. Também durante o doutorado tive que me despedir de minha avó Minerva, de meu pai Rafael e de Arthur. Mas todo o amor e conhecimento que eles me legaram continuam vivos. Espero sinceramente que nestas páginas, escritas em meio a tantas mudanças e percalços, estejam impressas tanto a vida que se renova quanto a sabedoria que se consolida com o tempo, somente com o tempo.



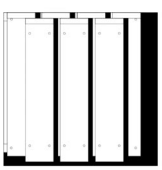
Minicurrículo

Andréa Berriel é arquiteta e urbanista formada pela Universidade Estadual de Londrina – UEL, em 1996. Mestre em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – em convênio com a PUC-PR –, em 2002, com a dissertação “Madeira e morada: a habitação de madeira como opção para o século XXI”. Iniciou o doutorado em 2005 no Curso de Engenharia Florestal da UFPR, onde aprofundou os estudos sobre a madeira e sua utilização de maneira racional e mais sustentável no projeto e construção da arquitetura. Professora de projeto desde 2001 e professora efetiva no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR desde 2004.



“Nada há de novo sob o sol, e *tudo continua sempre*.”

Eclesiastes



“Evidência objetiva e certeza são, sem dúvida, ideais muito bons para se trabalhar, mas onde neste planeta iluminado pela lua e visitado pelos sonhos são encontrados? Sou pessoalmente, portanto, um completo empirista no que tange à minha teoria do conhecimento. Vivo, de fato, de acordo com a fé prática de que devemos seguir experimentando e refletindo sobre nossa experiência, pois só assim nossas opiniões podem se tornar mais verdadeiras”

William James (2001, p. 26)

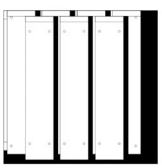




Figura 2 - Casa de taipa de sopapo. Gonçalves-MG, 1994. (FONTE: Fotografias da Autora).

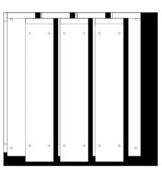
PREFÁCIO

Sempre tive interesse pela maneira como as coisas são feitas – e essa é a primeira motivação desse trabalho de tese. Admiro o trabalho das costureiras, que deslizam os dedos por um tecido e fazem a leitura do seu caimento; o padeiro que conhece os mistérios da massa do pão; o mestre de obras, que sabe que além do traço correto do concreto, a chuva, o sol, o calor, o frio, o sim e o não agirão ali; falo do conhecimento prático, que através da experiência faz descobrir que além de seguir uma fórmula, é preciso perceber outras coisas, ter *sensibilidade*. Falo de gente que sabe fazer coisas e, que para isso, utiliza a cabeça, o coração e as mãos.

Sou paulista do interior, Bauru, e fiz meu curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo em Londrina, na UEL, de 1991 até 1996. Por volta do terceiro ano, numa viagem extraescola ao Sul de Minas, me encantei com as casas de taipa de sopapo (Figura 2), aquela taipa de mão em que o barro é socado sobre uma trama de madeira. Aquilo era o *"saber fazer"* mais cheio de poesia que eu já tinha visto na vida.

Isso direcionou naquela época o meu trabalho de graduação. Fiz pesquisas sobre a "Casa Paulista", feitas de taipa de pilão que já é uma outra técnica que também utiliza o barro cru, que é apiloado em meio a painéis deslizantes de madeira. Fiz maquetes em várias escalas, até um trecho de parede, sapata corrida de concreto, formas de madeira e barro cru. No dia da apresentação um garoto esbarrou nessa maquete da parede – que despencou de cima da mesa – e por incrível que pareça, quebrou apenas um pedaço do concreto e a taipa permaneceu inteira. Fiquei ainda mais interessada pelos materiais do *saber fazer popular*.

Mais tarde, já em Curitiba e iniciando o mestrado, meu orientador, o professor Juan Mascaró, me disse para continuar nessa linha de pesquisa, pois ele conhecia meu projeto de graduação. Mas, em uma das aulas, a professora Lúcia Mascaró me alertou: "Olhe à sua volta! Aqui no Paraná, por questões climáticas não há taipa! Veja as casas de madeira da imigração!". Nesse momento abriu-se um universo interminável das casas de madeira (Figura 3), suas paredes de tábuas e



mata-juntas, verticais, ritmadas, imbuídas daquela mesma beleza encontrada antes nas tramas que sustentavam o barro cru. Essas casas, construídas com a madeira da araucária, predominantemente na primeira metade do século XX (Figura 4), aos poucos são desmontadas, queimadas, suprimidas da paisagem urbana (Figura 5).

A segunda motivação do meu trabalho de mestrado, e também desse trabalho de doutorado, é relativa à origem e transformação das coisas: a terra crua me interessava também por ser uma técnica bem pouco agressiva ao meio ambiente, que utiliza material e mão de obra locais e que tem um gasto energético muito baixo no processo de transformação. Logo percebi que a construção em madeira tem as mesmas qualidades e mais uma – talvez a qualidade mais importante da madeira, que a transforma num material muito apropriado para as demandas do século XXI –, o fato de ser um material renovável.

A construção civil é responsável pela utilização de cerca da metade dos recursos naturais consumíveis no Planeta Terra, fora isso, gera entulho e escórias em quantidades aterradoras, o que sinaliza que há desperdício envolvendo o processo. Ao olharmos para o belo *skyline* de Curitiba, emoldurado pelo perfil inebriante da Serra do Mar, é preciso que nos lembremos que parte significativa da cidade veio das cavas ao longo do Rio Iguaçu. Materiais de fontes minerais e esgotáveis como o cimento são amplamente utilizados. Por outro lado, políticas cuidadosas de cultivo de florestas têm sido discutidas e implementadas no mundo todo, e como resultado a madeira se torna uma matéria prima inesgotável. Além disso, as florestas possibilitam a sobrevivência e até a redescoberta dos rios, melhorando assim a qualidade da água e do ar. É de conhecimento geral que grandes áreas de florestas nativas são derrubadas diariamente e as áreas transformadas em pastagem para gado. Valorizar a floresta em pé, agregando valor à madeira, corretamente utilizada através de manejo, capaz de se renovar e produzir continuamente, é a única maneira de preservação do rico patrimônio florestal

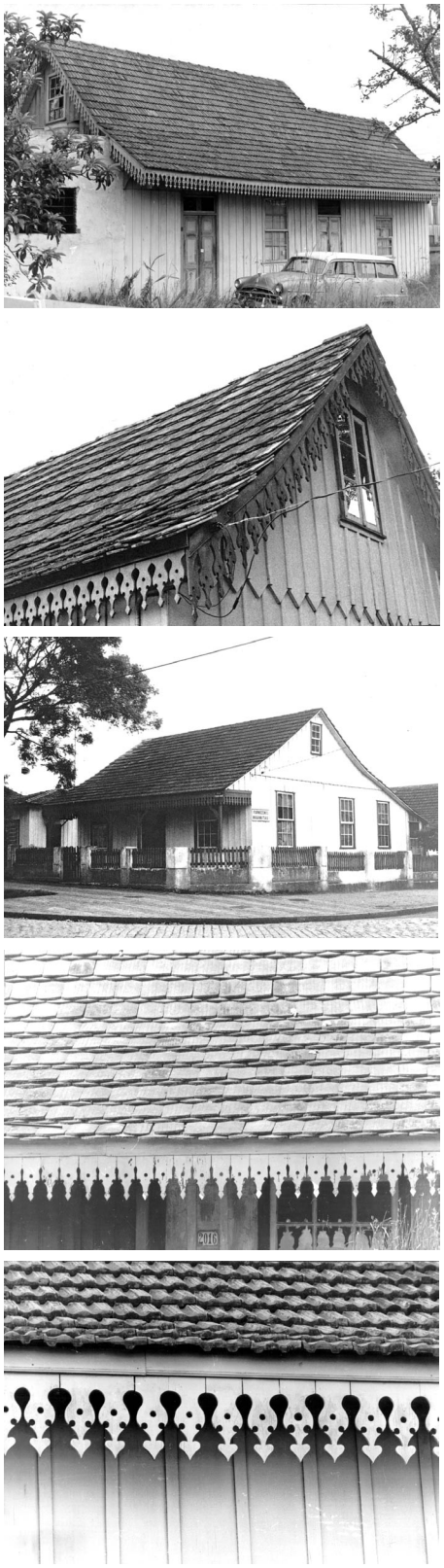


Figura 3 - Casas de tábuas e mata-juntas. Detalhe dos lambrequins. Curitiba-PR. FONTE: Acervo pessoal IMAGUIRE, Key.

brasileiro.

A madeira, além de ser matéria prima renovável, utiliza pouca energia no processo de transformação e volta para a terra no final do processo, sem gerar resíduo, sendo, neste caso, nula em relação às emissões de carbono – quando a madeira apodrece, o carbono que foi capturado e armazenado durante a vida da árvore volta para o meio, nem mais, nem menos. Mas quando a madeira permanece em forma de casas, elementos construtivos ou móveis, o carbono permanece fixado na madeira, que a partir daí assume um duplo papel: o material,

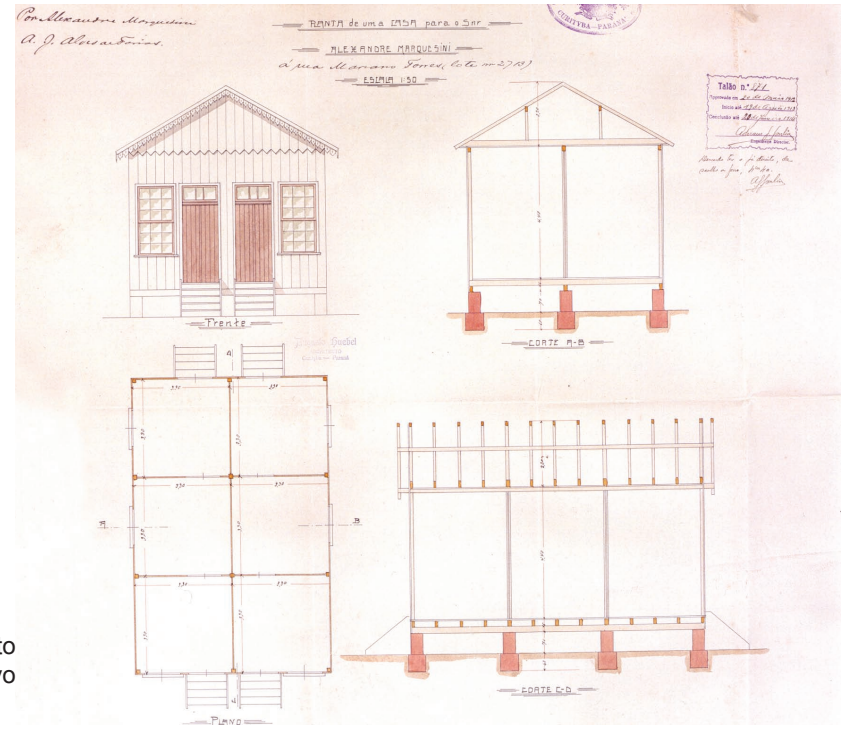


Figura 4 - Projeto de Augusto Huebel, 1912. FONTE: Acervo Casa da Memória, Curitiba-PR.

de objeto útil, belo, funcional e o sócioeconômico e ambiental, de reservatório de carbono.

O arquiteto, ao desenvolver uma visão sistêmica de todo o processo construtivo, compreendendo a origem dos materiais, seu processo de retirada da natureza, transformação, utilização e retorno para o meio, será capaz de ter uma atitude mais coerente num futuro próximo, além de assumir o papel, que é de sua responsabilidade: o de coordenador de todo o processo construtivo, única figura cuja formação torna capaz de

fazer a conexão entre as diversas áreas do conhecimento que concorrem para que a arquitetura aconteça de fato – projeto e construção, ciência de materiais, engenharia civil e engenharia de produção.

Esta tese não pretende, no entanto, defender a ideia de que a madeira é material apropriado para as construções do século XXI por sua renovabilidade, por sua capacidade de fixar carbono, por suas características físico-mecânicas, por sua inegável beleza intrínseca e pela possibilidade de ser empregada em diversas cadeias produtivas de industrialização que gerem materiais mais leves e esquemas de montagem a seco, mais rápidos e econômicos. Tudo isso já foi discutido e verificado em inúmeras teses anteriores a esta. Comprovaremos o quanto a madeira é material apropriado através da experiência.



Figura 5 - Casa de madeira em primeiro plano e torre da Telepar ao fundo. Curitiba- PR. FONTE: Acervo da Autora.

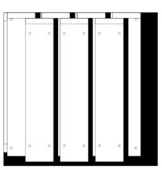
O passo a que esta tese se propõe é discutir maneiras de se utilizar a madeira no desenho de componentes e sistemas construtivos que aproveitem todas as qualidades já mencionadas, partindo da prerrogativa de que há a necessidade do conhecimento das mesmas por parte do arquiteto, projetista desses novos componentes e sistemas. Aí sim existe uma lacuna ainda não preenchida do conhecimento. Inúmeros trabalhos científicos tratam da madeira enquanto material lenhoso e fazem ensaios de suas características físico-mecânicas, comparando espécies e chegando a resultados estatísticos. Por outro lado, alguns trabalhos tratam da metodologia de projeto arquitetônico. No entanto, a lacuna existe justamente entre o conhecimento do material e a busca de um método de se projetar utilizando este material com o objetivo de criar produtos de madeira que contenham qualidades como beleza, conforto, durabilidade, rapidez, leveza e economia, enfim, qualidades que os tornem competitivos no mercado da construção civil atual.

E enquanto estivermos discutindo *o fazer arquitetura de madeira*, existirá uma disposição permanente de adquirir a experiência do *"saber-fazer",* é preciso conhecer

as propriedades do material, mas mais que isso, é preciso se entregar, se submeter, se envolver... É preciso sair da frente da tela do computador e por a *mão na massa*, resgatar o conhecimento dos mestres carpinteiros... é preciso *construir,* ou antes, *"produzir"* protótipos de elementos construtivos de madeira; o desenho "resolve" a construção e a construção "resolve" o desenho, num ciclo contínuo, absolutamente coerente e necessário, que inclui avanços e retrocessos e novos avanços! Experimentar o material inclui cheirar, deslizar os dedos pelos seus veios, no sentido de suas fibras e também no sentido tangencial e perceber a diferença; segurar uma peça de pinus em uma das mãos, uma peça de bracatinga ou de ipê na outra e perceber a diferença de peso, pressionar com a unha e perceber a dureza, morder um pedaço e experimentar como as mais escuras são mais amargas do que as mais claras e concluir que os agentes xilófagos também sentem isto. Esse tipo de conhecimento só pode ser adquirido vivendo, experimentando.

> [...] fazer uma experiência com algo significa que algo nos acontece, nos alcança, que se apodera de nós, que nos tomba e nos transforma. Quando falamos em "fazer" uma experiência, isso não significa precisamente que nós a façamos acontecer, "fazer" significa aqui: sofrer, padecer, tomar o que nos alcança receptivamente, aceitar, à medida que nos submetemos a algo. Fazer uma experiência quer dizer, portanto, deixar-nos abordar em nós próprios pelo que nos interpela, entrando e submetendo-nos a isso. Podemos ser assim transformados por tais experiências, de um dia para o outro ou no transcurso do tempo (HEIDEGGER 1987, p. 143).

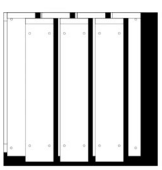
E o tempo será nosso aliado nessa jornada. Uma floresta cresce lenta e incansavelmente através do tempo. Parece não haver esforço algum. A vida é gerada e se renova constantemente sob o sol. Não haverá neste trabalho muita pressa, nem um rigor excessivo, que seria, talvez, de se esperar durante o desenvolvimento de um elemento construtivo de madeira, por se tratar de um trabalho aparentemente técnico. Haverá, no entanto, uma disposição maior para refletir, questionar, pensar sobre o *projeto de arquitetura como um todo* e sobre um possível léxico a ser construído. Pensar de maneira pragmática, uma vez que a base filosófica que alinhava o trabalho é a filosofia pragmatista, que salienta que qualquer ideia tem validade apenas se trouxer alguma contribuição para a vida das pessoas. Com a devida ressalva de que, como a realidade é complexa e cheia de matizes e não há, por exemplo, como garantir que todas as pessoas, a despeito das suas idiossincrasias, sejam beneficiadas igualmente por uma mesma ideia e tampouco existe "um método estritamente pragmático: tal pretensão levada ao extremo pode resultar num absurdo delirante" (ÁBALOS, 2003, p. 9).



Ao investigar a verdade ou a falsidade de uma proposição, a pergunta que, segundo James (2006, p. 20), deveríamos fazer é: “que diferença concreta, em sendo verdade, fará em qualquer vida atual de alguém?”. E se isso é o que significa a verdade, então é evidente que uma proposição não deve ser tida como verdadeira no momento em que é feita; somente podemos tê-la como verdadeira depois que suas consequências particulares tenham ocorrido na experiência futura de alguém. Isso é o que devemos entender na insistência de Willian James a respeito de que “a verdade de uma idéia não é uma propriedade estagnada que lhe seja inerente. A verdade acontece a uma idéia”. Uma ideia torna-se verdadeira, é feita verdadeira, pelos acontecimentos. A verdade é, portanto, um processo de descoberta.

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque ele se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto”.

Albert Einstein

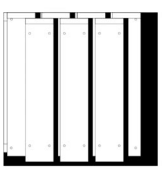


RESUMO

A madeira é uma alternativa apropriada para a construção civil por ser material renovável, por se adaptar bem a processos de pré-fabricação, por possibilitar obras secas e de montagem rápida, por apresentar boa relação entre peso e resistência mecânica, por ser posta em carga imediatamente nas estruturas, enfim, por ser mais leve e gerar menos impacto ambiental se comparada com outros materiais de construção. Além disso, o Brasil possui uma extensa área de florestas nativas e plantadas e excelentes condições de implementar sua produção madeireira, através de políticas públicas que coordenem e fiscalizem manejos sustentáveis e reflorestamentos. No entanto, apesar de todas as vantagens comparativas, a madeira é pouco utilizada no país. Isto se deve em grande parte a técnicas construtivas inadequadas, decorrentes da falta de conhecimento por parte dos profissionais e da escassez de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de tecnologias que atendam às necessidades e aspirações da população. Há falta de bons projetos de sistemas e obras de madeira, que ofereçam qualidades tecnológicas, plásticas[1] e funcionais. Posto isso, o objetivo principal deste trabalho foi investigar e refletir sobre o projeto de arquitetura como um todo e propor soluções de projeto de componentes constituídos por peças curtas de madeira maciça para paredes. O desenvolvimento de componentes, ou peças-sistema, se apresenta como uma alternativa para agregação de valor à matéria prima e geração de renda e empregos em diversos setores, além de aumentar a participação da madeira na construção e mercado nacionais. No que tange às construções de madeira, a prática demonstra que se precisa trabalhar a favor do desenvolvimento de uma tecnologia nacional e contra preconceitos culturais nos diversos segmentos econômicos da população. Para isso, a metodologia utilizada nesta tese é de pesquisa exploratória, seguindo as etapas: revisão bibliográfica, projeto de componentes e construção de protótipos. Como resultados, o trabalho apresenta reflexões sobre o projeto de arquitetura e o *metaprojeto* construtivo como um conjunto de ferramentas para uso diário do arquiteto – principalmente o uso de retícula projetual, modelos de categoria e coordenação dimensional –, como instrumento de racionalização e otimização do processo de concepção e construção da arquitetura; também propõe solução de projeto de peças-sistema construídas com peças curtas (com comprimentos inferiores a 70 cm) de madeira maciça, produzidas dentro de um esquema de pré-fabricação aberto, com uma propriedade aditiva que permite que se construa uma infinidade de longitudes e alturas com apenas 4 componentes para paredes de vedação e/ou estruturais, passíveis de serem montadas a seco; por fim, demonstra a sua viabilidade através da construção de protótipos com três espécies: uma nativa local, a bracatinga (*Mimosa scabrella*); uma exótica de reflorestamento, o pinus (*Pinus* sp.); e uma nativa amazônica, o ipê (*Tabebuia* sp.). Como conclusão, o conhecimento das características e propriedades tecnológicas da madeira e o projeto de *peças-sistema* são apresentados como ponto de partida para o desenvolvimento de tecnologias, projetos e obras que utilizem a madeira, como maneira de promover o uso deste material no Brasil.

Palavras-chave: Arquitetura de madeira. Projeto de arquitetura. Painéis. Componentes de madeira. Pré-fabricação aberta. Metaprojeto.

[1] Que tem características de beleza e harmonia.

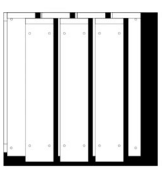


ABSTRACT

Wood is a good alternative construction material for many reasons. It is renewable and adaptable to prefabrication; can be quickly dry assembled, has a good weight/mechanical strength ratio and can withstand loads immediately after erection. Also, it is lighter and causes less environmental impact when compared to other construction materials. Brazil has vast areas of both native and planted forests and conditions are ideal for the implementation of wood production, if public policies are implemented to coordinate and monitor sustainable management and planted forests. However, in spite of these marked comparative advantages, wood is not often used as a construction material in this country, mainly because of the dissemination of inadequate construction techniques by professionals who are not knowledgeable enough. Another problem is the lack of research work on the development of technologies to meet the needs and aspirations of Brazilians. Furthermore, there are not enough designs of wood systems or wood constructions that satisfy high technological, plastic[2] and functional quality requirements. Considering the foregoing, the main objective of this study is to investigate and analyze architectural design in general and to propose design solutions based on wall components made of short solid wood parts. These components -- the so-called *system-components* -- would not only add value to the raw material, but also generate income and help create jobs in various sectors of the economy. Also they would increase the share of wood as a construction material in the domestic market. In practice, however, more work has to be done to develop technology locally and to fight the cultural prejudice that prevails in various classes of the Brazilian population. To this end, this study employed the concept of exploratory research consisting of the following phases: review of literature, design of components and construction of prototypes. The result was a collection of reflections on architectural design and constructive metadesign and on tools that should be routinely used by architects -- especially the design grid, category models and dimensional coordination -- to ensure a more sensible and optimized approach towards concepts and execution in architecture. This study also proposes a design solution consisting of commercially available open *system components* made of short pre-fabricated solid wood pieces (70cm long max). Only four of those components are enough to allow for different combinations of lengths and heights of dry-assembled infill and/or structural walls. Finally, the feasibility of this study is demonstrated by prototypes constructed with three wood species: *bracatinga* (*Mimosa scabrella*), a local native species; pine (*Pinus* sp.), an exotic planted species; and *ipê* (*Tabebuia* sp.), a native Amazonian species. As a conclusion, this study proposes that a better knowledge of wood characteristics and properties combined with the prefabricated component-based design are prerequisites for the development of new wood technologies, designs and constructions that will eventually lead to a more disseminated use of this construction material in Brazil.

Keywords: Wood architecture. Architectural design. Panels. Wood components. Open-system prefabricated components. Metadesign.

[2] Beautiful and harmonious

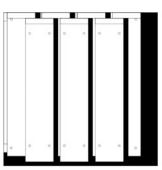


RESUMEN

La madera es una alternativa adecuada para la construcción civil ya que se trata de un material renovable, se adapta bien a procesos de prefabricación, posibilita obras secas y de montaje rápido, presenta buena relación entre peso y resistencia mecánica, se coloca inmediatamente en las estructuras, en fin, es más liviana y genera menos impacto ambiental si se la compara con otros materiales de construcción. Además, Brasil posee una extensa superficie de bosques nativos y plantados, así como excelentes condiciones de implementar su producción maderera, mediante políticas públicas que coordinen y fiscalicen manejos sostenibles y reforestación. Sin embargo, a pesar de todas las ventajas comparativas, la madera es poco utilizada en el país. Esto se debe en gran parte, a técnicas constructivas inadecuadas resultantes de la falta de conocimiento de los profesionales y de la escasez de investigaciones dirigidas al desarrollo de tecnologías que satisfagan las necesidades y aspiraciones de la población. Faltan buenos proyectos de sistemas y obras de madera que ofrezcan cualidades tecnológicas, plásticas[3] y funcionales. Una vez dicho esto, el objetivo principal de este trabajo es investigar y reflexionar sobre el proyecto arquitectónico como un todo y proponer soluciones de componentes constituidos por piezas cortas de madera maciza para paredes. El desarrollo de componentes o piezas-sistema se presenta como una alternativa para la agregación de valor a la materia prima y generación de ingresos y empleos en diferentes sectores, además de aumentar la participación de la madera en la construcción y mercado nacionales. En lo tocante a las construcciones de madera, la práctica demuestra que es necesario trabajar a favor del desarrollo de una tecnología nacional y contra prejuicios culturales en los diferentes sectores económicos de la población. Para eso, la metodología utilizada en esta tesis es de investigación exploratoria, siguiendo las etapas: revisión bibliográfica, proyecto de componentes y construcción de prototipos. Como resultado, el trabajo presenta reflexiones sobre el proyecto de arquitectura y el *metaproyecto* constructivo como un conjunto de herramientas para uso diario del arquitecto – principalmente el uso de retícula proyectual, modelos de categoría y coordinación dimensional –, como instrumento de racionalización y optimización del proceso de concepción y construcción de la arquitectura; también propone la solución del proyecto de piezas-sistema construidas con piezas cortas (con longitudes inferiores a 70 cm) de madera maciza, producidas dentro de un esquema de prefabricación abierto, con una propiedad aditiva que permite que se construya una infinidad de longitudes y alturas con apenas 4 componentes para paredes de sellado y/o estructurales, que se pueden montar a seco; finalmente demuestra su viabilidad a través de la construcción de prototipos con tres especies: una nativa local, la acacia bracatinga (*Mimosa scabrella*); una exótica de reforestación, el pino (*Pinus* sp.); y una nativa amazónica, el lapacho (*Tabebuia* sp.). Como conclusión, el conocimiento de las características y propiedades tecnológicas de la madera y el proyecto de piezas-*sistema* se presentan como un punto de partida para el desarrollo de tecnologías, proyectos y obras que utilicen la madera como manera de promover el uso de este material en Brasil.

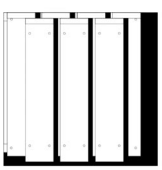
Palabras llave: Arquitectura de madera. Proyecto de arquitectura. Paneles. Componentes de madera. Prefabricación abierta. Megaproyecto

[3] Que tiene características de belleza y armonía.



LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ARQUITETO R. M. SCHINDLER. CASA SCHINDLER / CHACE. *NORTH KINGS ROAD,* WEST HOLLYWOOD, 1921-22.
FIGURA 2 - CASA DE TAIPA DE SOPAPO. GONÇALVES-MG, 1994.
FIGURA 3 - CASAS DE TÁBUAS E MATA-JUNTAS. DETALHE DOS LAMBREQUINS. CURITIBA-PR.
FIGURA 4 - PROJETO DE AUGUSTO HUEBEL, 1912.
FIGURA 5 - CASA DE MADEIRA EM PRIMEIRO PLANO E TORRE DA TELEPAR AO FUNDO. CURITIBA-PR.
FIGURA 1.1 - ESCOLA SUPERIOR SUÍÇA PARA INDÚSTRIA DA MADEIRA. AUTORES: MARCEL MEILI, MARKUS PETER E ZENO VOGUEL. LOCAL: BIEL, SUÍÇA.
FIGURA 1.2 - "MEU CAVALINHO PENSAMENTOS DE MADEIRA".
FIGURA 1.3 - COMPOSIÇÃO DE PAREDES DE VEDAÇÃO.
FIGURA 1.4 - CASA DE TÁBUAS E MATA-JUNTAS, ANTÔNIO PRADO-RS, 2004.
FIGURA 1.5 - CASA GUCKLHUPF. ÁUSTRIA, 1993.
FIGURA 1.6 - CONJUNTO DE CASAS DE TÁBUAS E MATA-JUNTAS. DETALHE: RUFO DE ZINCO QUE RECOBRE E PROTEGE A MADEIRA DE TOPO. ANTÔNIO PRADO-RS, 2004.
FIGURA 2.1 - CROQUI DE OSCAR NIEMEYER PARA O PROJETO DA CATEDRAL DE BRASÍLIA.
FIGURA 2.2 - SISTEMA GEOMÉTRICO BIDIMENSIONAL, GRELHAS HOMOGÊNEAS UTILIZADAS POR MIES VAN DER ROHE. PLANTA E ELEVAÇÃO DA CASA COM PÁTIO.
FIGURA 2.3 - SISTEMA GEOMÉTRICO BIDIMENSIONAL, AS LINHAS REGULADORAS UTILIZADAS POR LE CORBUSIER QUE CONTROLAVAM TAMBÉM AS ELEVAÇÕES E CORTES.
FIGURA 2.4 - SISTEMA GEOMÉTRICO TRIDIMENSIONAL, A GRELHA DOM-INO DE LE CORBUSIER.
FIGURA 2.5 - SISTEMA GEOMÉTRICO TRIDIMENSIONAL, O SISTEMA TRIDIMENSIONAL COM QUE SCHINDLER PROJETAVA TODAS AS SUAS OBRAS.
FIGURA 2.6 - CARPINTEIROS TRABALHANDO.
FIGURA 2.7 - EXEMPLOS DE SAMBLADURAS.
FIGURA 2.8 - SAMBLADURA EM SÃO MIGUEL DAS MISSÕES-RS, 2004.
FIGURA 2.9 - EXEMPLOS DE SAMBLADURAS E ENCAIXES.
FIGURA 2.10 - *FARNSWORTH HOUSE* DE MIES VAN DER ROHE (1945-50): PRINCÍPIOS DE TECTÔNICA.
FIGURA 2.11 - CENTRO POMPIDOU EM PARIS, 2004.
FIGURA 2.12 - PAVILHÃO DE BARCELONA. DETALHE DA JUNTA SECA ENTRE O PILAR CRUCIFORME E O MÁRMORE DO PISO.
FIGURA 2.13 - PILARES DE AÇO EM FORMA DE CRUZ SUSTENTANDO A COBERTURA PLANA DE 64,80 X 64,80 METROS DA *NEUE NATIONALGALERIE* EM BERLIM, MIES VAN DER ROHE, 1962-65.
FIGURA 2.14 - NO JAPÃO A QUALIDADE DA CARPINTARIA TRADICIONAL É MUITO ELEVADA, ONDE SE DESTACA A ELABORAÇÃO DE SISTEMAS DE UNIÃO SOFISTICADOS SEM RECORRER AO EMPREGO DE FERRAGENS (PREGOS OU PARAFUSOS).
FIGURA 2.15 - PALÁCIO KATSURA, SÉCULO XVLL. KYOTO, JAPÃO.
FIGURAS 2.16 - GUARNIÇÕES DE MADEIRA DA PORTA DO TEMPLO TÔSHÔDAI-JI EM



NARA.
FIGURA 2.17 - DETALHES DA CARPINTARIA JAPONESA. NA TRADIÇÃO JAPONESA O CARPINTEIRO DEVIA CUMPRIR UMA DUPLA FUNÇÃO: POR UM LADO ARCAR COM UMA DÍVIDA ADQUIRIDA COM A NATUREZA POR EXPLORÁ-LA E, POR OUTRO, DEVIA CUMPRIR UM SERVIÇO PÚBLICO ANTE A SOCIEDADE.
FIGURA 2.18 - A CABANA PRIMITIVA. FRONTISPÍCIO DO LIVRO *ESSAI SUR L'ARCHITECTURE* DE ABBÉ LAUGIER, 2. ED., 1755.
FIGURA 2.19 - A CABANA, DO *LIVRE DES COUTUMES*, AMSTERDAM *CHEZ PHOEBUS HA-LEVI*, 1662. ACERVO MUSEU DA ARTE E DA HISTÓRIA DO JUDAÍSMO, PARIS.
FIGURA 2.20 - CASA TRADICIONAL JAPONESA DE UM ANDAR.
FIGURA 2.21 - ANTONI GAUDI, CASA VICENS, BARCELONA.
FIGURA 2.22 - MIES VAN DER ROHE: DETALHE DA PLANTA DAS CASAS-PÁTIO COM ROTA DE ACESSO.
FIGURA 2.23 - ESQUEMA DE UM TRADICIONAL *HU T'UNG*, CONJUNTO DE CASAS-PÁTIO EM PEQUIM, MURADAS POR TODOS OS LADOS.
FIGURA 2.24 - COMPLEXOS RESIDENCIAIS DE CASAS-PÁTIO PARA FAMÍLIAS CHINESAS EM PEQUIM.
FIGURA 2.25 - GRUPO DE CASAS-PÁTIO DE MIES VAN DER ROHE, 1938.
FIGURA 2.26 - PAVILHÃO DE BARCELONA.
FIGURA 2.27 - FLUIDA TRANSPARÊNCIA DO INTERIOR DE UM TEMPLO ZEN BUDISTA (*KÔTÔ-IN IN THE DAITOKU-JI*, KYÔTO).
FIGURA 2.28 - "INSIDE IS OUTSIDE IS INSIDE": CROWN HALL AT THE IIT IN CHICAGO; MIES VAN DER ROHE (1952-56).
FIGURA 2.29 - "FROM EXTERIOR TO INTERIOR" IN THE ARCHITECTURAL AND HUMAN SENSE: RYÔKO-IN DAITUKU-JI TEMPLE DISTRICT IN KYOTO, WITH ABBOT KOBORI SOHAKU.
FIGURA 2.30 - O PAVILHÃO NA NATUREZA INTOCADA: *FARNSWORTH HOUSE*, MIES VAN DER ROHE.
FIGURA 2.31 - O PAVILHÃO NA NATUREZA PLANEJADA: PAVILHÃO DE CERIMÔNIA DO CHÁ EM SAYHÔ-JI ("MOSS GARDEN") IN KYÔTO, CERCA DE 1.340 DEPOIS DE CRISTO.
FIGURA 2.32: - MIES VAN DER ROHE: TECTÔNICA DAS FACHADAS DE AÇO. FEDERAL CENTRE IN CHICAGO (1959-73).
FIGURA 2.33 - MIES VAN DER ROHE, PILARES EM PERFIL DUPLO I, NO HOUSTON MUSEUM OF FINE ARTS (1954-58).
FIGURA 2.34 - A ESTRUTURA DO PILAR E DO CORBEL (MADEIRA) NO TEMPLO SHAN-HUA-SI EM DATONG.
FIGURA 2.35 - ESCADARIA ENVIDRAÇADA DA *HEALTH HOUSE*, A PRIMEIRA RESIDÊNCIA AMERICANA COM ESTRUTURA DE AÇO, EM LOS ANGELES.
FIGURA 3.1 - ESTUDOS SOBRE O MODULOR.
FIGURA 3.2 - MODULOR RELACIONADO ÀS MEDIDAS DO CORPO HUMANO.
FIGURA 3.3 - MALHA BÁSICA.
FIGURA 3.4 - ESCALA HUMANA.
FIGURA 3.5 - JOGO DE PAINÉIS, EXPERIMENTAÇÃO INTRODUZINDO CINCO MATERIAIS DIFERENTES PARA A COMPOSIÇÃO.
FIGURA 3.6 - VISTA GERAL DO *ATELIER* DE LE CORBUSIER NA RUA SÈVRES.
FIGURA 3.7 - PERSPECTIVA E PLANTA DA OFICINA E POSIÇÃO DA ESCULTURA.

FIGURA 3.8 - OFICINA DE LE CORBUSIER NA RUA SÈVRES.
FIGURA 3.9 - VISTAS EXTERNAS DA CABANA DE LE CORBUSIER EM CAP MARTIN, FRANÇA, 1950.
FIGURAS 3.10 - PLANTA DA CABANA.
FIGURA 3.11 - CORTES E ELEVAÇÕES DA CABANA.
FIGURAS 3.12 - VISTAS INTERNAS DA CABANA.
FIGURA 3.13 - PLANTA COM OS PONTOS DE VISTA DEMARCADOS (VISTAS INTERNAS: D, E, F).
FIGURA 3.14 - VISTA (A) EXTERNA DA CABANA. O JARDIM E A FACHADA DE ENTRADA.
FIGURA 3.15 - UMA DAS JANELAS (VISTA B).
FIGURA 3.16 - VISTA (C) INTERNA DE ACORDO COM PLANTA.
FIGURA 3.17 - VISTA (G) INTERNA DE ACORDO COM PLANTA.
FIGURA 3.18 - UNIDADE DE HABITAÇÃO DE MARSELHA NA FRANÇA.
FIGURA 3.19 - UNIDADE DE HABITAÇÃO DE FIRMUNY NA FRANÇA.
FIGURA 3.20 - A ÚNICA PLANTA – IMPRESSÃO AZUL – REMANESCENTE QUE SE TEM CONHECIMENTO DA *KINGS ROAD HOUSE*. A PLANTA MOSTRA A PRIMEIRA APLICAÇÃO DO SISTEMA ESPACIAL DE REFERÊNCIA DE SCHINDLER.
FIGURA 3.21 - TINA GRUEN, MODELOS DE *PLEXIGLASS* MOSTRANDO A SUBDIVISÃO ESPACIAL DO CUBO PROPOSTO POR SCHINDLER UTILIZANDO DIVISÕES PELA METADE, UM TERÇO E UM QUARTO, 1987.
FIGURA 3.22 - SALA DE ESTAR DE PAULINE SCHINDLER, CASA SCHINDLER/CHACE, NORTH KINGS ROAD, WEST HOLLYWOOD, 1921-22.
FIGURA 3.23 - *SCHINDLER FRAME* E DETALHES DO SISTEMA.
FIGURA 3.24 - ELEVAÇÃO *KINGS ROAD HOUSE*, 1922.
FIGURA 3.25 - DETALHE DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO SISTEMA *SCHINDLER FRAME*.
FIGURA 3.26 - *SCHINDLER FRAME*.
FIGURA 3.27 - DETALHES DO *SISTEMA SCHINDLER FRAME*.
FIGURA 3.28 - MODULOR DE LE CORBUSIER.
FIGURA 3.29 - SÉRIES DE LE CORBUSIER.
FIGURA 3.30 - *SCHINDLER FRAMES ON SPACE.*
FIGURA 3.31 - RITMO DE SCHINDLER.
FIGURA 3.32 - ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO JAPONÊS BASEADO NA MEDIDA DO TATAMI E A SUA RELAÇÃO COM A POSIÇÃO DOS PILARES. RESIDÊNCIA PRÓXIMA A OSAKA, SÉCULO XVL.
FIGURA 3.33 - PLANTA DE UMA CASA JAPONESA E O KEN, SISTEMA DE MEDIDA JAPONÊS.
FIGURA 3.34 - ESCOLA DE CHÁ EM KYÔTO.
FIGURA 3.35 - PAINEL JAPONÊS SHOJI.
FIGURA 3.36 - PAINEL JAPONÊS FUSUMA.
FIGURA 3.37 - DETALHES CONSTRUTIVOS DO PALÁCIO DE CRISTAL, JOSEPH PAXTON (COM FOX E HENDERSON).
FIGURA 3.38 - COMPARAÇÃO ENTRE: PEÇAS AUTOMOBILÍSTICAS E LINHA DE MONTAGEM (FOTO CEDIDA PELA *WOLKSWAGEN),* ELETRODOMÉTICOS (FOTO CEDIDA PELA COMPANHIA *GENERAL ELECTRIC*) E PEÇAS DE MADEIRA PARA MONTAGEM DE CASAS (FOTO CEDIDA PELA ASSOCIAÇÃO *WESTERN WOOD PRODUCTS*).

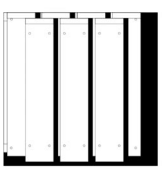


FIGURA 3.39 - RETICULADO ESPACIAL DE REFERÊNCIA.
FIGURA 3.40 - PARA OS PAINÉIS DESENVOLVIDOS NA TESE, A MEDIDA MODULAR, A MEDIDA NOMINAL, A JUNTA MODULAR E O AJUSTE MODULAR.
FIGURA 3.41 - COMPONENTES EM RELAÇÃO À LINHA DO QUADRICULADO MODULAR DE REFERÊNCIA: POSIÇÃO SIMÉTRICA, POSIÇÃO ASSIMÉTRICA E POSIÇÃO LATERAL.
FIGURA 3.42 - LINHA DE MONTAGEM (FOTO CEDIDA PELA *CHEVROLET MOTORS),* E MONTAGEM DE CASAS (FOTO CEDIDA PELA *WEST LUMBERMEN'S ASSOCIATION*).
FIGURA 3.43 - PERSPECTIVA DE CASAS-TIPO PROJETADAS POR WALTER GROPIUS PARA O SUBÚRBIO DE TOERTEN, DESSAU, ALEMANHA, 1926-27.
FIGURA 3.44 - PEÇAS PRÉ-FABRICADAS PELA ITA CONSTRUTORA. RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO.
FIGURA 3.45 - HOSPITAIS DA CRUZ VERMELHA. CONSTRUÇÃO COM PAINÉIS DE MADEIRA, QUE POR SEREM LEVES PODIAM SER TRANSPORTADOS POR CARROÇAS ATÉ LOCAIS DISTANTES E DE DIFÍCIL ACESSO. NOVA YORK, 1886.
FIGURA 3.46 - TRANSPORTE DE CASA INTEIRAMENTE MONTADA NA FÁBRICA.
FIGURA 3.47 - MÓDULOS HABITACIONAIS TRANSPORTÁVEIS SU-SI E FRED, KAUFMANN 96 ARQUITETURA.
FIGURA 3.48 - ESQUELETO *DOM-INO*, LE CORBUSIER, 1914-15.
FIGURA 3.49 - O BENEFÍCIO DO "PREPACKAGING". O VERDADEIRO POTENCIAL DA MAISON *DOM-INO* DE LE CORBUSIER COMO *FRAME-WORK* PARA PRODUÇÃO EM MASSA PODERIA FINALMENTE SER REALIZADO ATRAVÉS DA REUNIÃO DE COMPONENTES INTEGRADOS.
FIGURA 3.50 - COMPARAÇÃO ENTRE A CONSTRUÇÃO DE UM *BOEING* E A CONSTRUÇÃO DA *FARNSWORTH HOUSE* DE MIES VAN DER ROHE.
FIGURA 3.51 - CSH # 8, CASA EAMES (1945-1949).
FIGURA 3.52 - CSH # 23, "TRIAD" (1959-1960).
FIGURA 3.53 - CSH # 22, CASA STAHL (1959-1960)
FIGURA 3.54 - CSH # 20, CASA BAILEY (1947-1948).
FIGURA 3.55 - CATEGORIAS DE ELEMENTOS: ESTRUTURA VERTICAL A-) COM PILARES, B-) COM PAREDES E C-) COM PILARES E PAREDES AO MESMO TEMPO.
FIGURA 3.56 - PAREDES DE FECHAMENTO: A-) TOTALMENTE EXTERIORES AOS PILARES, B-) COMPREENDIDAS ENTRE PILARES; E C-) TOTALMENTE INTERIORES AOS PILARES.
FIGURA 3.57 - RETÍCULA MODULAR UNIFICADA.
FIGURA 3.58 - *LOBLOLLY HOUSE*, FOTOS DA CASA SENDO CONSTRUÍDA E CORTE DA FACHADA DE DUAS CAMADAS.
FIGURA 4.1 - INSTITUTO DO MUNDO ÁRABE. DIAFRAGMAS EM TODAS AS PAREDES EXTERNAS DO EDIFÍCIO CONTROLAM A ENTRADA DE LUZ. QUANDO HÁ MAIS LUZ EXTERIOR, OS DIAFRAGMAS SE CONTRAEM DIMINUINDO A ENTRADA; POR SUA VEZ, QUANDO HÁ MENOS LUZ EXTERIOR ELES SE ABREM.
FIGURA 4.2 - CASA GUCKLHUPF. ÁUSTRIA, 1993.
FIGURA 4.3 - DIVISÃO POR CATEGORIAS: A) ELEMENTOS UNITÁRIOS; B) CONSTRUÇÃO POR PAINÉIS; C) CONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL; D) ENTRAMADO.
FIGURA 4.4 - CONSTRUÇÕES COM TRONCOS. DETALHES DOS CANTOS.
FIGURA 4.5 - EXEMPLO DE SISTEMA PILAR-VIGA COM MADEIRA MACIÇA.
FIGURA 4.6 - EXEMPLO DE VIGAS APOIADAS SOBRE PILARES EM UMA CONSTRUÇÃO DE DOIS ANDARES.

FIGURA 4.7 - SISTEMA *BALLOON FRAME* E SISTEMA PLATAFORMA.
FIGURA 4.8 - DETALHE DOS NÓS NO SISTEMA *BALLOON FRAME*.
FIGURA 4.9 - DETALHE DOS NÓS NO SISTEMA PLATAFORMA.
FIGURA 4.10 - CONJUNTO ESTRUTURAL DA CASA DE MADEIRA DO PARANÁ.
FIGURA 4.11 - LIGAÇÕES DO ESTEIO COM OS QUADROS INFERIOR E SUPERIOR. A-) PLANTA QUADRO INFERIOR; E B-) PLANTA QUADRO SUPERIOR.
FIGURA 4.12 - CONJUNTO ESTRUTURAL DA COBERTURA.
FIGURA 4.13 - ESTRUTURAS COMPLEMENTARES, VEDAÇÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS.
FIGURA 4.14 - EXEMPLOS DE TÁBUAS E MATA-JUNTAS E DETALHES. RESIDÊNCIA SCHAITZA, CURITIBA, 2005.
FIGURA 4.15 - PROJETO STELLA-UFSC – BRASIL. ETAPAS DE MONTAGEM DE SISTEMA CONSTRUTIVO PLATAFORMA. FLORIANÓPOLIS: UFSC, 2006.
FIGURA 4.16 - ESTRUTURA DE MADEIRA MACIÇA E PELE DE CHAPAS DE MADEIRA ENGENHEIRADA.
FIGURA 4.17 - NOS ANOS 1940, KONRAD WASHMANN E WALTER GROPIUS DESENVOLVERAM UM SISTEMA MODULAR BASEADO EM COMPONENTES PAINELIZADOS E PADRONIZADOS, QUE FUNCIONAVAM COMO TETO, PISO OU PAREDE.
FIGURA 4.18 - EXEMPLO DE PAINEL DO TIPO *SANDWICH PANELS* A) SARRAFO HORIZONTAL; B) TRAVESSA; C) LÂMINA DE AR; D-) VIGA; E) TRAVESSA; F) REVESTIMENTO INTERNO; G) BARREIRA DE VAPOR; H) VIGA DE PISO.
FIGURA 4.19 - VISTA DE UMA CASA CONSTRUÍDA COM O SISTEMA *MODULI* NO FINAL DA DÉCADA DE 1960.
FIGURA 4.20 - PERSPECTIVA DE TODO O SISTEMA.
FIGURA 4.21 - EXEMPLOS DE ALGUNS ARRANJOS POSSÍVEIS UTILIZANDO O SISTEMA *MODULI*.
FIGURA 4.22 - OBRA CONSTRUÍDA, ESPACIALIDADE ALCANÇADA COM O SISTEMA *MODULI*.
FIGURA 4.23 - PERSPECTIVA DO PRINCÍPIO DE CONSTRUÇÃO DE UM NÓ, COM OS MEIOS DE MONTAGEM.
FIGURA 4.24 - ELEMENTOS HORIZONTAIS, ELEMENTOS VERTICAIS E EQUIPAMENTOS.
FIGURA 4.25 - CASA GLEN, FLORIANÓPOLIS, UFSC, 2008.
FIGURA 4.26 - UNIDADE EXPERIMENTAL 001 E 002, SÃO CARLOS, USP-SC, 2001.
FIGURA 4.27 - FOTOS DA UNIDADE EXPERIMENTAL 002: A-) ACESSO; B-) ESCADA; C-) BANHEIRO; D-) MESANINO; E-) JANELA COM BRISES REGULÁVEIS.
FIGURA 4.28 - PERSPECTIVA DO PROJETO PARA O PROTÓTIPO PARA A EMBRAPA COLOMBO.
FIGURA 4.29 - MÓDULO BÁSICO 2,26 X 2,26 X 2,26 M.
FIGURA 4.30 - PLANTA DO MÓDULO BÁSICO E DETALHE DOS CANTOS.
FIGURA 4.31 - TIPOS DE PAINÉIS DO PROJETO.
FIGURA 4.32 - PAINEL CEGO A.
FIGURA 4.33 - PAINEL CEGO B.
FIGURA 4.34 - PAINEL *BRISE*.
FIGURA 4.35 - PAINEL *BRISE* FIXO OU BASCULANTE.
FIGURA 4.36 - PAINEL GUILHOTINA.

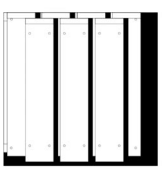
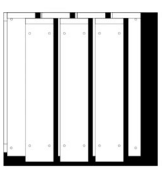


FIGURA 4.37 - PROJETO MODULAR DE MADEIRA, CURITIBA, UFRGS-PUC, 2002.
FIGURA 4.38 - DIFERENTES SENTIDOS ANATÔMICOS DA MADEIRA.
FIGURA 5.1 - VISTA FRONTAL (ELEVAÇÃO) DAS MEDIDAS MODULARES (LARGURA X ALTURA) DOS QUATRO COMPONENTES CONSTRUTIVOS PROPOSTOS.
FIGURA 5.2 - VISTA FRONTAL (ELEVAÇÃO FRONTAL) DE EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA FÓRMULA MOSTRADA NA FIGURA ANTERIOR.
FIGURA 5.3 - PERSPECTIVA ISOMÉTRICA DAS MEDIDAS MODULARES (LARGURA X ALTURA X ESPESSURA) DOS QUATRO COMPONENTES CONSTRUTIVOS.
FIGURA 5.4 - PERSPECTIVA ISOMÉTRICA DE UM EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA FÓRMULA ANTERIOR.
FIGURA 5.5 - VISTA ORTOGONAL DA APLICAÇÃO DA FÓRMULA MOSTRADA NAS FIGURAS 1 E 3.
FIGURA 5.6 - VISTA ORTOGONAL DE UM EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA FÓRMULA MOSTRADA NAS FIGURAS 1 E 3.
FIGURA 5.7 - MEDIDAS MODULARES DOS COMPONENTES.
FIGURA 5.8 - MEDIDA DE PROJETO DOS COMPONENTES.
FIGURA 5.9 - MEDIDA DO COMPONENTE.
FIGURA 5.10 - ESTRUTURA DOS 4 COMPONENTES EM PERSPECTIVA ISOMÉTRICA.
FIGURA 5.10A - ESTRUTURA DOS 4 COMPONENTES EM PERSPECTIVA ISOMÉTRICA E A FURAÇÃO DOS 4 COMPONENTES EM PERSPECTIVA ISOMÉTRICA.
FIGURA 5.11 - FURAÇÃO DOS 4 COMPONENTES EM PLANTA E CORTE E AS PEÇAS DA ESTRUTURA EM VISTA ORTOGONAL.
FIGURA 5.12 - FURAÇÃO DA PEÇA 01 EM VISTA.
FIGURA 5.13 - FURAÇÃO DA PEÇA 02 EM VISTA.
FIGURA 5.14 - FURAÇÃO DA PEÇA 03 EM VISTA.
FIGURA 5.15 - FURAÇÃO DA PEÇA 04 EM VISTA.
FIGURA 5.16 - DIMENSÕES DOS DOIS ÚNICOS TAMANHOS DE TÁBUAS UTILIZADAS NOS COMPONENTES.
FIGURA 5.17 - PROJETO EXECUTIVO DO COMPONENTE A.
FIGURA 5.18 - PROJETO EXECUTIVO DO COMPONENTE B1.
FIGURA 5.19 - PROJETO EXECUTIVO DO COMPONENTE B2.
FIGURA 5.20 - PROJETO EXECUTIVO DO COMPONENTE C.
FIGURA 5.21 - VISTA DOS 4 COMPONENTES PROPOSTOS CONFORME ARRANJO UTILIZADO PARA CONSTRUIR OS 3 PROTÓTIPOS.
FIGURA 5.22 - EXEMPLOS DE RETÍCULAS PROJETUAIS POSSÍVEIS UTILIZANDO OS COMPONENTES CONSTRUTIVOS PROPOSTOS.
FIGURA 5.23 - BRACATINGA EM 18 DE DEZEMBRO DE 2008.
FIGURA 5.24 - SERRARIA DO SR. JOÃO DALPHÁ EM 18 DE DEZEMBRO DE 2008.
FIGURA 5.25 - ÁREA ONDE A BRACATINGA SERIA CORTADA.
FIGURA 5.26 - PRANCHETA DA AUTORA. MAQUETES DE MADEIRA BALSA.
FIGURA 5.27 - TAMANHO DOS PAINÉIS, ANTES E DEPOIS DA REFORMULAÇÃO DO PROJETO.
FIGURA 5.28 - BRACATINGA EM 10 DE FEVEREIRO DE 2008.
FIGURA 5.29 - PEÇAS DE BRACATINGA SENDO PASSADAS PELO DESENGROSSO.
FIGURA 5.30 - PEÇAS DE BRACATINGA SERRADAS COM 70 CM DE COMPRIMENTO.
FIGURA 5.31 - PEÇAS DE BRACATINGA SENDO APLAINADAS.
FIGURA 5.32 - DESENGROSSO SENDO AJUSTADO PELO SR. ANTENOR PARA AS

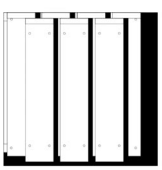
MEDIDAS PRETENDIDAS.
FIGURA 5.33 - PEÇAS DE 70 CM SENDO PASSADAS PELO DESENGROSSO.
FIGURA 5.34- COMPARAÇÃO ENTRE A MADEIRA BRUTA E A MADEIRA BENEFICIADA.
FIGURA 5.35 - PEÇAS DE BRACATINGA SENDO SERRADAS COM 10 CM DE LARGURA.
FIGURA 5.36 - REUNIÃO COM SR. ANTENOR, MARCENEIRO DESDE 1971.
FIGURA 5.37 - PEÇAS COM 10 CM DE LARGURA PASSANDO NOVAMENTE PELO DESENGROSSO.
FIGURA 5.38 - CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS.
FIGURA 5.39 - PEÇAS COM MEDIDAS FINAIS.
FIGURA 5.40 - PEÇAS SENDO PARAFUSADAS.
FIGURA 5.41 - PEÇAS SENDO MARCADAS COM A POSIÇÃO DOS FUROS.
FIGURA 5.42 - FURAÇÃO DAS PEÇAS.
FIGURA 5.43 - PAINÉIS SENDO PARAFUSADOS UM AO OUTRO.
FIGURA 5.44 - PAINÉIS UNIDOS E LIXADOS.
FIGURA 5.45 - TABUAS SENDO CORTADAS COM ÂNGULO DE 45º.
FIGURA 5.46 - TÁBUAS SENDO FIXADAS À ESTRUTURA DOS PAINÉIS COM PINADEIRA.
FIGURA 5.47 - PAINÉIS DE BRACATINGA PRONTOS E UNIDOS CONSTITUINDO 1 M^2 DE PAREDE.
FIGURA 5.48 - PEÇAS DE PINUS E IPÊ. FIGURA 5.49 - PROTÓTIPOS PRONTOS.
FIGURA 5.50 - FUROS EXCÊNTRICOS NOS NOVOS PROTÓTIPOS.



LISTA DE TABELAS

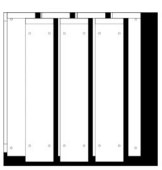
TABELA 3.1 - COMPARAÇÃO ENTRE O *MODULOR* DE LE CORBUSIER E O *SCHINDLER FRAME* DE SCHINDLER.

TABELA 4.1 - COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS EDIFÍCIOS, SENDO UM DE MADEIRA, UM DE AÇO E OUTRO DE CONCRETO.
TABELA 4.2 - CONSUMO DE MADEIRA SERRADA AMAZÔNICA PELA CONSTRUÇÃO CIVIL, NO ESTADO DE SÃO PAULO, EM 2001.
TABELA 4.3 - DOIS GRANDES GRUPOS DE ESPECIES ARBÓREAS.
TABELA 4.4 - EXEMPLO DE ALGUNS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA – (CLIMATIZADA PARA SE ESTABILIZAREM A 15% U).
TABELA 4.5 - VALORES DE CONTRAÇÃO LINEAR E VOLUMÉTRICA DE ALGUMAS ESPÉCIES, ORDENADAS SEGUNDO A MASSA ESPECÍFICA A 15% DE TEOR DE UMIDADE.
TABELA 4.6 - EXEMPLOS DE ALGUNS COEFICIENTES DE CONDUTIVIDADE TERMICA.
TABELA 4.7 - ALGUNS VALORES MÉDIOS DE CALOR ESPECÍFICO.
TABELA 4.8 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS CONÍFERAS.
TABELA 4.9 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS DICOTILEDÔNEAS.
TABELA 4.10 - VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS DICOTILEDÔNEAS NATIVAS E DE REFLORESTAMENTO.
TABELA 4.11 - VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS CONÍFERAS NATIVAS E DE REFLORESTAMENTO.
TABELA 5.1 - VALORES REFERENTES ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS ESTUDADAS.
TABELA 5.2 - COMPARAÇÃO DE PREÇOS ENTRE PAREDES COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES.
TABELA 5.3 - COMPARAÇÃO ENTRE 1M² DE PAREDE DE ALVENARIA (TIJOLOS MACIÇOS 5 X 9 X 20 CM) E 1M² DE PAREDE DE BRACATINGA (PAINÉIS 15X50X50CM).



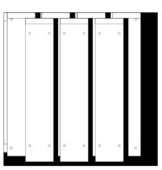
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
CWC – *Canadian Wood Council*
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBRAMEM – Instituto Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LIGNUN – *Union Suisse em Faveur du Bois*
SEAB – Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná
STCP – Engenharia de Projetos Ltda – empresa que executa atividades de consultoria, engenharia e gerenciamento de negócios inovadores no setor florestal – em esfera pública ou privada, entidades não governamentais e agências de desenvolvimento
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

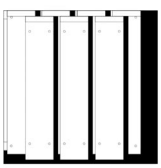


SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 53
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA 55
1.2 OBJETIVOS 68
1.2.1 O objetivo geral 68
1.2.2 Objetivos específicos 69
1.3 MATERIAL E MÉTODOS 69
1.4 ETAPAS DA PESQUISA 70
1.5 ESTRUTURA DA TESE 71
2 METODOLOGIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO E TECNOLOGIA DA MADEIRA 75
2.1 METODOLOGIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO, UMA FERRAMENTA NECESSÁRIA 79
2.2 TEORIA DE PROJETO E O PAPEL DA TECNOLOGIA 81
2.2.1 Teoria de Projeto – Revisão de Literatura 85
2.3 TECTÔNICA, ORIGENS E POÉTICA 95
2.3.1 Forma e matéria – não há projeto sem matéria 95
2.3.2 Material de construção e material de projeto 106
2.4 METODOLOGIA DE PROJETO (BASE FILOSÓFICA – SÉCULO XX) 122
2.5 RESUMO / CONCLUSÕES CAPÍTULO 2 132
3 MADEIRA, INDUSTRIALIZAÇÃO E METAPROJETO 135
3.1 A EXATA MEDIDA DAS COISAS 139
3.1.1 Geometria, Matemática e Sistemas proporcionais 141
3.1.2 O Modulor de Le Corbusier 143
3.1.3 Trama espacial de referência, Coordenação modular e a Linha de Schindler 154
3.2 MADEIRA, MODULAÇÃO E COORDENAÇÃO DIMENSIONAL 165
3.2.1 Módulo e Arquitetura: um pouco de história 165
3.2.2 Definição de Coordenação Modular 172
3.2.3 A Norma Brasileira 174
3.2.4 Definição de “Módulo” 177
3.2.5 Ferramentas de coordenação modular 177
3.2.5.1 Sistema de referência 177
3.2.5.2 Sistema modular de medidas 179
3.2.5.3 Ajuste modular 180
3.2.5.4 Sistema de números preferenciais 181
3.2.5.5 Projeto Modular 181
3.3 INDUSTRIALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE COMPONENTES 183
3.3.1 Industrialização e Pré-fabricação 186
3.3.1.1 Industrialização 189
3.3.1.2 Sistema de pré-fabricação 190
3.4 METAPROJETO 204
3.4.1 Proposta para a solução do problema da pré-fabricação através do metaprojeto 212
3.4.1.1 Modelos de categorias 213

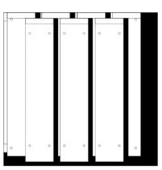


3.4.1.2 Elaboração de uma metodologia sobre a teoria das três liberdades 214
3.5 RESUMO / CONCLUSÕES CAPÍTULO 3 219
3.5.1 Algumas reflexões e apontamentos 219
4 MADEIRA E MATERIALIDADE 221
4.1 MADEIRA, MATERIAL RENOVÁVEL 223
4.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS – UM PANORAMA INTERNACIONAL..... 231
4.3 ESTRUTURA E VEDAÇÃO..... 232
4.3.1 Sistemas dissociados – viga-pilar 234
4.3.2 Sistemas integrados – ballom frame e plataforma (entramados) 234
4.4 TECNOLOGIAS EMPREGADAS EM PAREDES DE VEDAÇÃO NAS CONSTRUÇÕES BRASILEIRAS 237
4.4.1 Sistema de tábuas e mata-juntas..... 237
4.4.1.1 Técnica Construtiva da Casa Madeira..... 239
4.4.2 Sistema Plataforma 241
4.4.3 Painéis..... 243
4.5 SISTEMAS DESENVOLVIDOS PELAS UNIVERSIDADES..... 247
4.5.1 Projeto Stella – UFSC – Florianópolis – Santa Catarina – BRASIL..... 247
4.5.2 Projeto Gehab – USP – São Carlos – São Paulo – BRASIL..... 248
4.5.3 Projeto UFRGS – PUCPR – EMBRAPA Colombo – Curitiba – Paraná – Brasil..... 251
4.6 “PROJETAR” O ESPAÇO E A CONSTRUÇÃO DE MADEIRA: MATERIALIZAÇÕES POSSÍVEIS..... 258
4.6.1 Propriedades da madeira a serem consideradas num projeto de arquitetura..... 258
4.6.2 Princípios para a concepção e execução de componentes e projetos arquitetônicos de madeira..... 276
4.7 RESUMO / CONCLUSÕES CAPÍTULO 4..... 278
5 ESTUDO DE CASO - PROJETO E EXECUÇÃO DE PEÇAS-SISTEMA..... 281
5.1 MATERIAL E MÉTODOS..... 285
5.1.1 O produto, etapas do trabalho e equipamentos..... 285
5.1.2 Prerrogativas do projeto..... 287
5.2 CONCEPÇÃO E DESENHO – PROPOSIÇÃO DE UM CAMINHO..... 288
5.2.1 Sobre o material – Características e suprimento da madeira..... 289
5.2.2 Definição do Partido Arquitetônico 292
5.3 PROPOSIÇÃO DE UM ELEMENTO CONSTRUTIVO – PAINÉIS DE VEDAÇÃO..... 292
5.3.1 Painéis modulares de madeira – concepção e projeto..... 292
5.3.2 Painéis modulares de madeira – execução e análise da usinabilidade..... 326
5.3.3 Dados comparativos com outros elementos de vedação..... 336
5.4 RESUMO / CONCLUSÕES CAPÍTULO 5..... 339
6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS..... 341
6.1 RESULTADOS DA PESQUISA..... 345
6.1.1 Resultados gerais da pesquisa..... 346
6.1.2 Resultados específicos da pesquisa..... 346
6.2 PROPOSTAS PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA..... 347
6.3 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS..... 348
REFERÊNCIAS 353



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO





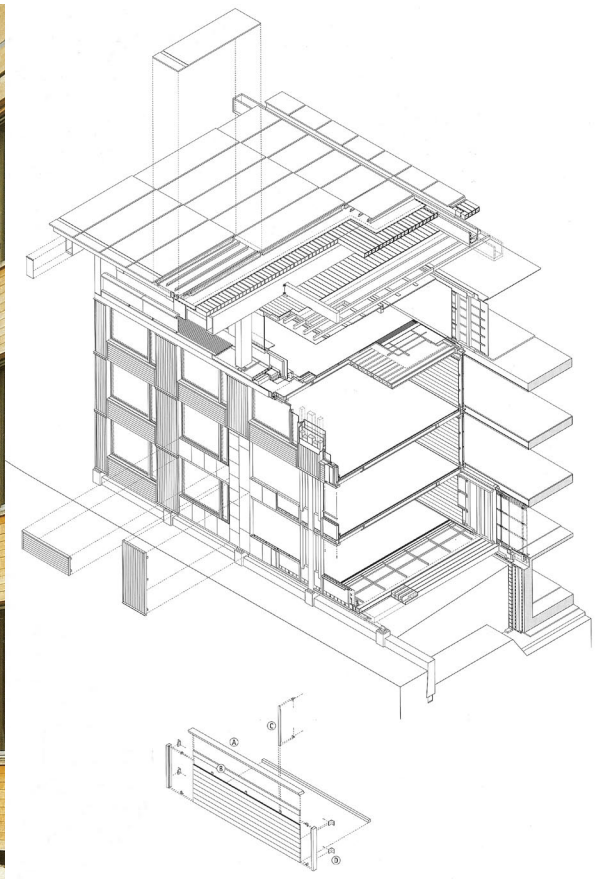
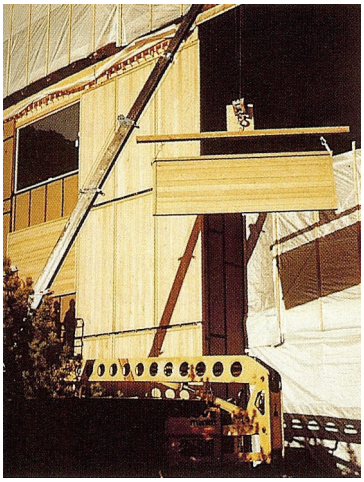
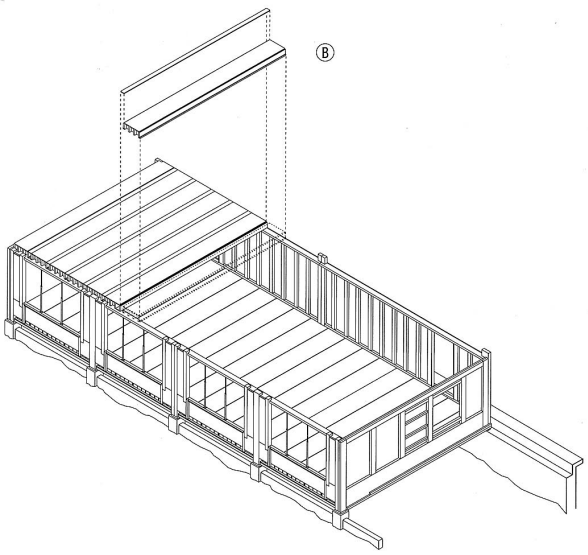


Figura 1.1 - Escola Superior Suíça para Indústria da Madeira. Autores: Marcel Meili, Markus Peter e Zeno Voguel. Local: Biel, Suíça. FONTE: **Revista Tectônica 13:** monografias de arquitetura, tecnologia y construcción. Madera (II), jul. 2001, p. 49- 67.





1 INTRODUÇÃO

Este capítulo expõe o contexto de pesquisa em que se insere esta tese, explicita seus objetivos e introduz ao leitor o teor dos capítulos seguintes, para que o trabalho possa, desde já, ser observado de maneira global.

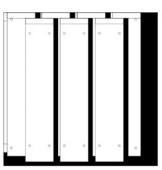
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Existem dois problemas fundamentais que versam sobre a utilização da madeira na construção, observados no Brasil. **O primeiro** deles, sobre o qual esta pesquisa se absterá de discutir – e o porquê disto será explicado logo adiante –, é relativo à rejeição ao material madeira. Uma grande parcela da população brasileira – recorrentemente no caso de São Paulo e do Paraná – repete atualmente, como num uníssono, a seguinte frase: "[...] eu não quero uma casa de madeira, eu quero uma casa de material [...]", o que prova que a madeira não é vista sequer como material de construção e está associada à ideia de pobreza, transitoriedade e fragilidade, difundida de diversas maneiras: desde os improvisados barracos das favelas, das formas e escoras para concreto com seu caráter provisório e, inclusive, através da *fábula dos três porquinhos*[1]. É importante salientar que as experiências com madeira no Brasil, em sua maioria, não garantiram conforto térmico e acústico aos usuários, não apresentaram soluções duráveis ou não tiveram o adequado tratamento estético.



Há pouca familiaridade da maioria dos arquitetos brasileiros com o material madeira, o que resulta num **segundo problema fundamental**: projetos e obras de baixa qualidade tecnológica e construtiva. Todos esses fatores contribuíram para que o uso da madeira não se difundisse e perpetuasse no Brasil. Inclusive, um número considerável de arquitetos – muitas vezes os próprios professores de projeto – acredita que a madeira é um material frágil e pouco durável e essa

[1] A fábula dos três porquinhos é um antigo conto, que em 1933 tornou-se muito popular após ser transformada em animação pela Disney World. Contribuiu para que as crianças crescessem com a ideia de que uma casa construída de madeira pode ser derrubada pelo sopro do lobo mau. E, que uma casa de tijolos não pode ser derrubada, é uma fortaleza invulnerável. Isso ajudou a vender tijolos de barro feitos pelas olarias e cimento *portland*, monopólio absoluto na construção civil brasileira.



ideia equivocada é difundida dentro das escolas de arquitetura.

Apesar do riquíssimo repertório mundial em Arquitetura de Madeira (Figura 1.1), os arquitetos brasileiros, em sua maioria, têm dificuldade em projetar com madeira, por haver pouca tradição no ensino e uso desse material (BERRIEL, 2002). Dentro das Escolas de Arquitetura, tanto nas disciplinas de projeto, quanto nas disciplinas de estruturas, os estudantes são ensinados predominantemente a projetar e construir estruturas de concreto armado e vedações de alvenaria. Em segundo lugar vem as estruturas de aço, geralmente com vedações também de alvenaria e grandes áreas envidraçadas. A possibilidade de se associar vedações de madeira às estruturas de concreto ou aço é raramente mencionada. Estudantes e profissionais demonstram interesse por grandes vigas e pilares de madeira laminada colada, raramente concebidos dentro de um esquema de pré-fabricação que considere vedações mais leves, também de madeira.

> A construção em madeira tem sofrido, ao longo dos últimos 50 anos no Brasil, uma perda significativa do ponto de vista tecnológico em favor da tecnologia construtiva de concreto e alvenaria. Assim, observa-se hoje, praticamente nenhum avanço técnico nas construções atuais em relação àquelas das décadas de 30, 40 e 50 em Londrina. Situação indesejável se contemplamos o cenário em países como o Canadá ou a Finlândia nos quais mais de 80% das habitações são construídas em madeira, apesar do extremo rigor do clima. Faz-se necessária portanto, uma nova abordagem do tema considerando as possibilidades deste material, suas características, seus problemas e as soluções dos mesmos. A conjugação com outros materiais, plásticos, metais, cerâmica etc., e o estudo de suas interfaces. Sobretudo uma nova abordagem do ponto de vista da arquitetura é imprescindível. O que tem-se observado é um completo descaso formal-estético nos projetos de interesse social (BARNABÉ *et al*., 2000).

As interfaces, pontos de encontro entre materiais diferentes, representam mais uma dificuldade a ser superada nos projetos, por não haver experiência suficiente no ensino, pesquisa, projeto e construção de madeira. Segundo Bittencourt (1995), praticamente inexistem pesquisas teóricas sobre a concepção da arquitetura em madeira, e as experiências relatadas atendem a critérios específicos e soluções localizadas, que não abordam o contexto deste tema.

Pesquisa e projeto deveriam ser atividades complementares na atividade arquitetural. É necessário que se reflita mais sobre o próprio projeto, que se façam pesquisas sobre as metodologias de projeto e sobre a criação de sistemas[2] projetuais e construtivos. Não se pretende com isto negar o papel da criatividade no processo de projeto, aliás, muito pelo contrário, pois que o arquiteto será tanto mais criativo – e os projetos serão tanto melhores

[2] Sistema: 1. Conjunto de elementos, entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação. 2. Disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenadas entre si, e que funcionam como estrutura organizada. 3. Um todo composto e organizado por diversas partes (FERREIRA, 1977, p. 444).

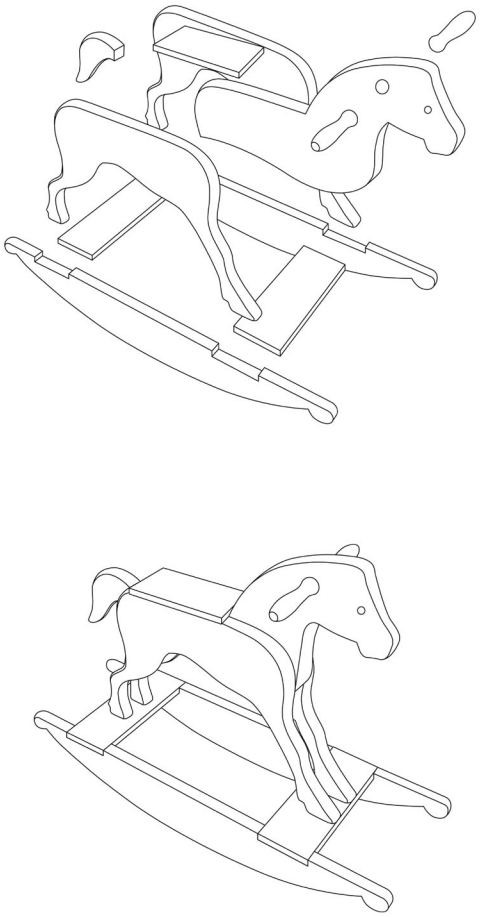


Figura 1.2 - “Meu cavalinho pensamentos de madeira”. FONTE: Fotografia da Autora e desenhos de Fábio Stinghen.)

– quanto maior for a consciência e o domínio sobre este processo, sobre o método de projeto e sobre os fenômenos que concorrem para o contexto da arquitetura. Fenômenos estes que, por sua vez, são tradicionalmente estudados por outras áreas do conhecimento, tais como a física, as ciências dos materiais, o cálculo estrutural, a psicologia, a antropologia, a economia, a história, a biologia, as ciências florestais, etc.

A pouca expressividade da arquitetura de madeira brasileira está, portanto, assentada em princípios básicos como a deficiente concepção dos projetos. Os projetistas têm que conhecer as especificidades do material. Um princípio básico que caracteriza o pensar a arquitetura de madeira é a sua fragmentação em partes dissociáveis, como pode ser exemplificado com o cavalo de balanço (Figura 1.2) e por uma parede de madeira composta por diversas peças (Figura 1.3). Completamente diferente do raciocínio necessário para se pensar a arquitetura de concreto, monolítica por natureza. Pela baixa resiliência[3] do concreto, que tornaria ineficiente a conexão entre as partes, o mesmo cavalinho, com este material, seria concebido como uma peça única e para sua execução haveria a necessidade de uma forma que lhe confere o formato. Isso demonstra que a gênese do projeto de sistemas, elementos e edificações de madeira, contém especificidades que o diferenciam dos projetos de sistemas, elementos e edificações de concreto.

O projeto é o ponto de partida que culmina com a obra pronta, contendo as proposições tecnológicas definidas pelo arquiteto e que caracterizarão a edificação. Em momento algum pode-se esquecer que o objeto principal de todo o trabalho é a arquitetura. Nas últimas décadas tem-se difundido termos como “sustentabilidade”, “ecologicamente correto”, “edifícios verdes” e uma série de outros; no entanto, a maioria do que se apresenta como proposta de projeto é lamentável. E a plástica ruim é, na realidade,

[3] **Resiliência** é a propriedade quantitativa que mede a capacidade dos materiais de absorver a energia em colisões. A madeira possui elevada resiliência. Por exemplo, considere um cilindro de aço colidindo várias vezes com um segundo corpo. Se este segundo corpo, mesmo sendo muito maciço, for de concreto ou rocha ou vidro, rapidamente se fragmentará, porque é pouco resiliente. Se o segundo corpo for de madeira, suportará os impactos por muito tempo, sem se fragmentar.” Material didático elaborado pelo professor Moacyr Molinari (UFPR), adaptado de Falcão Bauer (Materiais de Construção).

reflexo da ausência de um partido arquitetônico, de setorização e dimensionamentos mal resolvidos, da inexistência, muitas vezes, de uma conexão entre o pensamento e a materialidade. Em arquitetura, os termos *eco-verde-sustentáveis*, quando não resultam em qualidades simultaneamente funcionais, tecnológicas e estéticas no ambiente construído, são meramente o reflexo de um excesso de discurso vazio. É preciso sim resolver os problemas da atualidade. A prática arquitetônica sempre teve e sempre terá seus condicionantes: preocupação com eficiência energética, conforto, racionalização da construção e sustentabilidade são prerrogativas de projeto sempre e não ferramentas de *marketing*, de uma retórica inconsistente. Além de garantir a eficiência da edificação, há que se ter a intenção plástica que caracteriza a arquitetura.

A partir do panorama apresentado, talvez o mais óbvio fosse formular a seguinte pergunta: A madeira será culturalmente aceita como material de construção? O ponto de partida deste trabalho de tese é um: ***Sim***, a madeira será aceita como material de construção e seu uso difundido contanto, ou seja, com a condição de que as construções de madeira atendam às expectativas dos usuários, dentre as quais podemos destacar conforto, durabilidade e beleza. Por isso esta pesquisa não versará sobre o primeiro problema apresentado e sim sobre o segundo, com o intuito, no entanto, de solucionar o primeiro.

O segundo problema segue-se ao primeiro, mas, na realidade, um olhar mais atento mostrará que um problema alimenta o outro, e os dois giram como num ciclo-moto: Uma vez aceita a madeira como material de construção, “como” ou “de que maneira” se poderia projetar e construir com madeira no Brasil? Há uma metodologia de projetos de madeira? E quais tecnologias poderiam ser empregadas em construções contemporâneas?

O objeto desta pesquisa é, portanto, a proposição de soluções e alternativas para o segundo problema apresentado: projetos e obras (de madeira) de baixa qualidade tecnológica, estética e construtiva. E o objetivo do trabalho é o desenvolvimento

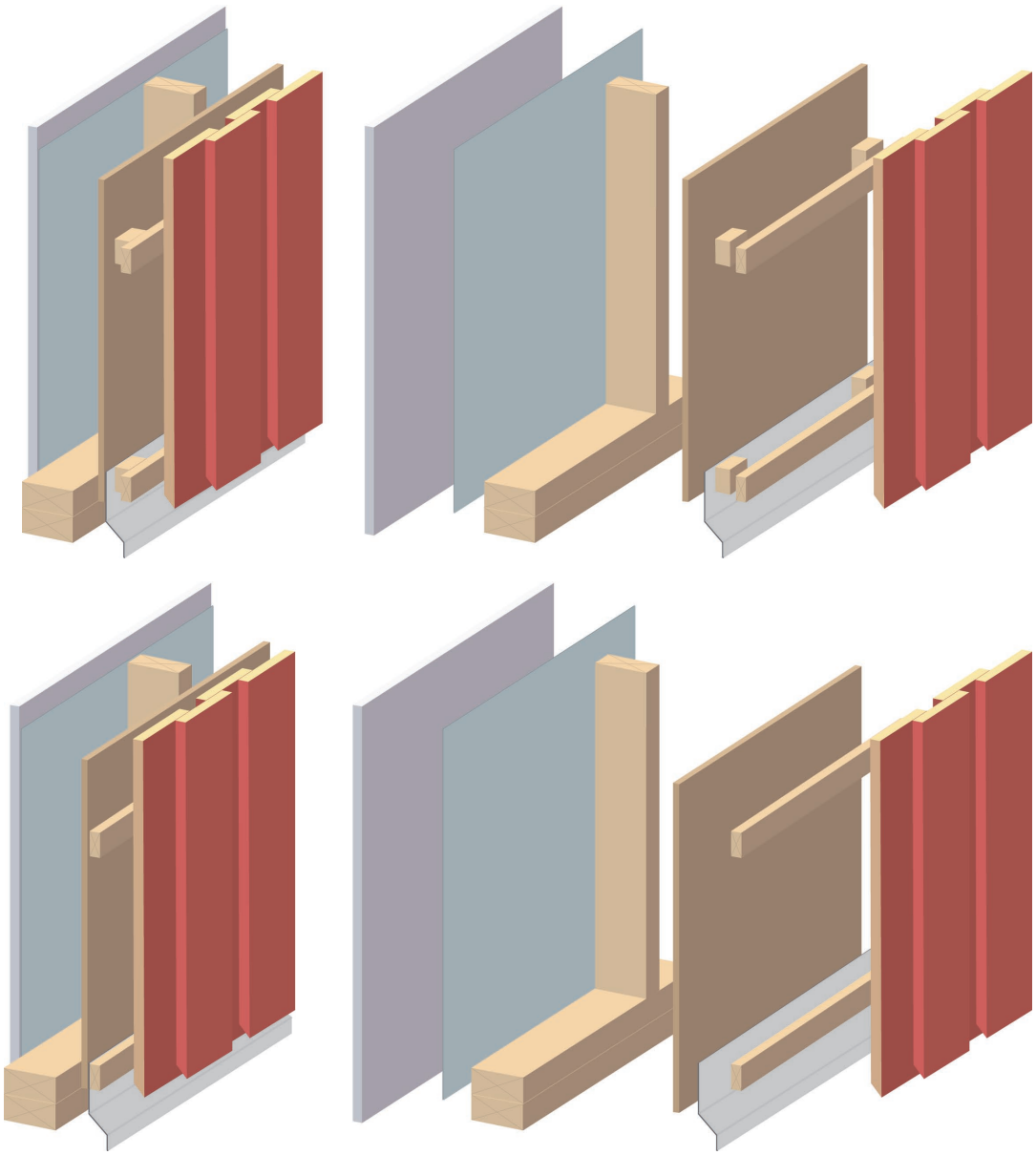
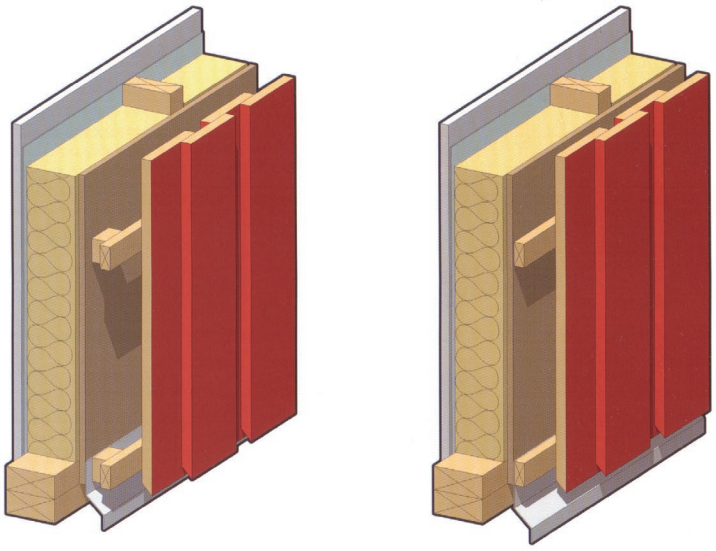
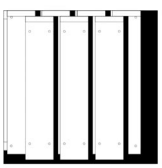


Figura 1.3 - Composição de paredes de vedação: na parte externa camada de tábuas de madeira maciça dispostas no sentido vertical e com pingadeira na parte inferior, ripas horizontais para a fixação das tábuas, espaçador que permite a ventilação dentro da parede, painel rígido de madeira engenheirada (cargas horizontais), camada isolante, montante e vigas de madeira maciça (estrutura, cargas verticais), barreira de vapor e camada interna de gesso acartonado. FONTE: Centro de innovación y desarrollo de la madera. Pontifícia Universidade Católica do Chile, 2007.





de tecnologia de projeto e construção utilizando a madeira**.** Sobre a concepção da arquitetura de madeira falaremos sobre construir o pensamento, ou seja, elaborar sistemas, o que é a parte mais laboriosa ou demorada. Criar sistemas é fundamentalmente tarefa do arquiteto, pois apenas ele tem formação técnica e humana para compreender a complexidade das contingências sócioculturais e tecnológicas e propor respostas em diferentes escalas. Depois de definidos os sistemas, a definição de um projeto específico será facilitada e a construção da edificação será, acredita-se, etapa rápida e simples.

[Construir o pensamento (sistema – mais demorado)]

□

[Projetar o artefato (projeto – etapa intermediária)]

□

[Construir a casa (montagem na obra – rápido)]

Segundo Bittencourt (1995, p. 1), “a falta de tecnologia apropriada ao processo construtivo tem gerado o uso inadequado da madeira. O desafio para desenvolvê-la parece ser intransponível, pois praticamente quase tudo precisa ser realizado em relação a três vertentes: qualidade, modernização e inovação tecnológica”. E esse quadro desalentador é decorrente essencialmente da ausência de: domínio das técnicas, dos métodos e dos processos da tecnologia da madeira; um corpo normativo capaz de subsidiar o uso da madeira visando a qualidade do produto; uma indústria madeireira forte, associada à tecnologia incorporada à produção florestal; recursos humanos capacitados atuando na área.

> Para fazer avançar o campo da arquitetura, devemos proceder a investigações que permitam, por um lado, uma maior aproximação com as ciências aplicadas e, pelo outro, o desenvolvimento de procedimentos teórico-metodológicos mais sólidos e, portanto, mais científicos. No que diz respeito à atividade projetual, isso implica que saibamos distanciar-nos da dimensão exclusivamente subjetiva, da visão da criatividade como uma “caixa preta” e do paradigma do “arquiteto gênio”, para aproximar-nos de processos mais racionais em que, uma vez identificados os objetivos, conhecendo as variáveis em jogo e possuindo um domínio maior sobre elas, o arquiteto possa determinar as direções a percorrer e os resultados a obter, conscientes e fundamentados (RIO, 1998, p. 208).

Neste trabalho de tese a madeira para construção será tratada como opção adequada e disponível, com a convicção de que se o desenvolvimento tecnológico apresentar alternativas que agreguem conforto, rapidez de montagem, economia e qualidade estética, a madeira será aceita como material de construção e seu uso difundido no Brasil.

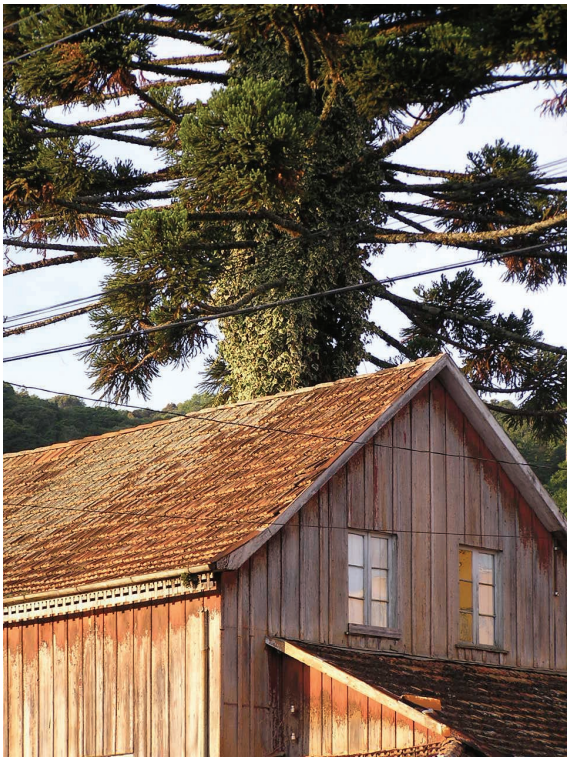


Figura 1.4 - Casa de tábuas e mata-juntas, Antônio Prado-RS, 2004. FONTE: Fotografias da Autora.



Esta tese terá como foco, portanto, duas questões interligadas: A primeira delas diz respeito à madeira como material de concepção da arquitetura e a segunda delas refere-se à madeira como material de construção da arquitetura, ou seja, à sua materialização. O termo material aplica-se em ambos os casos, pois tanto na etapa de elaboração, quanto na etapa de materialização de uma ideia ou projeto, a madeira será vista como matéria, e sua materialidade deverá ser investigada de maneira pragmática, profundamente comprometida com a busca da experiência, do *saber fazer*.

Estabelecendo a ligação entre investigação e aplicação é possível, através da reflexão e proposição de sistemas e elementos, cumprir uma outra tarefa da arquitetura que é enxergar e se apropriar das valiosas lições da arquitetura vernacular. Lições em que o ***usuário*** é figura central, suas necessidades, desejos e aspirações. Essas lições estão presentes na maneira de resolver problemas com poucos recursos, ou com recursos locais, de criar uma relação entre o novo e o que já existe na memória e no imaginário popular, e, portanto, o que pode ser compreendido e assimilado. O sistema de tábuas e mata-juntas é um ótimo exemplo de sistema linear[4] eficiente: é um sistema aberto[5], as tábuas estão numa posição que permite que a água das chuvas escorra – sem acumular nas juntas e apodrecer a madeira. Soma-se a esta qualidade funcional, a qualidade plástica percebida no ritmo das superfícies verticais e uma qualidade tecnológica: a grande facilidade construtiva (Figura 1.4). São muitas qualidades e um defeito: não atende às necessidades de conforto térmico, porque as paredes são muito delgadas, compostas apenas pelas tábuas (com espessura de 1") e pelas

[4] Um sistema linear é caracterizado por uma das dimensões dos componentes prevalecer sobre as outras (OLIVERI, 1972). Em geral, é utilizado em pilares, vigas e, por exemplo, no sistema de tábuas e mata-juntas, em que a modulação se dá somente em uma das dimensões.

[5] Um sistema aberto caracteriza-se pela capacidade de interação ou "diálogo construtivo" com outros sistemas existentes no mercado. De acordo com Bruna (2002), "as características básicas de um sistema aberto são definidas por: peças substituíveis por outras de diferentes origens; peças intercambiáveis, podendo assumir diferentes posições na composição espacial arquitetônica de uma mesma obra; peças combináveis entre si, formando conjuntos múltiplos e maiores; e peças permutáveis por uma peça maior ou por um conjunto de peças maiores".

mata-juntas (1/2”), insuficientes para diminuir a velocidade de perdas e ganhos térmicos. Esse é o papel do arquiteto criador de novos sistemas: apropriar-se das qualidades da arquitetura popular e solucionar os problemas predominantemente técnicos e estéticos.

Segundo Mascaró (1998), o uso racional de formas e materiais de construção sempre foi uma das características mais importantes dos edifícios e assentamentos vernaculares, geralmente produzidos em situação de escassez econômica, na qual a necessidade de sobreviver e otimizar ao máximo os recursos disponíveis exerce forte influência nas decisões arquitetônicas. O desperdício não existe na tradição dessas culturas que deixaram exemplos paradigmáticos de edificações economicamente corretas.

Esta tese pretende mostrar que é possível se obter melhores respostas projetuais, através de uma abordagem integrada entre ciência e arquitetura, entre gestão (científica) e liberdade (artística), não para definir receitas de projeto, mas para fazer surgir a antiga habilidade de projetar, onde técnica e arte caminham juntas. A arquitetura, portanto, será tratada neste trabalho como prática artística, mesmo havendo a consciência de que parte mínima dos projetos que são construídos nas últimas décadas tem a ver com arte. Tanto quanto possível, serão definidos alguns atributos que definem o fato artístico no capítulo que trata de metodologia de projeto, além de mostrar ao longo do trabalho exemplos de qualidade, para neutralizar, tanto quanto possível, as desculpas que acompanham a produção de má qualidade.

Outra preocupação do trabalho é que os projetos de arquitetura considerem as questões relacionadas ao uso eficiente da energia desde o momento inicial da concepção arquitetônica. A eficiência energética é particularmente afetada pelas decisões de projeto e a envolvente (pele) dos edifícios tem que ganhar inteligência (Figura 1.5). As paredes de uma edificação têm que interagir com o ambiente, gerando possibilidades cambiantes de luz, ar e calor: mais luz, menos luz, mais ar, menos ar, etc. Todo arquiteto que já teve alguma experiência com arquitetura de madeira reconhece que as

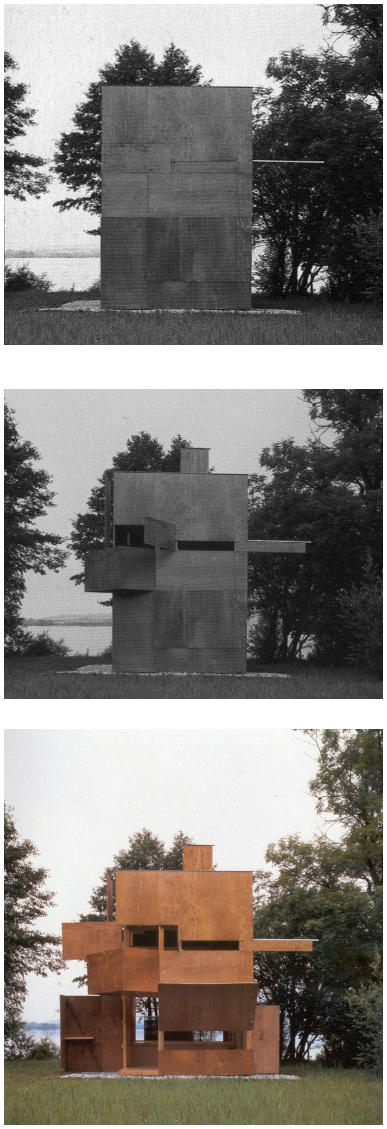


Figura 1.5 - Casa GucklHupf. Áustria, 1993. FONTE: BRAGHIERI (2005).

paredes são a grande dificuldade nos projetos. Além disso, de acordo com Mascaró (1998), as paredes ou planos verticais, na composição de custos de uma edificação, chegam a representar 45% do custo total da obra. Isto indica que a utilização de painéis leves, construídos com madeira, pode representar uma economia significativa na composição de custo de uma casa, assim, variando o preço final por m^2. Por todos os motivos citados, as paredes serão o foco deste trabalho de tese.

Apoiando-se nas considerações mencionadas, o trabalho enfoca a necessidade de encontrar uma metodologia adequada às atividades de concepção e aprimoramento dos meios de produção da edificação de madeira. Assim considerando, a proposição fundamental pode ser assim resumida:

Este trabalho pretende:

Investigar e refletir sobre o projeto de arquitetura como um todo e propor soluções de projeto de componentes (painéis) constituídos por peças curtas de madeira maciça para paredes.

Objeto da investigação:

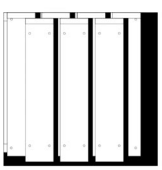
Utilização da madeira na composição de paredes de vedação e estruturais, compostas por componentes passíveis de serem pré-fabricados e montados a seco, dentro de um esquema de pré-fabricação aberto[6].

Evidências de interesse (justificativas):

A construção civil brasileira ainda tem muito que se desenvolver em relação à estandardização de componentes para construções de execução mais rápida, mais econômicas do ponto de vista financeiro e ambiental, ou seja, reduzindo desperdícios de material, energia e tempo. Neste panorama, a madeira – de manejo sustentável ou de reflorestamento – surge como alternativa para o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas à produção de componentes construtivos, visando um modelo de produção que utilize recurso renovável. Além disso, a madeira, por ser mais leve, facilita o transporte e solicita menos as fundações, e permite a pré-fabricação dos componentes construtivos, o que reduz significativamente o tempo de execução da obra.

Outro aspecto de extrema importância para a temática central desta discussão é o estreito vínculo existente entre recursos energéticos, desenvolvimento tecnológico e desenvolvimento da arquitetura. A madeira utiliza menos energia no processo de produção de elementos construtivos, se comparada com materiais tradicionalmente utilizados. Desta forma, o problema ambiental estabelece as bases de um correto projeto de arquitetura, assim denominado não apenas do ponto de vista do consumo de energia, mas também da tecnologia

[6] Um componente pré-fabricado é um componente executado fora da obra, possuindo dimensões definidas anteriormente à sua produção. Pré-fabricação aberta acontece quando as peças ou componentes construtivos são passíveis de serem utilizados em projetos e obras diversas, associados ou não a outros componentes existentes no mercado e de diversas procedências.




ANUNCIE
AQUI
9107-9048
RUA
Dr OSWALDO HAMPE
FOTOS, CD'S & CIA.



Figura 1.6 - Conjunto de casas de tábuas e mata-juntas. Detalhe: rufo de zinco que recobre e protege a madeira de topo. Antônio Prado-RS, 2004. FONTE: Fotografias da Autora.



empregada e da linguagem que essa arquitetura assume.

> O pesquisador com formação voltada à concepção de edificações, ao iniciar seus estudos na área de madeira-construção, defronta-se com inúmeros obstáculos. O primeiro é o vazio existente em sua formação profissional a respeito do material madeira. Ao tentar superar esta deficiência, este perceberá que a literatura técnica nacional é farta nos trabalhos que enfocam as propriedades físicas e mecânicas da madeira, mas escassa naqueles que abordam a madeira e a construção, seja de elementos, seja de componentes construtivos (BITTENCOURT, 1995, p. 171).

Apesar da inegável qualidade arquitetônica das casas de tábuas e mata-juntas (Figura 1.6), não se pode retomar simplesmente este sistema que não atende às exigências de conforto térmico, acústico e aos padrões estéticos e sócioculturais da população na atualidade. É preciso desenvolver tecnologia que utilize as qualidades destes sistemas, mas que ao mesmo tempo solucione os problemas supracitados.

A oferta de madeira também sofreu alterações: não se pode mais contar com a madeira de qualidade da araucária ou da peroba-rosa – com as quais foram construídas a maior parte das casas de madeira do Paraná durante o século XX –, cujos comprimentos e bitolas fornecidos, aliados à alta massa específica, possibilitavam tanto os vãos que eram empregados quanto as alturas e larguras de tábuas que hoje seriam muito difíceis de se conseguir. Além disso, as perobas foram praticamente dizimadas do Paraná e as araucárias, apesar de existirem ainda em quantidade, não são mais utilizadas na construção civil pois há restrições legais para seu uso, o que não serve como incentivo para que se plante essa espécie.

A exploração comercial madeireira da mata atlântica ficou restrita apenas às formações de florestas pioneiras[7], como é o caso dos bracatingais. Há inúmeras espécies amazônicas que supririam a indisponibilidade de pinheiro e peroba, como, por exemplo, a itaúba, o ipê, o cambará, que são madeiras valorizadas e exploradas, e muitas outras praticamente desconhecidas. A regulamentação da Lei da Mata Atlântica permite que se manejem essas espécies no Paraná, se forem plantadas tecnicamente através de reflorestamentos ou pelo enriquecimento ecológico de florestas. Mas, como são necessários dezenas de anos para que as árvores amazônicas atinjam grandes diâmetros, não há qualquer perspectiva de que essas árvores sejam uma alternativa de mercado em curto prazo no Paraná. Além disso, restringir a produção de componentes construtivos às madeiras da distante Amazônia representa perder a oportunidade de utilizar madeiras locais e os ganhos implícitos em seu uso: geração de emprego e renda no Estado, economia de energia no transporte.

Por todas as razões acima citadas, esta pesquisa analisou a produção dos

[7] Formações florestais pioneiras: são constituídas por espécies que nascem primeiro, crescem mais rápido, preparando o terreno e condições apropriadas para que as demais árvores, de crescimento mais lento, se desenvolvam a contento. No caso do Paraná, a bracatinga é espécie pioneira, de rápido crescimento que permite que a araucária e outras espécies da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucária, conhecida como Mata de Araucária ou Pinheiral, tipo de vegetação do Planalto Meridional. Conf. Carvalho (2003, p. 35) se desenvolva.

componentes propostos com três espécies de madeira, com características tecnológicas diversas:

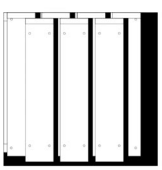
1. Uma espécie nativa, folhosa, *média densidade*, local: Bracatinga (*Mimosa scabrella*);

2. Uma espécie nativa, folhosa, *alta densidade*, tropical: Ipê (*Tabebuia* spp.*)*;

3. Uma espécie exótica, conífera, *baixa densidade*, madeira de reflorestamento: Pinus (*Pinus* spp.).

A bracatinga (*Mimosa scabrella*) se apresenta como uma alternativa viável para a construção de componentes construtivos no Paraná por: 1-) ser matéria prima local, o que é extremamente vantajoso tanto para o incremento da renda do pequeno e médio produtor rural (arranjo produtivo local), tanto para se trabalhar dentro de um plano de desenvolvimento mais sustentável, minimizando os impactos ambientais decorrentes do transporte; 2-) fazer parte do sub-bosque da araucária (*Araucaria angustifolia*), o que torna interessante promover sua valorização, para que se mantenha a biodiversidade da região, através da promoção de plantios com plantas nativas; 3-) apresentar o segundo maior incremento anual (CARVALHO, 2003) entre as árvores brasileiras, o que a torna economicamente interessante, além de representar uma árvore com vocação para fixadora de carbono; e 4-) apresentar características como, por exemplo, o fato de ser moderadamente densa (0,65 a 0,81 g/cm3), entre 12 e 15% de umidade (CARVALHO, 2003, p. 229), que a transformam numa ótima opção de uso tanto em elementos construtivos, quanto na produção de móveis, promovendo o uso de espécie nativa. Além disso, a bracatinga não é tão suscetível ao ataque de agentes xilófagos quanto o pinus. As desvantagens da utilização desta espécie são: 1-) tensões de crescimento e secagem; 2-) conicidade acentuada que resulta em peças curtas no desdobro; 3-) problemas acentuados com torção, empenamento e rachaduras quando utilizadas peças com mais de 1 metro de comprimento; e 4-) restrições legais ao corte.

O Ipê (*Tabebuia* spp.*)* constitui uma opção para este estudo por: 1-) tratar-se de espécie nativa, cujo uso constitui maneira de fomentar os manejos sustentáveis em todo país; 2-) ser madeira densa, com massa específica aparente de 0,92 a 1,08 g/cm^3, a 15% de umidade (MAINIERI; CHIMELO, 1989, *apud* CARVALHO, 2003), o que torna seu uso eficiente em peças estruturais; 3-) por ser resistente ao ataque de agentes xilófagos, o que garante uma durabilidade de mais de 80 anos quando exposta ao tempo; 4-) apresentar propriedades organolépticas como textura fina a média e cor pardo acastanhada, que com o tempo vai se tornando acinzentada, muito interessante para projetos de arquitetura. Os problemas associados à utilização do Ipê são: 1-) difícil trabalhabilidade; 2-) maior peso dos componentes em comparação aos componentes de bracatinga ou pinus; 3-) trata-se de uma madeira muito valorizada, cara e de baixa oferta por tratar-se de madeira tropical. O ipê foi escolhido neste estudo por mais uma razão: como as peças que constituirão os componentes



serão peças curtas, há possibilidade de utilização de peças descartadas na produção de produtos para exportação, por exemplo. Outra possibilidade é a utilização de uma gama de madeiras nativas, agrupadas de acordo com a classe de resistência, como o cambará, a itaúba e muitas outras madeiras menos conhecidas e exploradas (IPT, 2003).

O pinus (*Pinus* spp.) constitui uma opção para este estudo por: 1-) possuir boa trabalhabilidade; 2-) resultar em componentes leves, por ser madeira de baixa densidade, com massa específica aparente variando em torno de 0,40 – 0,50 g/cm^3, entre 12 e 15% de umidade; e 3-) ser matéria prima abundante e constituir a base para a indústria de madeira do Sul do Brasil. Os problemas associados a esta escolha são: 1-) por tratar-se de espécie exótica, os plantios de pinus resultam em áreas de monocultura que suscitam discussões sobre questões ambientais, como sua influência sobre a biodiversidade; 2-) o pinus é extremamente suscetível ao ataque de agentes xilófagos, o que não garante uma longa durabilidade para os componentes construtivos, exceto com o uso de produtos preservantes; 3-) a possibilidade do uso dos referidos preservantes, através de autoclavagem com CCA ou CCB, não são objeto deste estudo por constituírem risco à vida humana; 4-) pelo rápido crescimento inicial, que resulta em aneis de crescimento largos, o pinus brasileiro não possui grande resistência mecânica, o que pode ser contornado por desenvolvimento de elementos construtivos reconstituídos.

É importante salientar que, na primeira etapa da pesquisa, os componentes foram construídos unicamente de bracatinga. No entanto, posteriormente, as peças curtas utilizadas (com no máximo 61 cm de comprimento), que eram uma prerrogativa de projeto para tornar viável a utilização desta espécie, acabaram mostrando-se adequadas para uma infinidade de outras espécies, por otimizar o aproveitamento no desdobro de peças que seriam descartadas no caso de grandes componentes.

Parte-se da ideia de que melhorando o desempenho de componentes e técnicas construtivas em madeira – aliando os conhecimentos das propriedades da madeira com suas possibilidades e vantagens como material de construção – se consiga promover a madeira como uma excelente opção, aumentando sua competitividade na arquitetura e construção civil brasileiras.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 O objetivo geral

Investigar e refletir sobre o projeto de arquitetura como um todo e propor soluções de projeto e produção de componentes (painéis) constituídos por peças curtas de madeira maciça para paredes.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa podem ser assim resumidos:

Desenvolvimento de componentes construtivos para paredes de vedação e/ou estruturais que levem a melhorias em:

- Qualidade e agilidade dos projetos arquitetônicos, por serem adaptáveis a retículas de projeto;
- Qualidade da construção e redução do tempo de obra, por serem passíveis de serem industrializados e montados a seco;
- Competitividade da madeira como material de construção, reduzindo desperdícios através do aproveitamento de resíduos de madeiras e peças de menor dimensão.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada no presente trabalho é de pesquisa exploratória, bibliográfica, projetual e construtiva.

O PRODUTO:

Componentes (painéis) de vedação e/ou estruturais.

Prerrogativas de projeto:

1-) Apresentar alternativa para o Modelo de Categoria Planos Verticais (paredes cegas) dentro do metaprojeto construtivo (OLIVERI, 1972);

2-) Através do desenvolvimento de peças-sistema para montagem de paredes estruturais e/ou de vedação;

3-) Compostas pelos seguintes materiais: madeira maciça de três espécies escolhidas, pregos e parafusos;

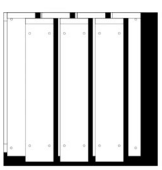
4-) Utilizando apenas peças curtas (menores de 70 cm);

5-) Evitar ou minimizar a utilização de adesivos/colas e preservantes;

6-) Componentes que garantam flexibilidade na escolha do acabamento interno, que poderá ser de peças de madeira maciça, de painéis laminados ou particulados, de gesso acartonado etc.;

7-) Componentes que, associados entre si, possibilitem o fechamento de uma infinidade de vãos em longitude e altura, garantindo liberdade arquitetônica;

8-) Componentes passíveis de serem pré-fabricados e montados a seco, dentro de



um esquema de pré-fabricação aberto, coordenados modularmente.

Os componentes serão projetados e construídos visando a otimização do uso da matéria prima, velocidade de montagem, controle térmico e alta qualidade formal e de acabamento. Através do desenvolvimento das etapas produtivas – pré-fabricação e montagem e da coleta de dados durante a produção – serão: a) sistematizadas as etapas produtivas para os componentes, com os respectivos materiais, ferramentas, equipamentos e mão de obra necessários para sua produção; b) apropriados os custos de produção numa escala artesanal que possa subsidiar a formulação de desempenho econômico com o ganho de escala. A proposta técnica deverá, portanto, levar a melhorias em: qualidade do projeto arquitetônico, produção, execução da obra e manutenção. Sendo considerados como quesitos fundamentais deste produto a qualidade plástica e funcional dos componentes, que podem ser resumidos em bom *design* e capacidade de facilitar o processo de projeto arquitetônico e construção da obra.

1.4 ETAPAS DA PESQUISA

A presente pesquisa foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas:

1. Pesquisa bibliográfica / revisão de literatura sobre os seguintes assuntos: teoria e metodologia de projeto arquitetônico e sua relação com a arquitetura de madeira, sistemas e componentes construtivos em madeira: paredes de vedação – a pesquisa bibliográfica foi feita ao longo de todo o trabalho (março de 2005 a julho de 2009);
2. Definição do conjunto de componentes construtivos a serem desenvolvidos – componentes ou painéis de vedação (paredes) (junho de 2005 a dezembro de 2007);
3. Projeto e detalhamento dos painéis com execução de desenhos e maquetes em escalas adequadas / componentes que se ajustam uns aos outros – coordenação dimensional; reduzindo desperdícios e prevendo o aproveitamento de resíduos de madeiras e tábuas de menor dimensão (janeiro de 2006 a janeiro de 2009);
4. Construção de protótipos em escala 1:1 (janeiro-julho de 2009);
5. Avaliação dos resultados (fevereiro-julho de 2009);
6. Redação da tese (janeiro de 2006 a julho de 2009);
7. Preparação da apresentação para a Defesa (agosto de 2009).

1.5 ESTRUTURA DA TESE

A tese está assim estruturada:

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Explicita-se o contexto em que se insere a presente pesquisa, seus objetivos, as etapas desenvolvidas e a estrutura da tese.

CAPÍTULO II – METODOLOGIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO E TECNOLOGIA DA MADEIRA

Verificam-se, através de revisão de literatura, o estado da arte sobre teoria e metodologia de projeto, e discute-se sobre o papel da tecnologia construtiva em ambas. Reflete-se sobre a relação entre forma e matéria na arquitetura, sobre a relação entre o "como constrói" e o "como se vê", a tectônica. E, por fim, são apresentadas algumas ideias do que poderia ser importante no exercício projetual em um futuro próximo. As reflexões apresentadas neste capítulo serão importantes para a construção das ideias do capítulo 3, que faz um paralelo entre madeira, industrialização e metaprojeto.

CAPÍTULO III – MADEIRA, INDUSTRIALIZAÇÃO E METAPROJETO

Neste capítulo, verificam-se, através de revisão de literatura, o estado da arte sobre industrialização e pré-fabricação. Antes disso, é preciso refletir sobre algumas questões que envolvem as proporções e dimensões, as medidas dos elementos construtivos. A coordenação modular é apresentada como uma ferramenta para que se possa auxiliar a pré-fabricação de peças, componentes e artefatos de madeira que dialoguem com toda uma cadeia produtiva. E, para que a pré-fabricação de componentes e elementos construtivos de madeira obtenha êxito, o metaprojeto é apresentado como uma maneira sistêmica de solucionar, não apenas o problema da utilização da madeira na arquitetura, mas o projeto e a construção de uma maneira geral.

CAPÍTULO IV – MADEIRA E MATERIALIDADE

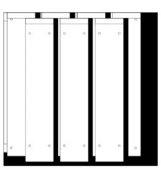
Neste capítulo é apresentado em primeiro lugar a madeira como material renovável e portanto mais sustentável do que os materiais usualmente utilizados na construção civil brasileira, como concreto armado e tijolos; em segundo lugar, apresenta-se a relação entre estrutura e vedação em sistemas construtivos de madeira e diferentes tecnologias empregadas em paredes de vedação e, por fim, reflete-se sobre *"o projetar" o espaço e a construção de madeira,* apresentando as propriedades da madeira a serem consideradas num projeto de arquitetura.

CAPÍTULO V – ESTUDO DE CASO – PROJETO E EXECUÇÃO DE PEÇAS-SISTEMA

Este capítulo apresenta a parte projetual e construtiva da pesquisa. Propõe-se uma alternativa para construção de paredes de madeira. Através da apropriação do metaprojeto construtivo – retícula projetual, modelos de categoria e coordenação modular – apresenta-se solução de projeto para componentes (painéis) constituídos por peças curtas (com comprimentos inferiores a 70 cm) de madeira maciça. Os componentes são passíveis de serem produzidos dentro de um esquema de pré-fabricação aberto, com uma propriedade aditiva que permite que se construa uma infinidade de longitudes e alturas com apenas 4 componentes para paredes de vedação e/ou estruturais, passíveis de serem montadas a seco; por fim, demonstra a sua viabilidade através da construção de protótipos com três espécies: uma nativa local, a bracatinga (*Mimosa scabrella*); uma exótica de reflorestamento, o pinus (*Pinus* spp.); e uma nativa amazônica, o ipê (*Tabebuia* spp.).

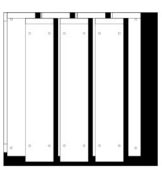
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Este capítulo apresenta as considerações finais e conclusões sobre as reflexões feitas ao longo da pesquisa teórica e sua apropriação na execução do projeto e dos protótipos.



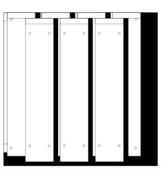
CAPÍTULO 2

METODOLOGIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO E TECNOLOGIA DA MADEIRA



“Arte é a maneira de fazer”.

Le Corbusier



2 METODOLOGIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO E TECNOLOGIA DA MADEIRA

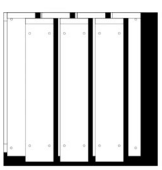
Neste capítulo verificam-se, através de revisão de literatura, o estado da arte sobre teoria e a metodologia de projeto, e discute-se sobre o papel da tecnologia construtiva em ambas. Reflete-se sobre a relação entre forma e matéria na arquitetura, sobre a relação entre o "como constrói" e o "como se vê", a tectônica. E, por fim, são apresentadas algumas ideias do que poderia ser importante no exercício projetual em um futuro próximo. As reflexões aqui apresentadas serão importantes para a construção das ideias do capítulo 3, que faz um paralelo entre madeira, industrialização e metaprojeto.

2.1 METODOLOGIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO, UMA FERRAMENTA NECESSÁRIA

Antes de discorrer sobre teoria e metodologia de projeto arquitetônico, peço licença ao meu interlocutor, para expor – em primeira pessoa[1] – três de minhas convicções: a primeira delas no âmbito geral da arquitetura, a segunda no âmbito do projeto de arquitetura e, finalmente, a terceira no âmbito da tecnologia da madeira na arquitetura. A primeira é a convicção de que arquitetura é arte, e, em sendo arte, tem a técnica a seu favor, como um meio e não um fim. A segunda convicção é a de que o projeto de arquitetura é uma atividade de constante reorganização de um repertório pré-existente, portanto, a projetação se dá a partir do domínio progressivo de um conjunto de elementos – de forma análoga a letras de um alfabeto – e de seus possíveis arranjos – formando sílabas, palavras e frases, que serão bem ou mal articuladas, que farão mais ou menos sentido para seu interlocutor e agente, a sociedade humana. E, em sendo resultado de domínio progressivo de um repertório pré-existente, um projeto *não provém do nada* (MAHFUZ, 1984, p. 88). E a terceira convicção é a de que os arquitetos precisam conhecer em profundidade as características dos materiais, consequentemente, é preciso conhecer a madeira para "projetar com madeira" de maneira satisfatória.

Muitos autores já escreveram sobre arquitetura enquanto arte e alguns elaboraram teorias de projeto arquitetônico, portanto, esses assuntos além de não serem novidade, já foram brilhantemente abordados. Alguns estudiosos do assunto, no entanto, defenderam a ideia de que arquitetura é arte e técnica, como se esta não fizesse parte daquela, como se fosse possível tratar de técnica em arquitetura sem estabelecer sua ligação com a arte, ou melhor, sem ter a arte como fim, utilizando a técnica como meio. Talvez este seja o erro metodológico de uma série de trabalhos que propõem sistemas e elementos construtivos em madeira, que, por desvincular arte e técnica, têm como resultado construções, e não arquitetura, não arte.

[1] Porque só é possível expor convicções em primeira pessoa.



E por incrível que pareça, quando uma construção não alcança a qualidade de arquitetura, também a técnica falhou durante o processo. É importante salientar, portanto, que durante todo o texto o termo arquitetura não será utilizado para designar toda construção, mas um universo mais restrito de construções.

Lúcio Costa[2] define arquitetura como:

> antes de mais nada, construção; mas, construção concebida com o propósito primordial de ordenar o espaço para determinada finalidade e visando a determinada intenção. E nesse processo fundamental de ordenar e expressar-se, ela se revela igualmente arte plástica, porquanto nos inumeráveis problemas com que se defronta o arquiteto desde a germinação do projeto até a conclusão efetiva da obra, há sempre, para cada caso específico, certa margem final entre os limites – máximo e mínimo – determinados pelo cálculo, preconizados pela técnica, condicionados pelo meio, reclamados pela função ou impostos pelo programa, – cabendo então ao sentimento individual do arquiteto (ao artista, portanto) escolher, na escala dos valores contidos entre tais limites extremos, a forma plástica apropriada a cada pormenor em função da unidade última da obra idealizada. A intenção plástica que semelhante escolha subentende é precisamente o que distingue a arquitetura da simples construção (XAVIER, 1962, p. 244).

Por outro lado – adverte o mestre Lúcio Costa –, a arquitetura depende ainda, necessariamente, da época da sua ocorrência, do meio físico e social a que pertence, da técnica decorrente dos materiais empregados e, finalmente, dos objetivos visados e dos recursos financeiros disponíveis para a realização da obra, ou seja, do programa proposto. Pode-se então definir a arquitetura como construção concebida com o propósito de organizar e ordenar plasticamente o espaço e os volumes decorrentes, em função de uma determinada época, de um determinado meio, de uma determinada técnica, de um determinado programa e de uma determinada intenção (COSTA, 1980, p. 5).

Assim, para que a madeira possa ocupar o seu papel adequado na arquitetura, o domínio da técnica terá – como condição primordial – que estar a favor de que se alcance uma qualidade arquitetônica, portanto, artística. Por isso, o trabalho propõe uma reflexão sobre teoria e metodologia de projeto, para fazer, posteriormente e com mais propriedade,

[2] Lúcio Costa (1902-1998). Arquiteto e Urbanista. Sua presença contribuiu decisivamente para que a arquitetura brasileira, entre os anos 30 e 60, fosse uma das expressões mais vivas e respeitadas da nossa cultura. Sua atuação lúcida e contínua ao longo do século XX determinou novos rumos e estabeleceu critérios, estruturando o movimento moderno no país. Formou-se arquiteto na Escola Nacional de Belas Artes no Rio de Janeiro em 1924. No início de sua carreira fazia a arquitetura eclética em voga na época, e foi o arquiteto mais prestigiado do movimento neocolonial. Entretanto, em 1924, uma viagem à Diamantina o colocou diante da pureza e da simplicidade da arquitetura civil do período colonial – tão distante dos projetos que então fazia. Cinco anos depois mudou radicalmente o rumo de sua atuação profissional, rompendo com o movimento neocolonial e procurando a linguagem plástica correspondente à tecnologia construtiva do seu tempo. Em 1930 foi incumbido pelo governo Vargas da reformulação do ensino na Escola Nacional de Belas Artes. A partir de então, sua presença foi fundamental na eclosão e consolidação da arquitetura moderna brasileira – em 1936, com o projeto do Ministério da Educação e Saúde, quando conseguiu a vinda de Le Corbusier ao Brasil, e em 1938, com o Pavilhão do Brasil na Feira Mundial de Nova York, com a colaboração de Oscar Niemeyer. Nessa época, a defesa da "boa causa" da arquitetura passou a ter, para Lúcio Costa, sentido de "missão". Entre suas principais obras destacam-se: O Plano Piloto de Brasília (Disponível em: <http://www.casadeluciocosta.org>. Acesso em: 08/07/2009).

um recorte, que tentará definir o papel da tecnologia dentro deste universo maior que é o projeto de arquitetura. E a relevância deste trabalho talvez se situe em tecer as matizes de um pensamento que utiliza a tecnologia de madeira dentro do projeto de arquitetura contemporânea.

2.2 TEORIA DE PROJETO E O PAPEL DA TECNOLOGIA

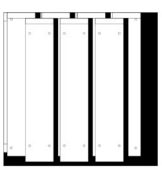
O trabalho propõe-se inicialmente a tratar da teoria de projeto, pelos motivos enumerados na introdução deste capítulo, pela observação sistemática de trabalhos anteriores que trataram do assunto arquitetura *versus* tecnologia da madeira e pela minha própria experiência – e aqui peço licença para falar mais uma vez em primeira pessoa –, seja lecionando nos *ateliers* de projeto, seja durante o desenvolvimento de minha dissertação de mestrado, seja em minha própria experiência como arquiteta, sempre percebi que existia uma lacuna entre teoria e práxis, que muitas vezes resulta em projetos e obras de má qualidade. A arquitetura depende diretamente de um processo de desenvolvimento do pensamento, pressupõe, portanto, um relativo conhecimento teórico que dá sustentação à prática projetual, ambos concorrendo para que se adquira clareza para se posicionar no momento presente. Em um ensaio intitulado “On the Origin of the Work of Art”, Heidegger apresentou arquitetura como tendo a capacidade não apenas de expressar os diferentes materiais com os quais é feita, mas também de revelar as diferentes instâncias e modos com os quais o mundo segue seu curso (FRAMPTON, 1996, p. 22).

Sobre isso, Costa (1980, p. 5) destaca que:

> a história da arte mostra que a arquitetura sempre foi parte integrante fundamental no processo da criação artística como manifestação normal de vida. Ela engloba, portanto, a própria história da arquitetura, constituindo-se, então, por assim dizer, no “álbum de família” da humanidade. É através dela, através das coisas belas que nos ficaram do passado, que podemos refazer, de testemunho em testemunho, os itinerários percorridos nessa apaixonante caminhada, não na busca do tempo perdido, mas ao encontro do tempo que ficou vivo para sempre porque entranhado na arte.

É de conhecimento geral, que a teoria é uma tentativa de encontrar, por meio da reflexão, explicação para questões para as quais não é possível a aplicação do sentido comum. Portanto, teoria não se reduz a uma série de prescrições cuja aplicação possa conduzir a projetos satisfatórios. Neste trabalho de tese, será feita uma breve revisão de literatura sobre teoria do projeto com o objetivo de encontrar os vínculos entre concepção e obra, elucidando o papel da tecnologia em ambas.

É importante que, além disso, se possa destacar critérios eficientes para enfrentar o projeto de arquitetura e especificamente a utilização da madeira no projeto de arquitetura. Essas questões serão tratadas com mais profundidade mais adiante nos capítulos 3 e 4. Não



se trata de averiguar a verdade, pois a arquitetura não se apoia em verdades, mas sim em convicções e seus desdobramentos.

> [...] a própria sobrevivência das faculdades do espírito é um pretexto para construir universos materiais com critérios de forma: na realidade, enquanto existir na Terra um mínimo de inteligência sensitiva, haverá alguém capaz de ordenar os elementos do entorno físico, de modo que o reconhecimento de sua estrutura produza um prazer estético, independente da satisfação de requisitos funcionais (PIÑÓN, 2006, p. 8).

A estrutura a que Piñón se refere no texto acima não é aquela estrutura formada por vigas, pilares e fundação, que sustentam as cargas de um edifício. A noção de estrutura é mais ampla e tem a ver com a organização das partes, e aqui podemos incluir tanto o próprio sistema estrutural, quanto os elementos de vedação, a relação entre cheios e vazios e toda uma sorte de relações que se possa estabelecer entre o todo e as partes de uma edificação.

Segundo Mukarovsky (1977, p. 48), “existem, tanto na arte como fora dela – objetos que, graças à sua estrutura, estão predestinados à ação estética; esta é inclusive a característica consubstancial da arte”. E, sobre isto, Lionello Venturi (1964, p. 21) completa “sobre o fato de que a diferença entre arte e a não arte reside na estrutura da primeira, pois seus elementos também estão presentes no trabalho dos que não são artistas, mas sem uma estrutura que os una”. A respeito da natureza das relações entre as partes e o todo, Mahfuz (1995, p. 14) considera essas relações como de fundamental importância no processo de projeto ou, dito de outra maneira, como a essência do próprio projeto.

Sobre atributos que definem o fato artístico, um dos fatores que distingue a arquitetura da mera construção, segundo Mahfuz (1995, p. 122), “é que em uma obra de arquitetura sempre existe algum tipo de atitude em relação ao entorno imediato, e essa atitude se reflete na forma do artefato”. Soma-se assim, à tríade vitruviana – firmitas, venustas e utilitas – este novo ingrediente, *o lugar*, ou seja, todo o espaço envoltório de uma obra é, na realidade, gerador da obra. Sempre será possível e necessário desenvolver sistemas – e é sobre esses sistemas que esta tese propõe-se a refletir – que produzam um efeito direto sobre o projeto de arquitetura, facilitando-o e melhorando sensivelmente o resultado final das obras; mas o arranjo estruturante, o projeto de arquitetura, sempre será absolutamente necessário, caso a caso, pois não existem sobre a terra dois lugares exatamente iguais.

Segundo Costa (1980, p. 5-8),

> o que caracteriza a obra de arte é, precisamente, esta eterna presença na coisa daquela carga de *amor* e de *saber* que, um dia, a configurou. Importa, pois, antes de mais nada, a distinção entre essência e origem, porque nesta diferenciação preliminar reside a chave do entendimento do que seja verdadeiramente arte.

E completa, explicando que

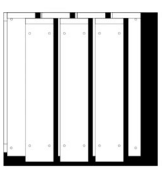
> se é indubitável que a origem da arte é interessada, pois a sua ocorrência depende de fatores que lhe são alheios – o meio físico e econômico-social, a época, a técnica utilizada, os recursos disponíveis e o programa escolhido ou imposto –, não é menos verdadeiro que na sua essência, naquilo por que se distingue de todas as demais atividades humanas, é manifestação isenta, porquanto nos sucessivos processos de escolha a que afinal se reduz a elaboração da obra, escolha indefinidamente renovada entre duas cores, duas tonalidades, duas formas, dois partidos igualmente apropriados ao fim proposto, nessa escolha última, ela tão só – arte pela arte – intervém e opta.

Neste ponto o arquiteto se diferencia dos demais profissionais da construção civil, pois suas decisões são calcadas em fatores diversos, complexos e muitas vezes subjetivos. Deriva disso, outro problema básico enfrentado pelos arquitetos que é a falta de critérios na hora de decidir utilizar elementos ou soluções ou descartá-los, durante o processo de projeto. É um problema de juízo, trata-se, como já foi dito, de uma questão de convicção. Naturalmente, para que haja convicção deve haver critério[3]: a arte não prescreve ações ou elementos, mas propõe valores, isto é, atua com critérios que constituem a vertente operativa de princípios gerais. E o projeto de arquitetura requer o estabelecimento de umas *normas internas – estabelecidas pelo próprio autor*.

Não é um problema exclusivo da nossa época as questões técnicas associadas à elaboração de projetos e construção, sempre houve a necessidade de construir as mais variadas edificações e a técnica constitui ferramenta para isso. Na antiguidade havia o arquiteto, uma das profissões mais antigas da história da humanidade. Não havia a figura do engenheiro, que só se formalizou recentemente, em meados do século XVIII (STROETER, 1986, p. 123). Até 1750 era também do arquiteto o papel eminentemente técnico de construtor, aquele que tomava todas as decisões relativas à obra, sendo ele designado para a construção de pontes e torres. Na Grécia antiga o termo *techné* não diferenciava arte e técnica. Na língua japonesa não há distinção entre arquiteto, construtor e engenheiro: a palavra *kenchiku* designa igualmente as três atividades, assim como o próprio edifício (STROETER, 1986, p. 124). No século XIX, com o desmembramento do arquiteto em duas profissões: a do arquiteto e do engenheiro, perdeu-se a união entre o conhecimento técnico e artístico, e esse é um dos maiores problemas que enfrentamos hoje em nossa profissão.

> [...] não quero deixar de manifestar minha convicção de que, se nossa profissão sobreviver à crise de identidade e competência por que vem passando há décadas, será porque os arquitetos terão sido capazes de

[3] Critério: 1. Aquilo que serve de norma para julgamento. 2. Princípio que permite distinguir o erro da verdade. 3. Tino, discernimento (FERREIRA, 1977, p. 133).



> assumir uma obrigação técnica que até aqui têm desdenhado, empenhados em ocupar um espaço cinzento, tensionado pelas estrelas de renome, por um lado, e pela submissão de uma profissão que sobrevive graças ao protecionismo corporativo, por outro lado. Dito privilégio não se justifica pela qualidade média dos serviços prestados à sociedade, nem do ponto de vista estético e muito menos pelo técnico (PIÑÓN, 2006, p. 9).

Técnica[4] e tecnologia[5], dentro do projeto de arquitetura, podem ser entendidas: a primeira como um meio e a segunda como a costura; ambas com capacidade de unir as partes, de estruturar o todo. Fabricar um machado ou acender o fogo representa os primórdios da nossa técnica. O artesão que caminhou da antiguidade até a idade média dependia somente de seu conhecimento empírico, transmitido de pai para filho e das suas habilidades para a produção dos bens da humanidade. O início da Idade Moderna traz o aparecimento das máquinas e um salto para a técnica humana que se utiliza de ferramentas (o desenho técnico, por exemplo) para reproduzir máquinas.

Porém, a grande mudança ocorre quando técnica e ciência se unem. Quando as leis que regem um fenômeno são conhecidas, a técnica se transforma em tecnologia – o estudo da técnica. *Téchné* significa *saber-fazer*. Não um saber ligado ao conhecimento de leis e números, conhecimento ao qual se chega através do uso exclusivo da mente, mas um saber ligado à nossa habilidade e perícia de moldar a natureza segundo a nossa necessidade. Tecnologia é o estudo do saber-fazer. O estudo da necessidade humana na busca da quebra de barreiras propostas pelo universo que nos cerca. É a busca da ferramenta mais adequada para resolver nossos problemas. Tomas Edison classificava como "tool-man" o homem que busca ferramentas para a solução de seus problemas ou superação de suas necessidades.

E aqui entra uma terceira palavra consubstancial: **tectônica**. De origem grega, o termo tectônica deriva da palavra *"tekton"*, que significa carpinteiro ou construtor (FRAMPTON, 1996, p. 3). Em geral, o termo se refere a um artesão trabalhado com uma série de materiais sólidos, com exceção dos metais. Ao longo do tempo, o termo sofreu modificações e evoluiu de algo específico e físico como a carpintaria, para uma noção mais genérica de *fazer*, envolvendo a ideia de poesia.

A técnica constitui, pois, ferramenta fundamental para se conseguir qualidade do espaço construído. Com o domínio progressivo da técnica, e através do uso adequado da tecnologia, a arquitetura – posto que é arte – transcende a própria técnica: emociona, faz pensar ou faz deixar de pensar, arrepia, às vezes choca, acolhe, transforma.

[4] Técnica: Conjunto de processos de uma arte ou ciência (FERREIRA, 1977, p. 462).

[5] Tecnologia: uma de suas definições é a de que ela é a aplicação do conhecimento científico, e de outro conhecimento organizado, às tarefas práticas por organizações que consistem em pessoas e máquinas (Disponível em: <http://portal.unesco.org/education/en/ev.phpURL_ID=19398&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html>).

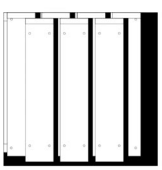
2.2.1 Teoria de Projeto – Revisão de Literatura

> [...] é importante a tomada de consciência de que a arquitetura, como qualquer campo do conhecimento aplicado, é uma área onde podem ocorrer inovações tecnológicas significativas não apenas no plano dos processos materiais, mas também na esfera abstrata dos métodos de concepção (SILVA, 1991, p. 12).

Segundo Silva (1991, p. 29), uma teoria do projeto arquitetônico se caracterizaria como um enfoque sistemático no estudo do fenômeno projetual, constituindo-se em um esforço no sentido de conhecê-lo e explicá-lo. Não se pode confundir teoria com metodologia: a primeira, por definição tenciona estudar e explicar o objeto – projeto – em si e é, em princípio, descritiva, analítica e explicativa; a segunda busca estabelecer os princípios ou normas de procedimentos aplicáveis na atividade de elaboração de projetos e é, em princípio, normativa, sintética e instrumental.

O projeto de arquitetura é essencialmente prático, posto que é processo: porém, enquanto objeto de estudo, é um fenômeno cultural perfeitamente compatível com a abordagem teórica. O termo projeto, tal qual o empregamos na atualidade, tem sua indiscutível origem em vocábulos latinos como *jactare* (verbo, significando lançar, arremessar) e *pro* (preposição, significando “em frente de”) gerando os substantivos: *projetio, projetionis* (ação de lançar para frente) (SILVA, 1991, p. 30). Projetar, portanto, significa ***lançar*** no sentido de ***propor***, mas também sugere a ideia de “alcançar com o pensamento”, ou simplesmente pensar; e, para frente, no sentido de futuro. Projetar é o mesmo que alcançar com a visão o problema e as possíveis soluções e, através da escolha de uma das soluções possíveis, **propor uma resposta**, através de peças gráficas e modelos – que possam ser perfeitamente compreendidos –, algo que se tornará objeto ou artefato arquitetônico a ser construído no futuro.

Antes de se começar um projeto, há uma fase preliminar em que se busca uma definição do problema, a qual decorre da análise de quatro imperativos de projeto: as necessidades pragmáticas, a herança cultural, as características climáticas e do sítio e, por último, os recursos materiais disponíveis (MAHFUZ, 1995, p. 22). Atualmente poderíamos acrescentar às necessidades pragmáticas, além do programa de necessidades, a necessidade de utilizar recursos renováveis e propor sistemas mais inteligentes – ou seja, sistemas que facilitem o projeto e a execução dos edifícios, gerando edificações que consumam menos energia tanto durante a execução, quanto depois de prontas. O processo de projeto se inicia com a interpretação destes dados e o estabelecimento de uma escala de prioridades. A partir daí, poder-se-á eleger a mais pungente de todas as prioridades e desenvolver um conceito central – que possa ser desenhado como um croqui ou diagrama simples –, ao qual todos os



outros elementos permanecem subordinados.

Daí vem a ideia de ***partido arquitetônico***, tão referenciada durante o modernismo. O partido é o cerne do projeto, o fio que conduz e justifica as decisões tomadas durante esse processo laborioso e prazeroso que é o projeto de arquitetura. Qual seria a razão de nos sentirmos tão seguros para argumentar sobre determinado projeto quando este está calcado sobre um partido bem delineado? Seria o partido uma forma de se estabelecer regras para o "jogo da arquitetura"? Seria uma maneira de rejeitar arbitrariedades nos desenhos ou uma maneira de transformar a arquitetura em uma atividade mais humana, permitindo significados que transcendam aos aspectos pragmáticos? (BERRIEL, 2002, p. 113).

Visto que o projeto não se articula dentro de uma lógica linear, o partido seria uma maneira de criar uma lógica própria, as normas intrínsecas, em que a hierarquia é pré-estabelecida. Ao tomar partido de aspectos relativos ao sítio, à estrutura, aos materiais ou à circulação, enfim, ao definir o que no projeto terá um grau de importância tamanha que será mantido até o fim e determinará todo o resto, é como se o arquiteto estivesse ali, naquele momento, conferindo uma identidade própria, uma "alma" ao projeto (BERRIEL, 2002, p. 113).

É comum ocorrer a confusão entre conceito e partido de um projeto, tidos muitas vezes como tendo o mesmo significado. O conceito na realidade é a formulação ou desenvolvimento de uma ideia que poderia ser aplicada a dois ou mais projetos. Por exemplo: contraste entre luz e sombra. Já o partido é a aplicação de um conceito de maneira prática, concisa, que pode ser expressado através de um croqui desenhado com poucos traços ou de um diagrama e está relacionado a uma situação específica. Por exemplo: a utilização de um acesso enterrado para chegar à nave da Catedral Metropolitana de Brasília (1958) de Niemeyer. Ele utilizou o conceito "contraste entre luz e sombra" concretizado através de um partido genial: "enterrar o acesso para enfatizar a luz" (Figura 2.1). O partido por sua vez é representado por

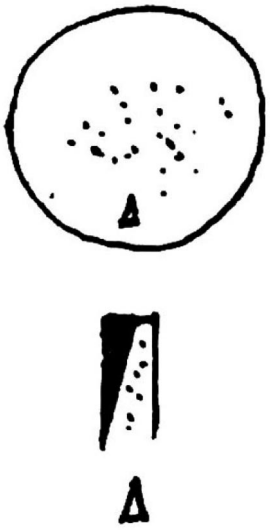


Figura 2.1 - Croqui de Oscar Niemeyer para o projeto da Catedral de Brasília. FONTE: FUNDAÇÃO OSCAR NIEMEYER.

um diagrama, composto por uma linha mestra que representa a terra, que neste caso é o elemento ordenador, e planos, volumes, opacidades e transparências demonstram as demais relações abstratas, declarando o que está embaixo e o que está acima da terra. “A força do diagrama está, além da matemática, em ser base para todo raciocínio” (LACOMBE, 2007, p. 5).

Diagramar o espaço, portanto, é pensar sobre suas possibilidades como no raciocínio dedutivo, estabelecendo relações, similaridades e analogias, operando por hipóteses, experimentando, voltando sempre sobre os resultados e até mesmo sobre o próprio processo. Entre diagramar o espaço e expressar o espaço, portanto, a transformação significativa está na passagem do pensamento lógico para o analógico (LACOMBE, 2007, p. 5).

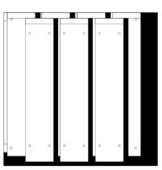


E o partido é, sem dúvida, derivado da tarefa discricionária do arquiteto que terá que fazer escolhas o tempo todo: aspectos que serão muito bem cuidados em detrimento de outros que ficarão em segundo plano. Com relação à setorização e dimensionamento dos espaços, por exemplo, a arquitetura é constituída inevitavelmente por espaços principais e espaços residuais, e quem determinará isso é o arquiteto. Segundo Venturi (1966, p. 111), “[...] poderíamos chamar de ‘*poché* aberto’ o espaço residual aberto, como o ‘espaço de serviço de Kahn’. O espaço residual é, por vezes, inadequado, assim como o *poché* estrutural raramente é econômico; é sempre algo que sobrou, desviado para alguma coisa mais importante, para além de si mesmo”. Ao traçar o partido é isto o que o arquiteto está fazendo: escolhas (BERRIEL, 2002, p. 114).

As ideias de Le Corbusier[6], por exemplo, que eram paradoxais num primeiro momento, transformaram-se no modelo arquitetônico do século XX. Seu discurso manejava uma terminologia em que a noção de partido é central. Os arquitetos da atualidade são herdeiros dessas ideias, o partido, portanto, é inerente ao projeto contemporâneo.

Todo projeto se fundamenta na premissa inicial de

[6] Charles-Edouard Jeanneret, que mais tarde ficou conhecido como Le Corbusier (1887-1965), arquiteto suíço, cuja obra – que inclui muitos textos, pinturas, projetos e obras – constituiu um marco para a arquitetura mundial tendo apresentado, nas décadas de 20-30 do século XX, ideias que incluíam “máquinas de morar”, “casas em série”, “Jogo sábio, correto e magnífico dos volumes sob a luz”, “alegrias essenciais”, entre outras. No capítulo 3 esta tese apresentará o modulor detalhadamente.



que existe uma atividade humana para a qual um espaço precisa ser criado a fim de possibilitar aquela atividade. Seja qual for a opção escolhida com relação ao partido, ou caminho a seguir, Mahfuz (1984, p. 88) adverte que “o arquiteto necessitará ir além do propósito imediato que exige a criação de novos espaços, passando a considerar como de igual importância as outras dimensões da arquitetura, tais como dimensão cultural, a social e a individual”.

Em sendo o partido uma maneira de se criar uma lógica própria para o projeto arquitetônico, elementos ordenadores, as “regras do jogo”, poderíamos considerar, então, a composição como o jogo em si, ou melhor, a hora de jogar. Este poderia ser o momento em que se tendo as peças e o tabuleiro em mãos cabe agora à imaginação e aos conhecimentos técnicos dar a forma final ao projeto. Poderíamos considerar o partido como a teoria – de um projeto – e a composição como instrumentação prática?

A noção de composição é contemporânea à noção de partido. Ambas nasceram com a Escola de Belas Artes Francesa. Seria esse fato uma confirmação de que ambos os conceitos são interligados e inseparáveis? Se considerarmos o partido dentro de um sentido balizador e a composição como o conjunto de procedimentos que darão coesão aos elementos que sustentarão o partido, sim, são interligados; e inseparáveis quando analisado todo o processo projetual, do começo ao fim.

A composição é um processo extremamente lógico e ao mesmo tempo abstrato, é instrumentada por pura geometria e ao mesmo tempo permite um grau elevado de subjetividade. Metáforas, ironias, caminhos diversos são permitidos durante a composição, por isso poderíamos associá-la facilmente à literatura, às artes plásticas e ao mesmo tempo explicar quase todas as decisões através da matemática.

> É através de um processo analógico que, em arquitetura, se cria o novo a partir do existente. O uso arquitetônico de analogias tem dois propósitos: o primeiro é o de empregar o conhecimento existente, na forma de edificações e objetos, como ponto de partida para a criação de novos artefatos; o segundo é o de conferir significado preciso a um edifício ou objeto através do estabelecimento de relações formais entre o novo e o existente (MAHFUZ, 1984, p. 89).

No jogo da composição é como se o pensamento se movimentasse entre objetos, lembranças, cheiros, fotografias antigas, todos os livros já lidos e revistas e muros, todas as obras de arte e obras da natureza, enfim, é como se o pensamento vasculhasse tudo aquilo que já foi visto, sentido e experimentado e extraísse disso tudo uma solução nova, análoga a várias coisas e algumas vezes surpreendente, muito menos pelo ineditismo, mas pela capacidade – aparentemente contraditória – de atender à sua função e ao mesmo tempo enlevar o espírito humano, sendo a arquitetura concomitantemente “útil e arte”.

Mahfuz (1995, p. 71-93) propõe quatro métodos de geração da forma em

arquitetura:

1. O método inovativo

O método inovativo pode ser definido como um procedimento através do qual se tenta resolver um problema sem precedentes ou um problema bem conhecido de maneira diferente. O método inovativo também está ligado à busca de maneiras de empregar novos materiais e à criação de edifícios para abrigar atividades inteiramente novas. A característica básica do método inovativo é que possibilita criar algo que não tinha existência prévia, pelo menos não no âmbito arquitetônico. O termo inovativo deriva do verbo inovar, que vem do latim *innovare*, ou *modificar*. Assim, inovação – como modificação – implica na existência de um corpo de conhecimento que serve como matéria prima para a inovação/modificação.

2. O método tipológico

Projetar de maneira tipológica significa usar um tipo como base para gerar um artefato arquitetônico.

> [...] a arte da construção nasce de um germe pré-existente; nada vem do nada... o tipo é uma espécie de cerne em torno do qual, e de acordo com ele, são ordenadas todas as variações de que um objeto é suscetível[7].

O tipo é princípio estrutural da arquitetura, não podendo ser confundido com uma forma passível de descrição detalhada. Todo edifício pode ser conceitualmente reduzido a um tipo, ou seja, é possível abstrair-se a composição de uma edificação até o ponto em que se vê apenas as relações existentes entre as partes, deixando-se de lado as partes propriamente ditas. Um exemplo é o edifício-pátio, que será sempre um edifício com um vazio central, seja ele de madeira, metal, concreto ou plástico.

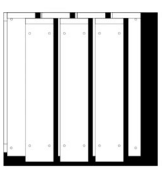
3. O método mimético

Mimesis em greco significa imitação, mas não no sentido de cópia literal de algo, como o temos hoje. O método mimético é o método pelo qual se geram novos artefatos arquitetônicos através da imitação de modelos existentes. O processo projetual que emprega o método mimético começa com a escolha de um modelo, que é uma forma familiar, testada e aceita. O método mimético pode ser descrito através de sua relação com o uso de analogias: através de analogias visuais estabelecidas com a arquitetura existente geram-se novos artefatos. Os métodos tipológico e mimético têm em comum o fato de a fonte das analogias ser estritamente arquitetônica. A diferença é que um modelo é um objeto repetido como é, tudo é preciso e dado. No tipo, por sua vez, tudo é vago, ele é um princípio que pode reger a criação de vários objetos totalmente diferentes.

4. O método normativo

No método normativo, as formas arquitetônicas são criadas com o auxílio de normas estéticas, isto é, princípios reguladores. Norma é definida por Mukarovsky (1977,

[7] Quatremère de Quincy, A. C. Dictionaire Hístórique d' Architecture. Paris: Librairie d' Adrien Le Clerc, 1832. v. Ll. p. 629. Citado por Mahfuz (1995, p. 75).



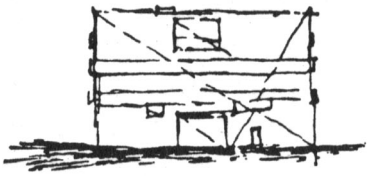
p. 64) como *um princípio regulador que não é regra ou lei e, está sujeita a mudanças contínuas*[8]. Mahfuz salienta que seria quase impossível relacionar todas as normas estéticas que existem ou existiram, mesmo se nos restringirmos ao campo da arquitetura, contudo, existem três tipos de normas cuja importância para a composição arquitetônica é confirmada por sua recorrência ao longo da história:

- Sistemas geométricos que podem ser bidimensionais, tal como as grelhas homogêneas utilizadas por Mies van der Role (Figura 2.2), as grelhas *tartan* presentes em algumas plantas de Frank Lloyd Wright, ou as linhas reguladoras utilizadas por Le Corbusier que controlavam também as elevações e os cortes (Figura 2.3). Os sistemas geométricos também podem ser tridimensionais, como a grelha *Dom-ino* de Le Corbusier (Figura 2.4) ou o sistema tridimensional com que Schindler projetava todas as suas obras (Figura 2.5).

- O segundo tipo de normas inclui os sistemas proporcionais, tais como a Secção Áurea, as ordens clássicas, a teoria de meios de Pitágoras, o Modulor de Le Corbusier, o Ken, etc.

- O terceiro tipo é o uso de formas geométricas elementares para compor as partes principais dos edifícios. Exemplos dessa prática milenar são: as pirâmides egípcias, baseadas em prismas de base quadrada; a Ville Savoye de Le Corbusier, baseada em um cubo; e a Casa Rotonda de Mario Botta, baseada num cilindro.

Uma norma estética é, na prática, um ponto de orientação, já que as normas tendem a ser violadas ao invés de cumpridas literalmente. Outro objetivo importante do uso de sistemas normativos é a criação de um sentido de ordem entre os elementos de uma construção visual.



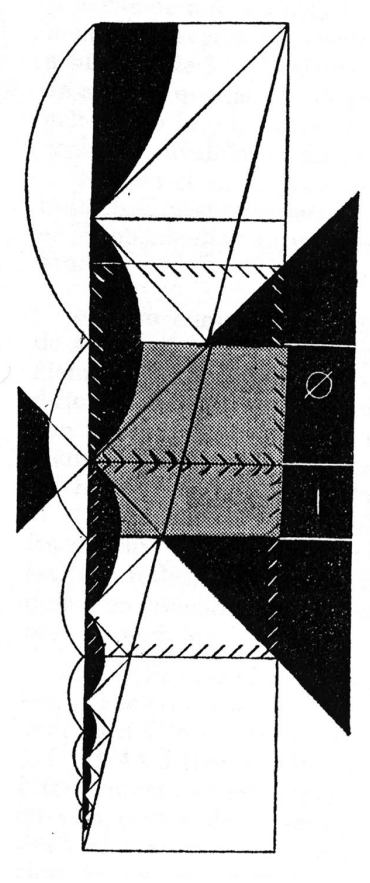


Figura 2.3 - Sistema geométrico bidimensional, as linhas reguladoras utilizadas por Le Corbusier que controlavam também as elevações / cortes. FONTE: CORBUSIER (1976, p.74).

> A norma estética manifesta uma variabilidade temporal comum a certos tipos de normas; cada norma varia tão somente pelo fato de ser aplicada repetidamente e ter que adaptar-se às tarefas exigidas pela prática (MUKAROVSKY, 1977, p. 64).

[8] Sobre a norma estética, Mukarovsky (1977, p. 64) salienta que sua variabilidade no tempo é a consequência necessária de seu caráter dialético.

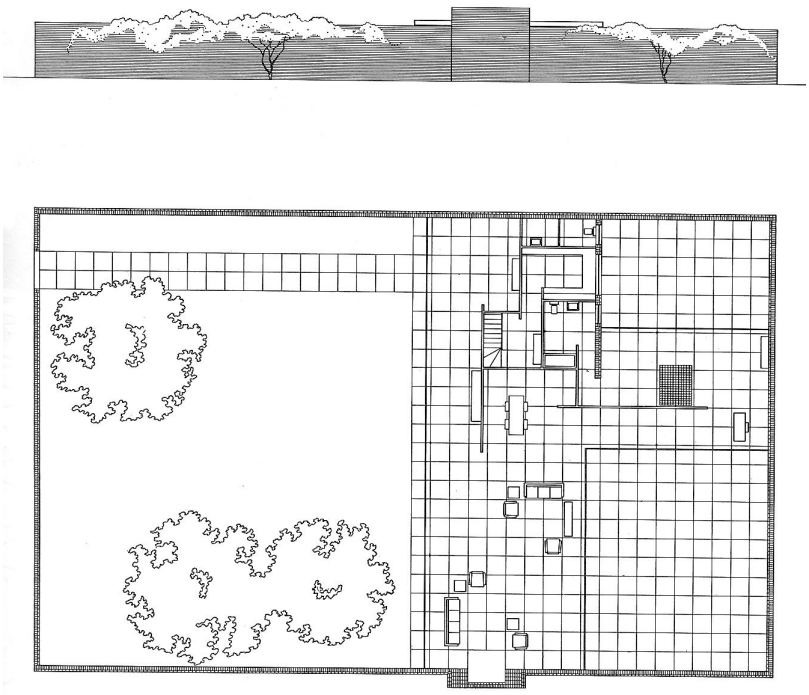


Figura 2.2 - Sistema geométrico bidimensional, grelhas homogêneas utilizadas por Mies van der Rohe. Planta e elevação da casa com pátio. FONTE: BLASER (1994, p. 39).

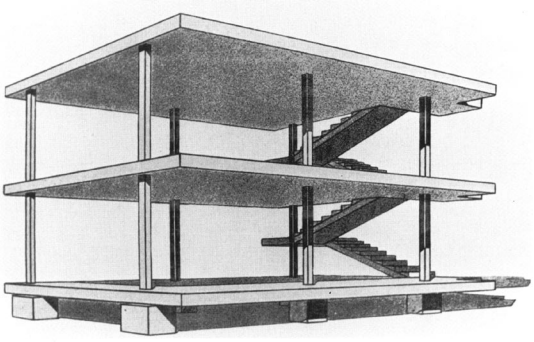


Figura 2.4 - Sistema geométrico tridimensional, a grelha *Dom-ino* de Le Corbusier. FONTE: CURTIS (1987, p.43).

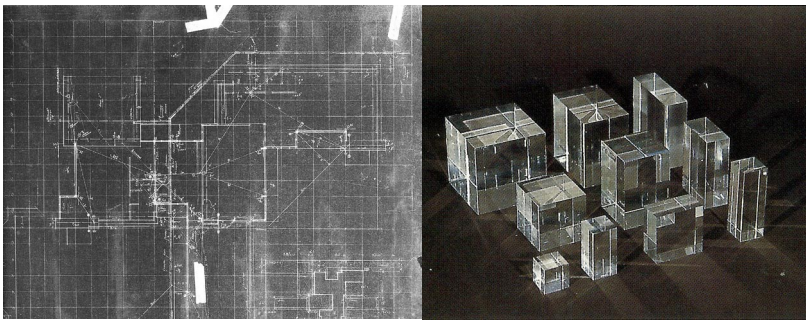


Figura 2.5 - Sistema geométrico tridimensional, o sistema tridimensional com que Schindler projetava todas as suas obras. FONTE: MARCH; SHEINE (1995, p. 58-59).

Da mesma maneira que as normas se modificam por serem postas à prova pela prática e pela realidade de um mundo em constante modificação; em projeto de arquitetura, cada caso é um caso, pois cada lugar é um lugar e cada cliente tem suas necessidades e aspirações peculiares. No entanto, a norma serve como base para a ação mais eficaz e mais controlada.

Mahfuz (1995, p. 91) ressalta ainda que, embora tenha apresentado os quatro métodos de criação da forma arquitetônica em separado, na maioria das vezes eles aparecem combinados para a geração de novos artefatos arquitetônicos.

Considerando a ótica proposta por Mahfuz, o método normativo mostra-se o mais apropriado para elaboração de sistemas que utilizem a madeira para a concepção e construção de novos artefatos. Serão apresentados mais adiante alguns exemplos de sistemas geométricos e proporcionais, dos quais procuraremos extrair exatamente a aplicabilidade durante a criação dos referidos sistemas. Os demais métodos referem-se à composição em si, que é uma etapa posterior à criação dos sistemas. Então, é importante que fique clara a diferença entre projeto de sistema e projeto de arquitetura. Uma vez criado o sistema, suas premissas, medidas, elementos constituintes, será possível a geração de infinitos artefatos arquitetônicos, cada um com um projeto diferente.

Finalmente, Silva (1991, p. 42) identifica seis categorias segundo as quais se pode examinar e avaliar o projeto arquitetônico:

1. NECESSIDADE: A excelência do projeto decorrerá, naturalmente, da sua capacidade de satisfazer à necessidade real que lhe deu ensejo;
2. RESOLUBILIDADE: Diz respeito à capacidade do projeto de resolver os problemas implícitos no contexto da realidade física da obra concebida;
3. OTIMIZAÇÃO: Significa que o projeto, além de propor soluções para os diversos requisitos programáticos, o faz através de hipóteses ótimas. Sendo o projeto um esforço intelectual e de racionalização, deve implicar, por definição, um esforço no sentido de se buscar, entre as diversas alternativas de um conjunto finito, aquela que, nas circunstâncias, melhor atende aos dados do problema projetual considerado;
4. VIABILIDADE: Conjunto de aspectos que permitem avaliar a exequibilidade das propostas, nos termos dos condicionantes de ordem tecnológica, econômica, legal, etc., aplicáveis à situação concreta em estudo;
5. GRAU DE DEFINIÇÃO: O projeto deve abordar todos os aspectos materiais exigidos para a completa solução do problema em questão. A obra arquitetônica, na sua realidade física, implica o atendimento necessário da totalidade dos problemas funcionais, construtivos e estéticos compreendidos

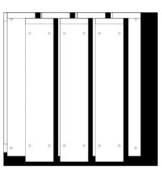
pelo quadro programático. Segundo esta categoria, um projeto não poderá ser avaliado qualitativamente, mas estará mais ou menos definido, mais ou menos pronto para ser executado ou construído;

6. COMUNICAÇÃO: O projeto, como um meio para se atingir o objetivo determinado, que é a construção do edifício, deve ser, necessariamente, uma descrição clara, para permitir sua compreensão por parte de quem vai materializar a proposta nele contida.

Mahfuz (1984, p. 88) utiliza-se de uma citação oportuna, de Jorge Luis Borges: "para saber escrever é preciso saber ler", para alinhavar seu texto: "[...] a afirmação foi dirigida à literatura, mas é válida para todas as atividades essencialmente criativas. O uso da história depende de um ato crítico, seletivo e transformador, realizado pelo arquiteto que a emprega como matéria-prima". E como não existe arquitetura sem usuário, um bom projeto deve fornecer a possibilidade, ou o estímulo para que as pessoas se apropriem dele. Isso não se faz possível unicamente através do partido ou da composição, e sim, através de elementos físicos e espaciais, efetiva e estrategicamente "distribuídos" num projeto pelo arquiteto.

> Deveríamos fazer projetos de tal modo que o resultado não se referisse abertamente a uma meta inequívoca, mas que ainda admitisse a interpretação, para assumir sua identidade pelo uso. O que fazemos deve constituir uma oferta, deve ter a capacidade de provocar, sempre, reações específicas adequadas a situações específicas; assim, não deve ser apenas neutro e flexível – e portanto, não específico –, mas deve possuir aquela eficácia mais ampla que chamamos polivalência (HERTZBERGER, 2006, p. 152).

Além do partido – que estrutura o pensamento para um único projeto de cada vez – e da composição – que, como já vimos, acontece a partir do arranjo de partes pertencentes a um repertório –, o que este trabalho de tese pretende é legitimar a ideia de que o arquiteto contemporâneo precisa elaborar *sistemas* capazes de, não apenas facilitar o trabalho de elaboração de partidos e composições, mas também garantir a execução e manutenção das obras. Lacombe (2007, p. 3) sugere que entre em ação a tríade dinâmica: relação, sistema e organização. A organização é um sistema constituído de elementos que só podem ser definidos em relação uns aos outros e de acordo com seu lugar no todo. Os elementos em relação pressupõem um processo dinâmico que faz com que o sistema esteja em constante organização, auto-organização. Essa lógica relacional configura o espaço como organização passível de transformação. O projeto, portanto, a princípio não mais se ordena, mas processa-se como um possível na arquitetura.



> Como as regras de um jogo, um bom sistema mede-se tanto por sua economia, quanto pela abertura que promove, por seu grau de indeterminação. É no jogo, pois, onde se origina o desenvolvimento criativo (ÁBALOS, 2001, p. 189-190).

A visão clássica, racional, antropocêntrica e hierarquizada do Renascimento, se estende e se desdobra em múltiplas interpretações até o século XX, e o início da arquitetura do Movimento Moderno, estruturada sobre a coerência do ideal cartesiano, absoluto e funcional. A modernidade, e nesta o positivismo, tinha garantido um elo inequívoco entre pergunta e resposta projetual. Essa objetividade não se sustentou por tanto tempo, e, a partir dos anos 50 do século XX, *começa a despontar uma nova racionalidade calcada nas abordagens da ciência como a física e a biologia que permitem novas possibilidades de mediação pela cultura. Assim, aparece a indeterminação de processos dinâmicos, desordens retroalimentadoras, a instabilidade das partículas, as estruturas de não equilíbrio. As contradições do mundo são agora reconhecidas como geradoras de sistemas de relações e organizações que aumentam em complexidade na medida de sua evolução* (LACOMBE, 2009, p. 2).

O arquiteto que atenderá às necessidades do presente e de um futuro próximo é o que consegue reduzir os procedimentos de projeto, materiais e construção a poucas e simples operações de encaixe entre sistemas compatíveis – a chave que nos permite compreender a importância da ideia de “sistema” no pensamento pragmático. Esta perspectiva substitui a concepção tradicional do arquiteto e construtor pela de criador de sistemas, de conjuntos de elementos capazes não apenas de gerar uma ordem lógica em suas relações internas, mas também de manter suficientemente em aberto tal ordem, para permitir o surgimento da surpresa, da dúvida, da mudança de rumo e da contradição.

2.3 TECTÔNICA, ORIGENS E POÉTICA

2.3.1 Forma e matéria – não há projeto sem matéria

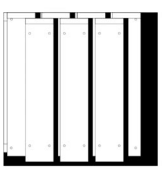
Projeto de arquitetura é uma atividade relacionada com a materialidade. Projeto e construção – apesar de serem divididos em disciplinas diferentes dentro das Escolas de Arquitetura – fazem parte de uma mesma atividade: a concepção e a materialização da obra. Esta é uma prática essencialmente arquitetônica, que se associa ao *empenho em conceber artefatos materiais, habitáveis pelo homem, dotados de uma consistência formal que, na medida em que a contém, transcende a componente utilitária ou, se for o caso, mercantil* (PIÑÓN, 2006, p. 122).

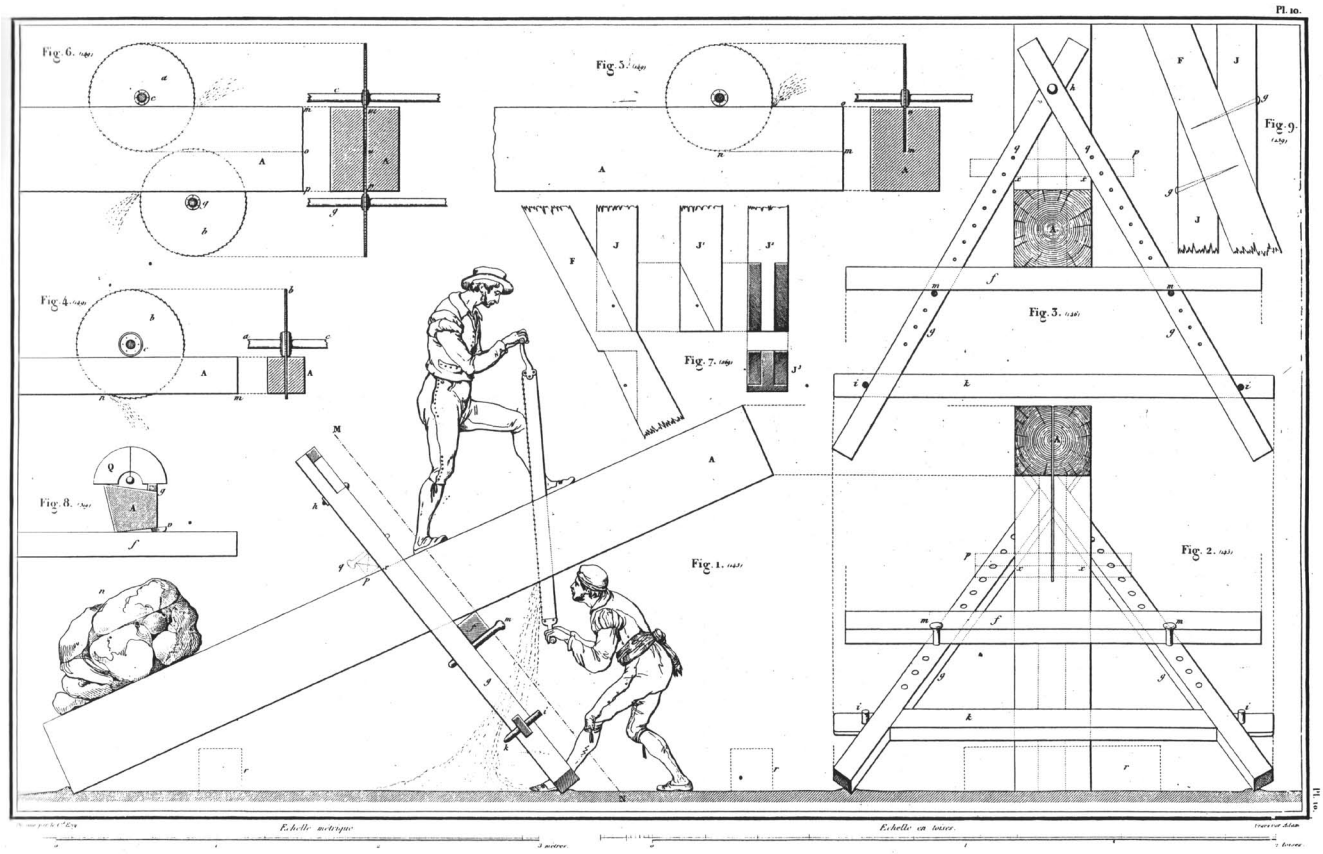
> A construção é um instrumento para conceber, não uma técnica para resolver: não deve determinar solução alguma, senão propiciar decisões cujo sentido necessariamente há de transcende-la; seu destino é contribuir decisivamente para a sistematicidade congênita do edifício. A construção é a condição da arquitetura e a tectonicidade um valor inequívoco dos seus produtos: qualquer edifício melhora substancialmente ao atender aos aspectos construtivos que foram previstos para a sua realização; isso não significa naturalmente, aplicar mecanicamente soluções construtivas elaboradas sem propósito nem objetivos confessáveis (PIÑÓN, 2006, p. 126).

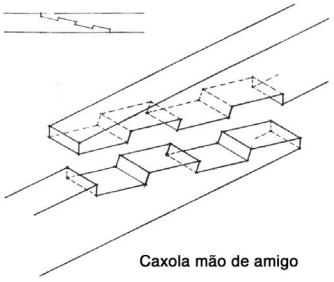
A atenção à construção não é uma panaceia capaz de conferir à arquitetura, por si só, a qualidade almejada: é simplesmente uma condição básica do ato de conceber. Do mesmo modo que não se pode pensar sem palavras, não se pode conceber sem a consciência sistemática de que o resultado é a construção.

> Se por conceber se entende – como dizia a princípio – formar um objeto genuíno que, realizado materialmente ou não, esteja dotado de sentido histórico e consistência formal. Se desejamos um futuro com arquitetos deve-se recuperar o sentido comum e difundir a evidência de que ***não há concepção sem técnica, nem projeto sem matéria*** *(*PIÑÓN, 2006, p. 126, grifo da autora).

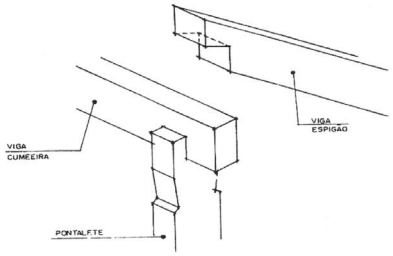
A conceituação – no caso, a elaboração de um partido arquitetônico – é normalmente tida como garantia de que o projeto terá uma intenção correta – até certo ponto sistemática –, ou seja, responderá a um conceito global que evite a arbitrariedade e o relativismo (PIÑÓN, 2006, p. 128). Há, ao contrário, uma sistemática intrínseca na arquitetura que, incompreensivelmente,



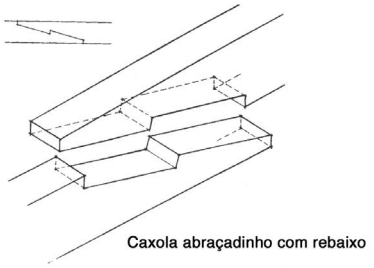




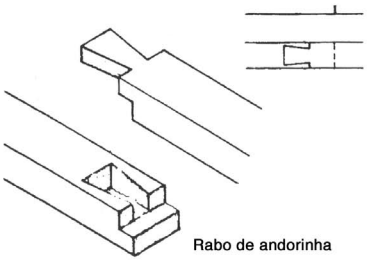
Caxola mão de amigo



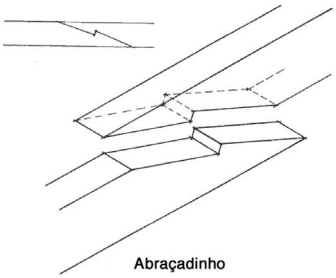
Encontro de espigão com cumeeira



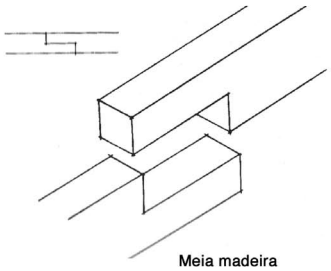
Caxola abraçadinho com rebaixo



Rabo de andorinha



Abraçadinho



Meia madeira

(Figura2.6-Carpinteirostrabalhando. FONTE: EMY (1985, p. 10)

Figura 2.7 - Exemplos de sambladuras. FONTE: ZANI (2003, p. 88).

não se leva em conta, como pareceria lógico: a que implica atuar com a mediação de sistemas construtivos concretos. Na verdade, existe a prática generalizada – devida mais ao hábito de se atuar assim, que à plena consciência do que se faz – de limitar o projeto ao traçado de algumas linhas, sem outra disciplina que as "ideias" do autor, que vem a ser um testemunho gráfico de suas intenções. Quando o resultado satisfaz as expectativas do desenhista, passa-se a resolver a construção, o que implica a elaboração de complexas pranchas de detalhe, cujo objetivo é demonstrar – além de demonstrar a si próprio – que, apesar das dificuldades e arbitrariedades do projeto, é possível construí-lo, embora com esforço e desperdício de meios e dinheiro.

Tectônica, que deriva de *"joiner"*, carpinteiro ou marceneiro (Figura 2.6), está associada à arte de juntar, ligar ou articular. E "arte" aqui deve ser entendida como envolvendo "tekne", técnica e, portanto, tectônica pode ser entendida como "assemblage" – montagem ou reunião de partes, não apenas em construções, mas também em objetos, na realidade, em trabalhos de arte de maneira geral (FRAMPTON, 1996, p. 4). Um termo relacionado, em português, com "assemblage" é "sambladura" **(**Figura 2.7 / Figura 2.8 / Figura 2.9), que, de acordo com Zani (2003, p. 87), "é a técnica de união de duas ou mais peças de madeira sem a interferência de outros elementos de união como cavilhas ou pregos. Podem ainda ser tratadas por samblagens, emendas, engradamentos ou simplesmente encaixes". Isso nos faz concluir que o tipo de *união tectônica* é mais refinada do que a simples reunião de partes, pois promove encaixe e articulação entre componentes, cujo resultado é artístico, ou seja, envolve a ideia de poesia e está sujeito a um julgamento estético. Ainda, a palavra latina *ars*, de onde surge o termo arte, está enraizada no verbo articular, denotando a ação de fazer junções entre as partes de um todo.

Quanto ao entendimento antigo da palavra tectônica, este refere-se ao ato de construir ou fazer um produto artístico, que depende mais da aplicação correta ou incorreta das regras

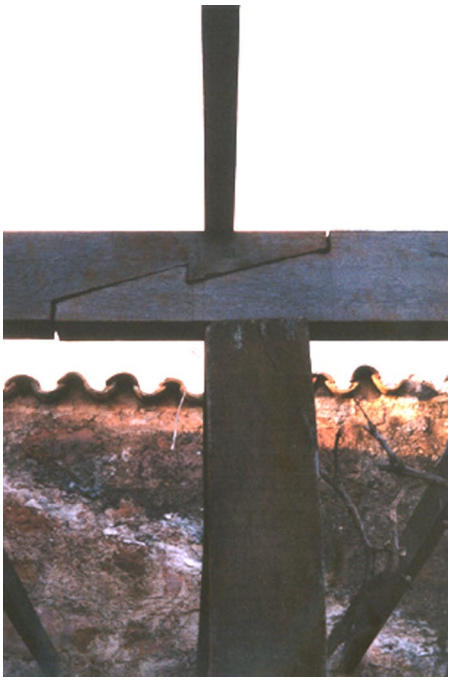
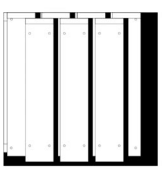


Figura 2.8 – Sambladura em São Miguel das Missões – RS, 2004. FONTE: Fotografia da Autora.

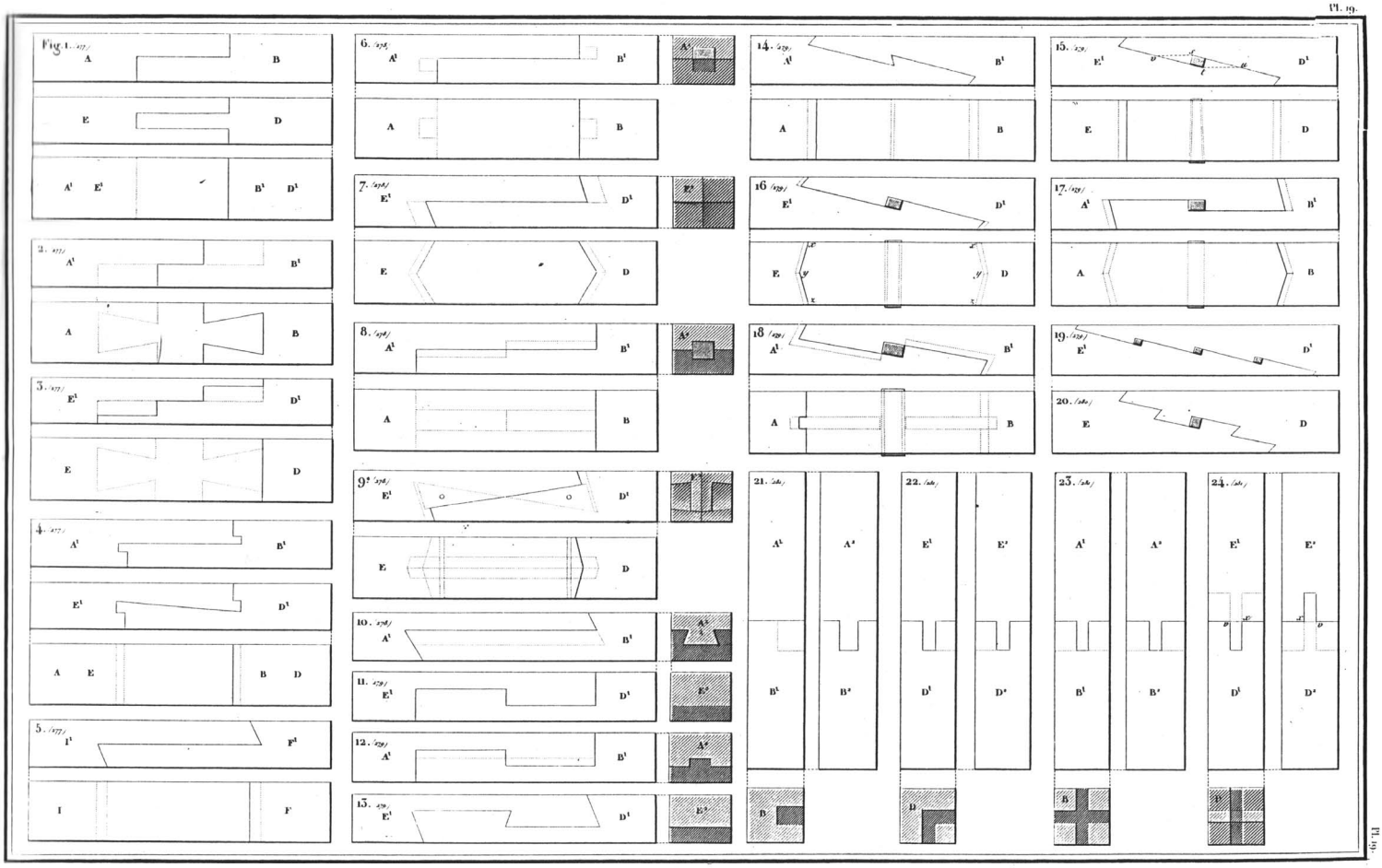


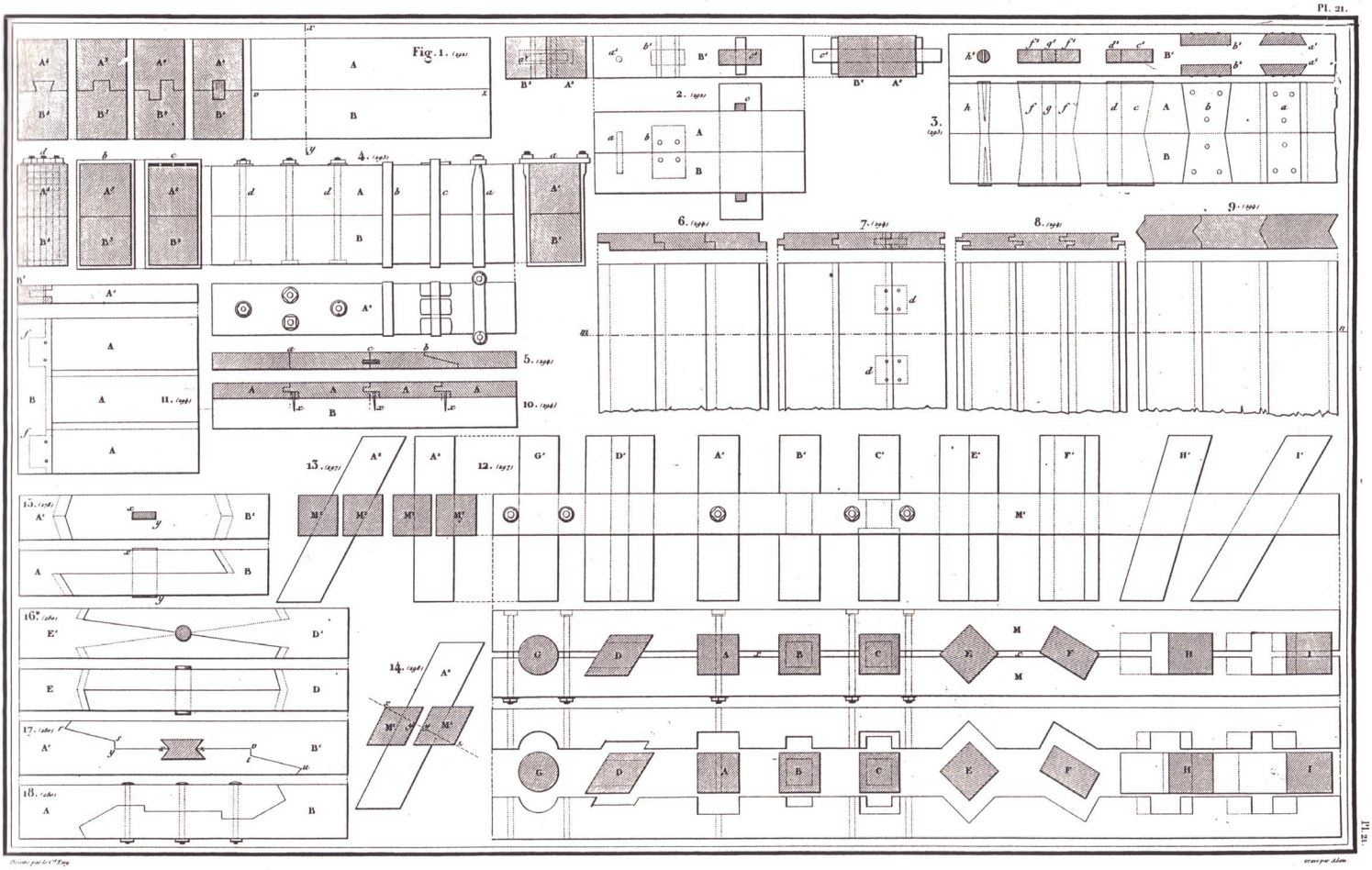
artesanais do que do grau de utilidade obtida. E o entendimento disto faz a tectônica envolver um julgamento artístico. Aqui, talvez, se situe o ponto de partida para a aplicação da ideia na história da arte recente: com uma perspectiva estética – e não com objetivos apenas utilitários. Assim, o trabalho e a produção tectônica são passíveis de um julgamento estético.

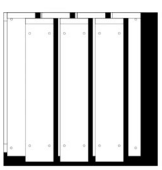
Tectonicidade é, portanto, a condição estruturante do construtivo que vai além da sua eficácia na solução de problemas concretos de projeto. O termo tectônico – etimologicamente, o que se refere à construção – é usado em geologia em referência à estrutura da Terra; isso sugere considerá-lo o aspecto da construção que transcende o seu papel básico de produção material para aludir à dimensão construtiva sobre a qual se baseia a identidade dos artefatos (PIÑÓN, 2006, p. 130).

O uso meramente prático da construção – sem que se enxergue e almeje um mínimo de fundamentação estrutural do objeto – resultou, nas últimas décadas, em construções a-tectônicas, baseadas em um uso artesanal da tecnologia – o que implica uma contradição básica –, cujo objetivo é oferecer uma determinada imagem, desconectada da essência construtiva do artefato. A consequência disso é: objetos inacreditáveis que expressam com afetação o que deveria constituir a sua matéria prima. Neles a disponibilidade do mercado tecnológico consegue anular os valores sobre os quais se baseia o progresso da técnica: o abuso do envidraçamento sem transparência é talvez o exemplo mais flagrante da alienação, que leva repetir determinados clichês, à margem do sentido que se poderia associar a eles. Na realidade, os sistemas de suporte de vidro podem acabar arruinando o propósito de transparência que determina a opção de envidraçar.

Figura 2.9 - Exemplos de sambladuras e encaixes. FONTE: EMY (1985, p. 19-21).









> A tectonicidade é a condição estrutural do construtivo, aquela dimensão da arquitetura na qual a ordem visual e a ordem material confluem em um mesmo critério de ordem, sem chegar jamais a fundir-se, animando a tensão entre forma e construção. A tectonicidade tem mais a ver com a condição construtiva do objeto formado do que com a mera sinceridade construtiva, valor, em todo caso, de caráter moral, porém alheio à arquitetura (PIÑÓN, 2006, p. 130).

O âmbito da tectonicidade consiste nesse substrato essencial do construtivo que tem a ver com a estrutura das coisas; no caso da arquitetura com a constituição íntima dos edifícios, independente da manifestação ou não de suas vicissitudes construtivas. Enquanto a forma é entendida como a manifestação da estrutura organizativa do edifício, a tectonicidade poderia ser considerada a manifestação da estrutura construtiva.



Figura 2.10 - *Farnsworth House* de Mies van der Rohe (1945-50): princípios de tectônica. FONTE: BLASER (1996, p. 118).

Visto que a tectonicidade é uma qualidade da arquitetura e não a expressão de um valor genérico, independente dos seus produtos, só cabe analisá-la caso a caso, não há tectonicidade genérica, vinculada a um estilo ou modo de conceber, mas ela é obtida em cada obra, fazendo a construção material intervir na construção formal do edifício, isto é, conseguindo que a obra contenha em seu fundamento estruturante a qualidade genuína do construído (Figura 2.10). Como a forma, a tectonicidade é um valor vinculado ao juízo subjetivo, relacionado à concepção do edifício e identificável pelo olhar.

Nas últimas décadas do século XX, proliferou-se o recurso à técnica como pretexto expressivo, com obras em que imediatamente os detalhes técnicos mais aparatosos são exibidos. Os procedimentos técnicos transformaram-se em material narrativo o que, na realidade, teria que ser a condição sistemática da concepção, cuja presença deveria limitar-se ao seu papel estimulante e, ao mesmo tempo, disciplinador.

É o que acontece quando estudantes e profissionais de arquitetura se enveredam pelos aparatos dos ditos projetos sustentáveis e, inexplicavelmente, os equipamentos e condicionantes de projetos transformam-se no próprio projeto, ou na questão mais importante do projeto, sem, no entanto, "resolver" a arquitetura em suas questões mais elementares. Os edifícios almejam ganhar uma "eficiência energética" ou a dita "sustentabilidade", no entanto, não se pode circular adequadamente pelos ambientes, ou a qualidade visual dos espaços e elementos simplesmente inexiste, o que os torna a-tectônicos em essência. Não há o que possa alterar isso *a posteriori*, a tectônica está no DNA de um edifício, não existe reforma ou decoração que altere esta condição primordial do construído.

Assim, portanto, se, por um lado, arquitetura não é coisa suplementar usada para enriquecer mais ou menos o edifício, por outro, não é tampouco a simples satisfação de imposições de ordem técnica e funcional. Fruto de intuição instantânea ou de procura paciente, para que seja verdadeiramente arquitetura é preciso que, além de satisfazer rigorosamente – e só assim – a tais imperativos, uma intenção de outra ordem e mais alta acompanhe *pari passu* o trabalho de criação em todas as suas fases. Não se trata de sobrepor à precisão de uma obra tecnicamente perfeita a dose julgada conveniente de gosto artístico – aquela intenção deve estar sempre presente desde o início, selecionando, nos menores detalhes, entre duas e três soluções possíveis e tecnicamente corretas, aquela que não desafine, antes pelo contrário, contribua com a sua parcela mínima, para a intensidade expressiva da obra total (COSTA, 1980, p. 5-8).

Não se trata, portanto, de subordinar ao sistema construtivo a configuração e a aparência do edifício, senão de controlar a tensão que relaciona o "como se constrói" com o "como se vê". Não existe, no que se propõe para a concepção de uma arquitetura atual, mais a necessidade das "hipérboles" como as observadas, por exemplo, no Centro Pompidou em Paris (Figura 2.11). Colocar as entranhas (todo o sistema elétrico, hidráulico, etc.) para fora e

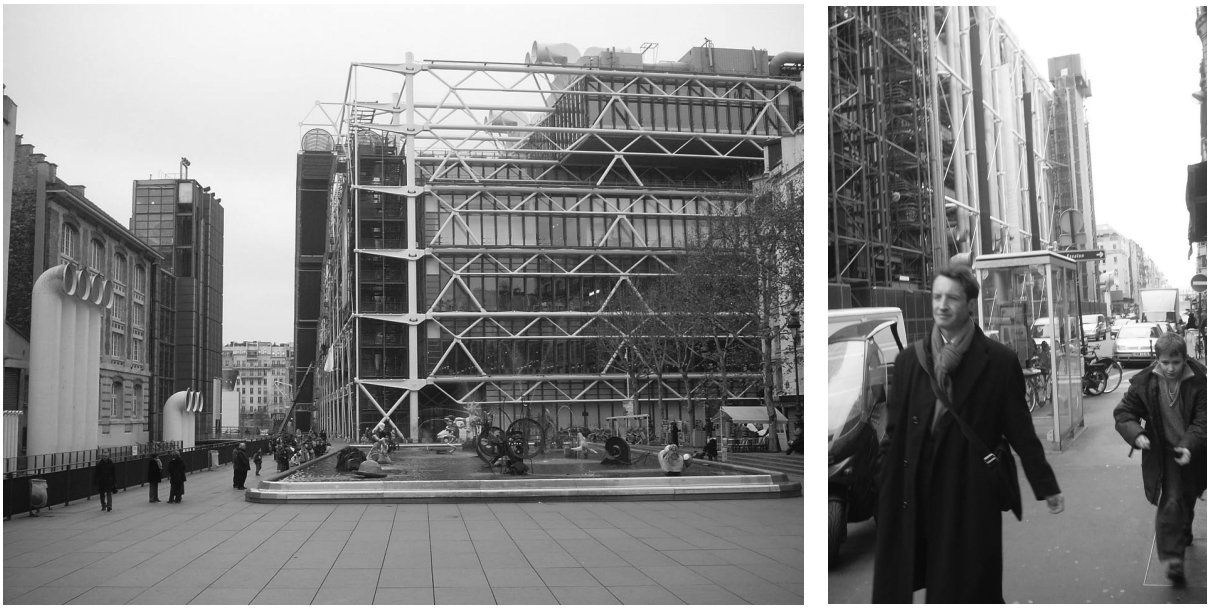


Figura 2.11 - Centro Pompidou em Paris, 2004. FONTE: Fotografias da Autora.





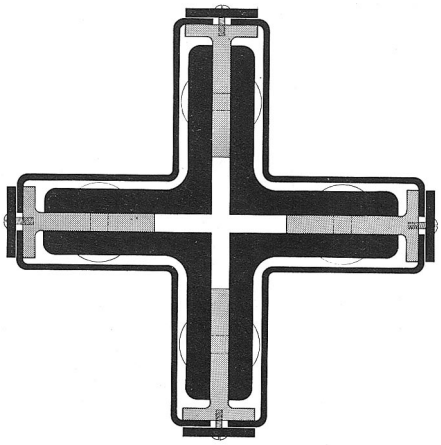




Figura 2.12 - Pavilhão de Barcelona. Detalhe da junta seca entre o pilar cruciforme e o mármore do piso. FONTE: Fotografias da Autora, 2004.



Figura 2.13 - Pilares de aço em forma de cruz sustentando a cobertura plana de 64,80 x 64,80 metros da *Neue Nationalgalerie* em Berlim, Mies van der Rohe, 1962-65. FONTE: BLASER (1996, p. 120).

explicitar todo o sistema construtivo, acentuando-lhes o valor... Todo o conjunto arquitetônico de um lugar, de uma cidade, seria por demais aborrecido se assim o fosse concebido, o excesso de elementos cansaria a todos e a vitalidade dos espaços seria desperdiçada a favor de uma retórica vazia.

Ao invés disso, Piñón (2006, p. 132) enfatiza que a estrutura material será a pauta sobre a qual a ação do projetista tenta revelar uma estrutura visual, de caráter mais geral que, contendo-a, não se reduza às determinações da sua lógica. A arquitetura de Mies van der Rohe (Figura 2.12 e Figura 2.13) transcende de maneira exemplar os elementos metálicos industriais que utiliza para construir: os perfis laminados concretos parecem nessas obras integrados em estruturas visuais mais complexas que, sem negá-los, anulam suas identidades originais e os incorporam a universos cuja consistência vai além da identidade do material construtivo. Outro exemplo são as construções japonesas de madeira (Figura 2.14 / Figura 2.15 / Figuras 2.16 / Figura 2.17). A

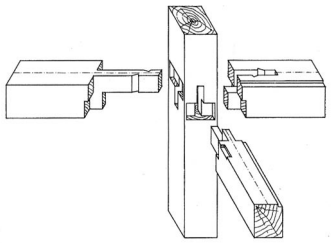


Figura 2.14 - No Japão a qualidade da carpintaria tradicional é muito elevada, onde se destaca a elaboração de sistemas de união sofisticados sem recorrer ao emprego de ferragens (pregos ou parafusos). FONTE: **Revista Tectônica 13:** monografias de arquitetura, tecnologia y construcción. Madera (II), jul. 2001, p. 6.

madeira está ali em toda a sua expressão, no entanto, a estrutura espacial transcende à essência dos materiais e arranjos construtivos, sem negá-los, mas, pelo contrário, conferindo-lhes maior vitalidade.

> Não se pode conceber à margem de um sistema construtivo: o arquiteto ordena materiais concretos, não linhas que são uma simples declaração de intenções. A idéia do projeto como mera expressão gráfica de um desejo, sem a tensão positiva que a construção material introduz necessariamente na construção da forma, propicia uma arquitetura cuja falta de identidade formal é agravada por uma a-tectonicidade congênita (PIÑÓN, 2006, p. 132).

Esse é um dos maiores problemas observados atualmente nas escolas de arquitetura: os alunos desenham duas linhas sobre o papel e quando questionados respondem: “isso é uma parede”. Sim, mas qual é o material construtivo? E o aluno para espantado, pensa por alguns instantes e responde: “Alvenaria” ou “madeira” ou “papel”, e o que é espantoso é que este aluno tenha desenhado uma parede que encerra um espaço, dentro de um contexto maior, de uma edificação, sem pensar em sua materialidade! Isso não é um problema específico de algumas escolas de arquitetura e sim um problema que se repete em praticamente todas as escolas, que reflete, não uma deficiência de aprendizagem das novas gerações de estudantes de arquitetura, senão um problema das gerações de arquitetos que ensinam a conceber algo absolutamente material, a arquitetura, desprovida de materialidade em sua origem, o projeto. Segundo Moura *et al.* (2006, p. 6), “o mais importante é criar uma ligação entre o desenho e a construção do objeto”[9].

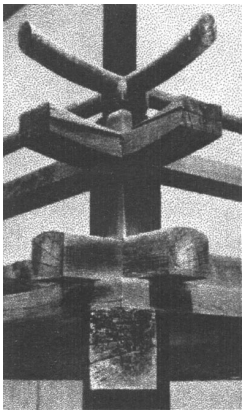


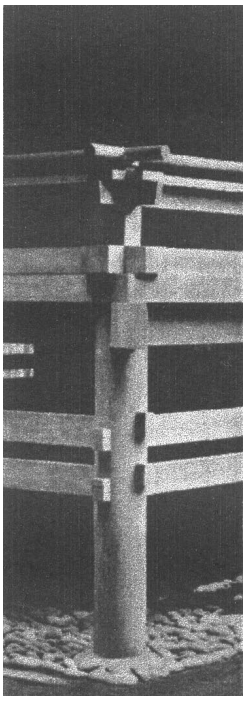
Figura 2.15 - Palácio Katsura, século XVII. Kyoto, Japão. FONTE: **Revista Tectônica 13:** monografias de arquitetura, tecnologia y construcción. Madera (II), jul. 2001, p. 2.

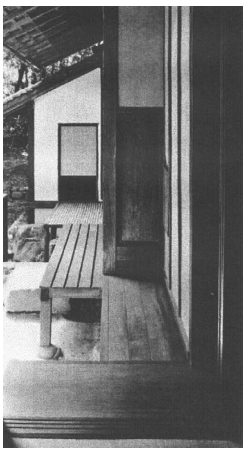
A ideia do “detalhe construtivo” adquire um sentido novo, desde a perspectiva proposta por Piñón (2006, p. 132) de solução técnica de um pormenor, ela passa a constituir o núcleo sistemático do edifício: na realidade, trata-se da síntese de um sistema com poucas relações técnicas e

[9] “[…] the most important is create a link between drawing and the construction of the object” Moura *et al.* (2006 p. 6).

visuais, dotadas de uma condição essencial que as capacita para dar conta da totalidade. Nessas condições, o projeto atua sobre a matéria, não sobre a ilusão, e o olhar encontra matéria em que deter-se, não só a sombra fugaz e volátil de uma intenção. O contraponto desta tese em relação à ideia de Piñón é o de que não o detalhe em si, mas o detalhe, como consequência de um sistema maior, é o que poderá constituir o núcleo sistemático não de um edifício, mas de um pensamento de projeto apto a estabelecer soluções para os projetos da atualidade. Esta ideia será desenvolvida nos itens seguintes.







2.3.2 Material de construção e material de projeto

A prática arquitetônica inclui experiências com todos os tipos de tecnologias e materiais de construção. Alguns projetos se caracterizam principalmente pela expressão que o processo construtivo e a estrutura dão ao edifício. Com relação à madeira, como qualquer material, a preocupação deste estudo é com a racionalização e a industrialização da construção.

Alem disso, é preciso lembrar que mesmo em obras onde predomina o uso da madeira, há o uso de peças de aço como conectores e tirantes nas estruturas, bem como de concreto armado (componente mineral) nas fundações e pilares principais de suporte, e, em alguns exemplos, nas lajes de piso. Podemos recorrer à imagem das rodas de carroças ou aos barris de vinho para lembrar como a associação entre aço e madeira, por exemplo, é eficiente.

Ou seja, todos os materiais em princípio são bons, quando usados no lugar certo, desempenhando um papel compatível com suas características: concreto armado para a compressão; aço para tração; madeira para a flexo-compressão. O entendimento do comportamento dos materiais, de suas características e aptidões são fundamentais para que se alcance a tectônica na arquitetura.



Figuras 2.16 - Guarnições de madeira da porta do Templo Tôshôdai-ji em Nara. FONTE: BLASER (1996, p. 121).

Figura 2.17 - Detalhes da carpintaria japonesa. Na tradição japonesa o carpinteiro devia cumprir uma dupla função: por uma lado arcar com uma dívida adquirida com a natureza por explorá-la e, por outro, devia cumprir um serviço público ante a sociedade. FONTE: NORMAN (1955).

> Deixa a caverna, decidido a compensar com sua indústria as omissões e os descuidos da Natureza. O homem quer uma moradia que o abrigue, não que o enterre. Alguns ramos sem galhos que encontra no bosque servem para seus fins. Escolhe os mais fortes e os coloca perpendicularmente ao solo para formar um quadrado. Sobre estes quatro, apóia outros quatro, transversais; sobre estes coloca, em ambos os lados, outros ramos inclinados, de modo que alcancem um ponto no centro. Cobre essa espécie de telhado com folhas bastante espessas para protegê-lo do sol e da chuva; agora o homem está alojado. Certamente o frio e o calor farão sentir seus excessos nessa casa, aberta por todos os lados; mas depois ele preencherá os espaços intermediários com colunas e assim se julgará seguro
>
> Marc-Antoine Laugier, 1753

A pequena choça descrita por Laugier (Figura 2.18 / Figura 2.19) é um modelo sobre o qual se elaboram praticamente todas as grandiosidades da arquitetura. As peças verticais de madeira sugerem a ideia de colunas, as horizontais, que se apoiam sobre elas, são as vigas. E, finalmente, os elementos inclinados constituem o telhado. Portanto, os elementos essenciais da arquitetura são a coluna, a arquitrave e o frontão, capazes de cumprir suas funções estruturais de origem. Através da aplicação desse princípio, é fácil distinguir as partes que são componentes essenciais de uma ordem arquitetônica, daqueles que foram introduzidos por necessidade ou capricho. E, ao optar por uma morada que o abrigue, não que o enterre, traz à tona a ideia de permeabilidade segura ao invés de encerramento opressor, consequentemente não podemos deixar de pensar em graus de maior e menor contato com o mundo externo, ligados a materiais mais ou menos densos, opacos ou transparentes, pesados ou leves.

A maioria dos tratadistas dos séculos XVII, XVIII e XIX desenvolveram o tema da cabana primitiva, ao estabelecer as origens da arquitetura, dentre os quais podemos citar Claude Perrault, Jacques François Blondel, William Chambers, J. N. L Durand e Gottfried Semper[10]. Este último publicou, em 1851, “Quatro Elementos de Arquitetura”, indiretamente desafiando o esquema da cabana primitiva proposto por Abbé Laugier, em “Ensaio sobre a Arquitetura”, de 1753. A morada primitiva proposta por Semper seria dividida em 4 elementos (FRAMPTON, 1996, p. 5):

(1) *the earthwork* – que pode ser entendido como o trabalho de “terra” ou pedra, massa, peso ou fortificação;

(2) *the heart* – o coração;

(3) *the framework/roof* – que pode ser entendido como o trabalho de madeiramento, entramado, ligeireza, estrutura e telhado.

(4) *the ligtweight enclosing membrane* – uma leve membrana de fechamento.

[10] MIGUEL, Jorge Marão Carnielo. **Casa e lar. A essência da arquitetura.** Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp156.asp>. Acesso em: 07/07/2009.



Figura 2.18 - A cabana primitiva. Frontispício do livro *Essai sur l'architecture* de Abbé Laugier, 2. ed., 1755. FONTE: FRAMPTON (1996, p. 31).



Figura 2.19 - A cabana, do *Livre des coutumes*, Amsterdam *chez Phoebus ha-Levi*, 1662. Acervo Museu da Arte e da História do Judaísmo, Paris. FONTE: **L' Architecture d'aujourd'hui**, n. 328, jun. 2000, p. 48.

E na base desta taxonomia, Semper classificou o ofício de construir em dois métodos fundamentais: a tectônica (de armação), na qual leves componentes lineares são unidos para formar uma matriz espacial (Figura 2.20) e a estereotônica (de fortificação), onde massa e volume são formados conjuntamente, através do empilhamento de elementos pesados, como blocos de pedra ou tijolos maciços (Figura 2.21).

Esta distinção entre leve e pesada reflete uma diferenciação clara em termos de produção material: a construção de madeira mostra uma afinidade por seus elementos lineares e articulados, gerando matrizes espaciais; e a construção com alvenaria de pedras ou tijolos mostra seus elementos comprimidos, gerando objetos monolíticos. Dentro de uma mesma obra de arquitetura ambas estão presentes, e o equilíbrio entre tectônica e estereotônica (leve e pesada) varia de acordo com o clima e os materiais disponíveis em cada região, desde uma condição em que a parte pesada predomina – numa casa onde paredes, pisos e tetos são construídos com alvenaria de pedras –, até uma condição em que a parte pesada é reduzida a pontos de fundação – como nas bases de pedra da casa tradicional japonesa.

Os entramados leves sugerem afinidade com a imaterialidade do céu, da mesma maneira que a massa demonstra propensão de dissolver-se em sua própria

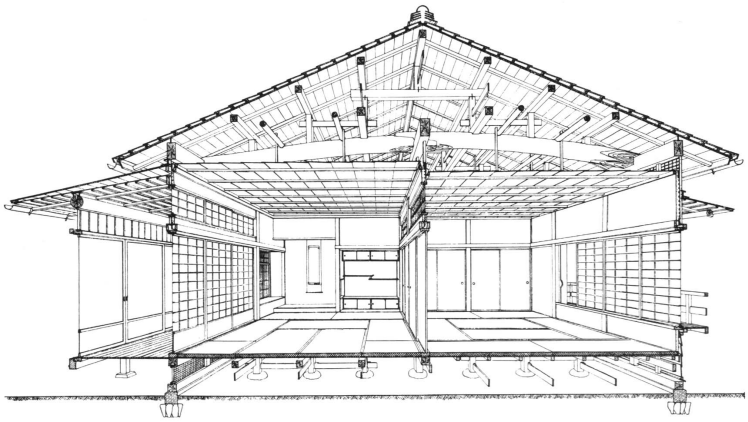


Figura 2.20 – Casa tradicional japonesa de um andar. Fonte: FRAMPTON (1996, p.6).

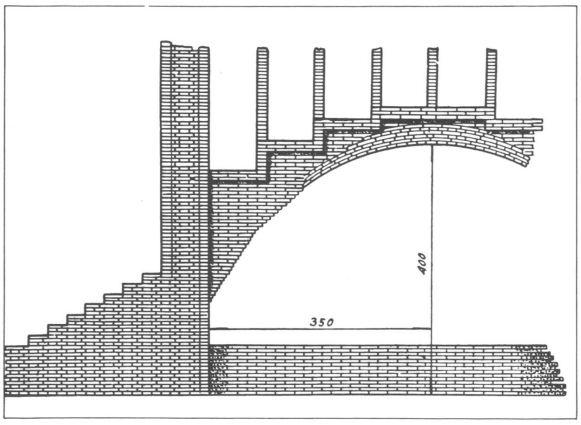


Figura 2.21 – Antoni Gaudi, Casa Vicens, Barcelona. Fonte: FRAMPTON (1996, p.7).

substância, como numa construção de tijolos em que as paredes tendem a se fundir com a terra quando estão em ruínas. Por outro lado, a madeira é igualmente efêmera quando exposta ao tempo. O mundo arcaico japonês foi simbolicamente estruturado através de materiais tectônicos efêmeros, as estruturas de madeira estão sempre sujeitas a reconstruções cíclicas, previstas antecipadamente, como em alguns templos que tem as peças estruturais substituídas de 30 em 30 anos, por exemplo, e isto é tido como natural, a natureza se renova, a vida está sujeita a mudanças constantes, não há razão para separar a arquitetura da vida e desse ritmo natural de renovação. Formas metalinguísticas e ritmos espaço-temporais são inerentes ao ato de construir japonês.

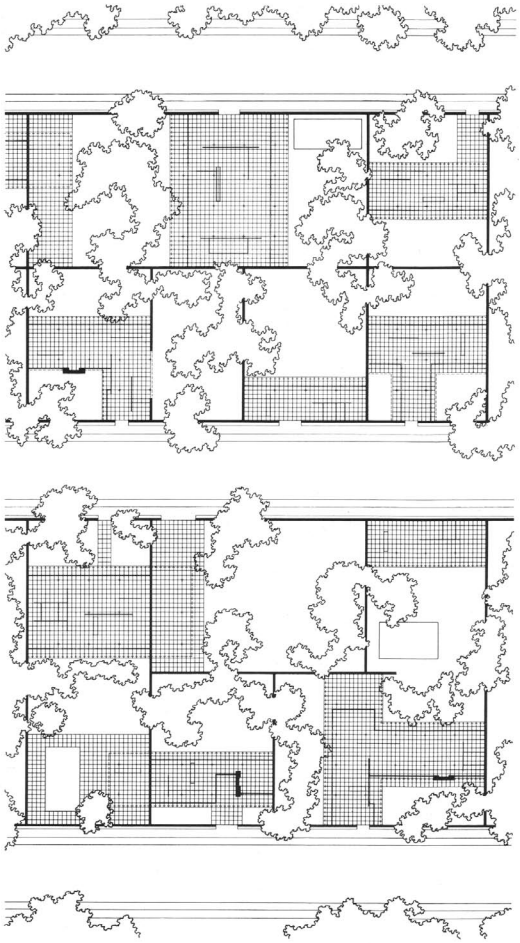
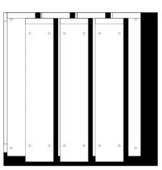


Figura 2.22 - Mies van der Rohe: detalhe da planta das casas-pátio com rota de acesso. FONTE: BLASER (1996, p. 37).

Espaço e tempo são condições naturais para a existência humana. Ambos representam necessidades humanas elementares: abrigo e permanência. A obra de Mies van der Rohe, traz para o século XX uma estrutura (BLASER, 1996, p. 37) análoga à arquitetura da China Antiga, sobre a qual a biblioteca do arquiteto continha alguns volumes. O interesse de Mies pelas casas-pátio (Figura 2.22 / Figura 2.23 / Figura 2.24 / Figura 2.25) é um exemplo desta relação: o pátio estabelece uma ligação com o exterior, mas, uma vez que é definido por limites claros dos muros que o encerra, é, portanto, concomitantemente abrigo, está ao abrigo dos olhares externos e, ao mesmo tempo em que protege seu usuário, o faz pensar sobre o que está além dos muros. A ideia da China Antiga de continuidade e integração entre espaço interno e externo – onde são tênues os limites entre fora e dentro –, sendo, às vezes, difícil precisar "*onde o jardim termina, e onde a casa começa*", foi considerada por Mies, em 1928, quando definiu entre as funções de um arquiteto mediar a relação entre arquitetura e natureza, sendo este um dos pontos de seu programa: formular a sensível relação "[...] *de dentro para fora e de fora para dentro*" (BLASER, 1996, p.



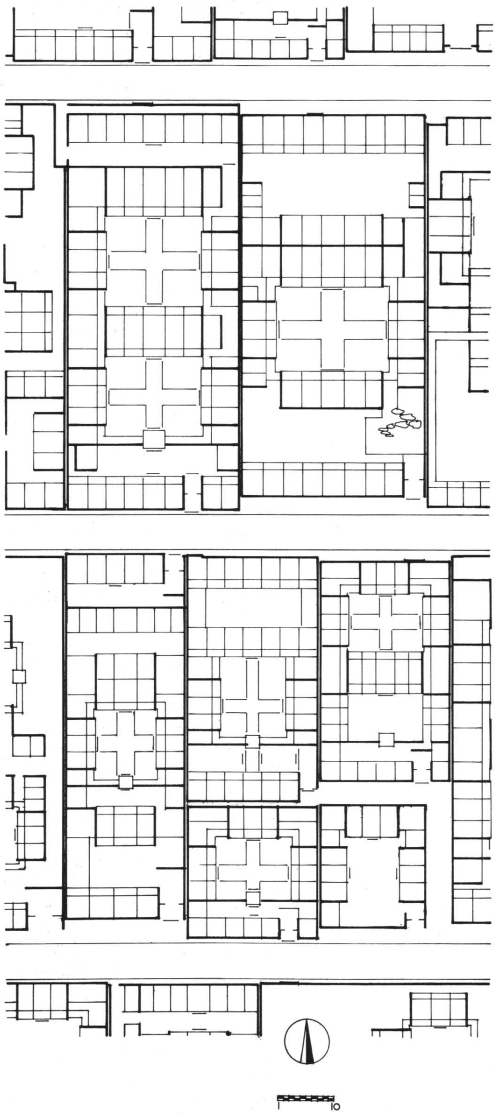
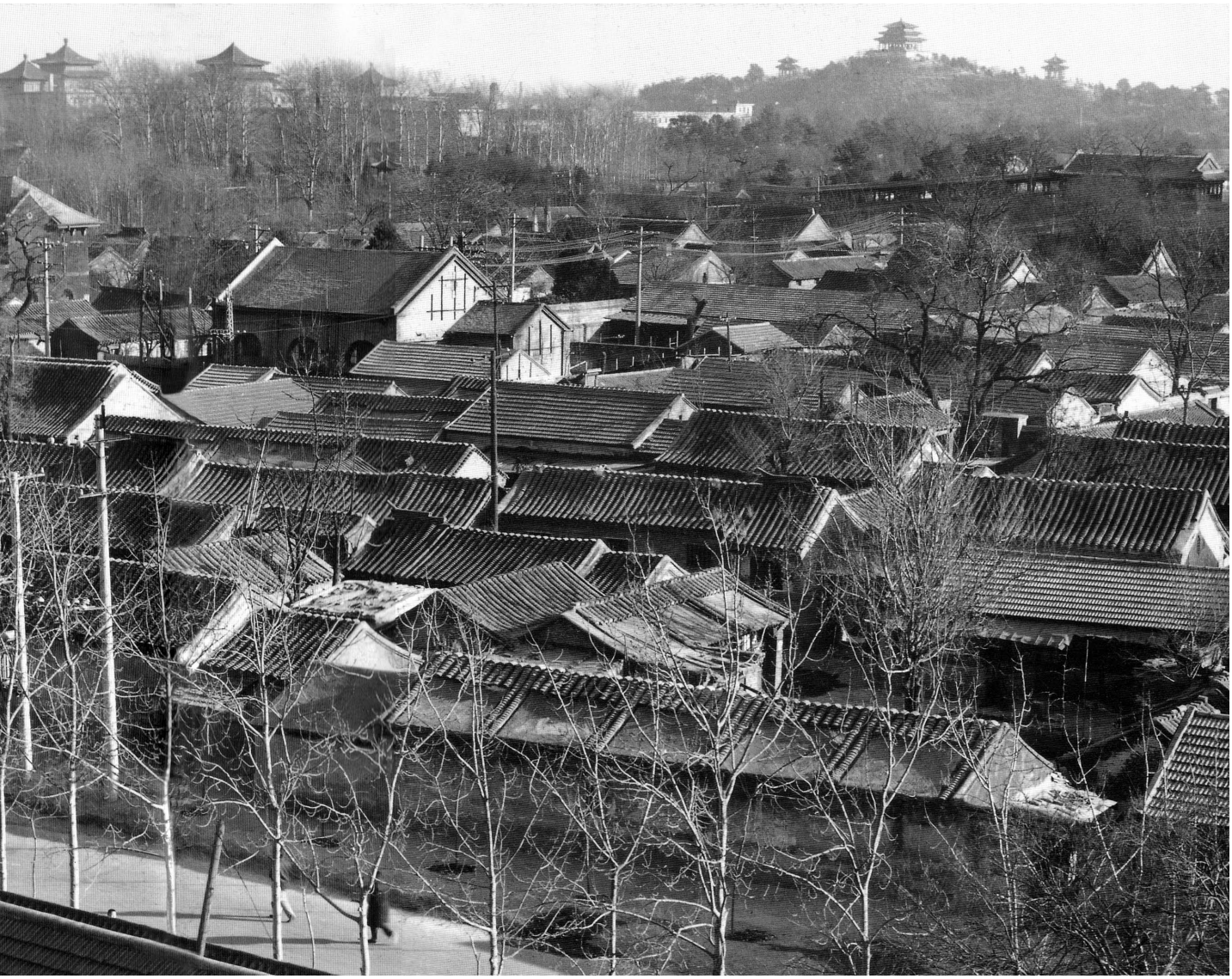


Figura 2.23 - Esquema de um tradicional *Hu t'ung*, conjunto de casas-pátio em Pequim, muradas por todos os lados. FONTE: BLASER (1996, p. 37).



Figura 2.24 - Complexos residenciais de casas-pátio para famílias chinesas em Pequim. FONTE: BLASER (1996, p. 38-39).



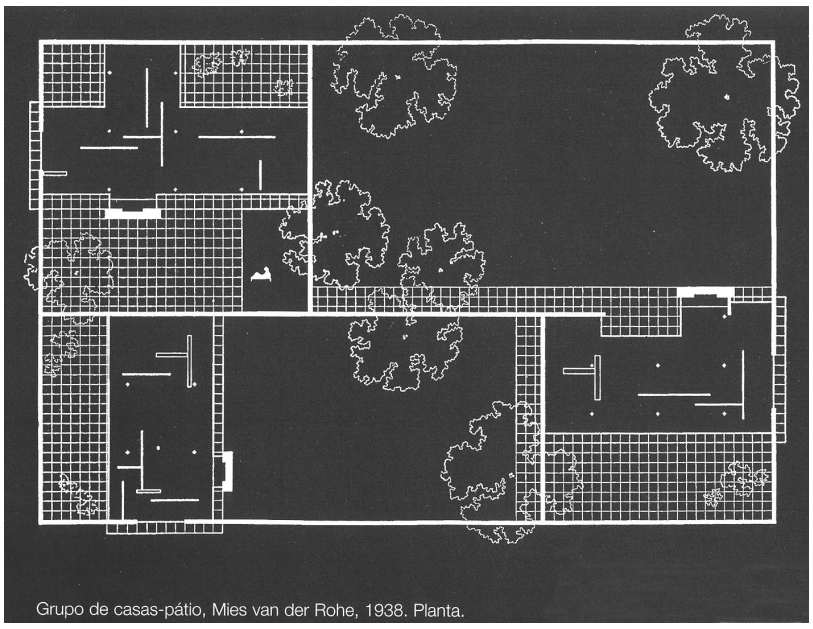


Figura 2.25 - Grupo de casas-pátio de Mies van der Rohe, 1938. FONTE: ÁBALOS (2003).



Figura 2.26 - Pavilhão de Barcelona.
FONTE: BLASER (1996, p. 102).

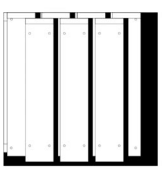
8). Ao compararmos duas imagens (Figura 2.26 / Figura 2.27), percebemos que existe uma mesma estrutura em ambas: pilares delgados sustentam o peso do plano de cobertura, que tem o seu correspondente no plano do piso, e são eles que demarcam os limites entre fora e dentro, uma vez que demarcam o que é espaço interno. Os planos verticais das paredes, ao invés de encerrarem um espaço, servem para aumentar a dramaticidade da perspectiva, dirigindo o olhar



Figura 2.27 - Fluida transparência do interior de um templo Zen Budista (Kôtô-in in the Daitoku-ji, Kyôto). FONTE: BLASER (1996, p. 113).

para pontos estratégicos. A obra é predominante seca, e as juntas entre os materiais são linhas ativas, tão dramáticas quanto os planos. A tensão entre o como se constrói e o como se vê seria quase didática, não fosse absolutamente prosaica.

As paredes, uma vez destituídas de sua função estrutural, transformam-se em planos ou painéis deslizantes, com a possibilidade de separar e garantir privacidade ou



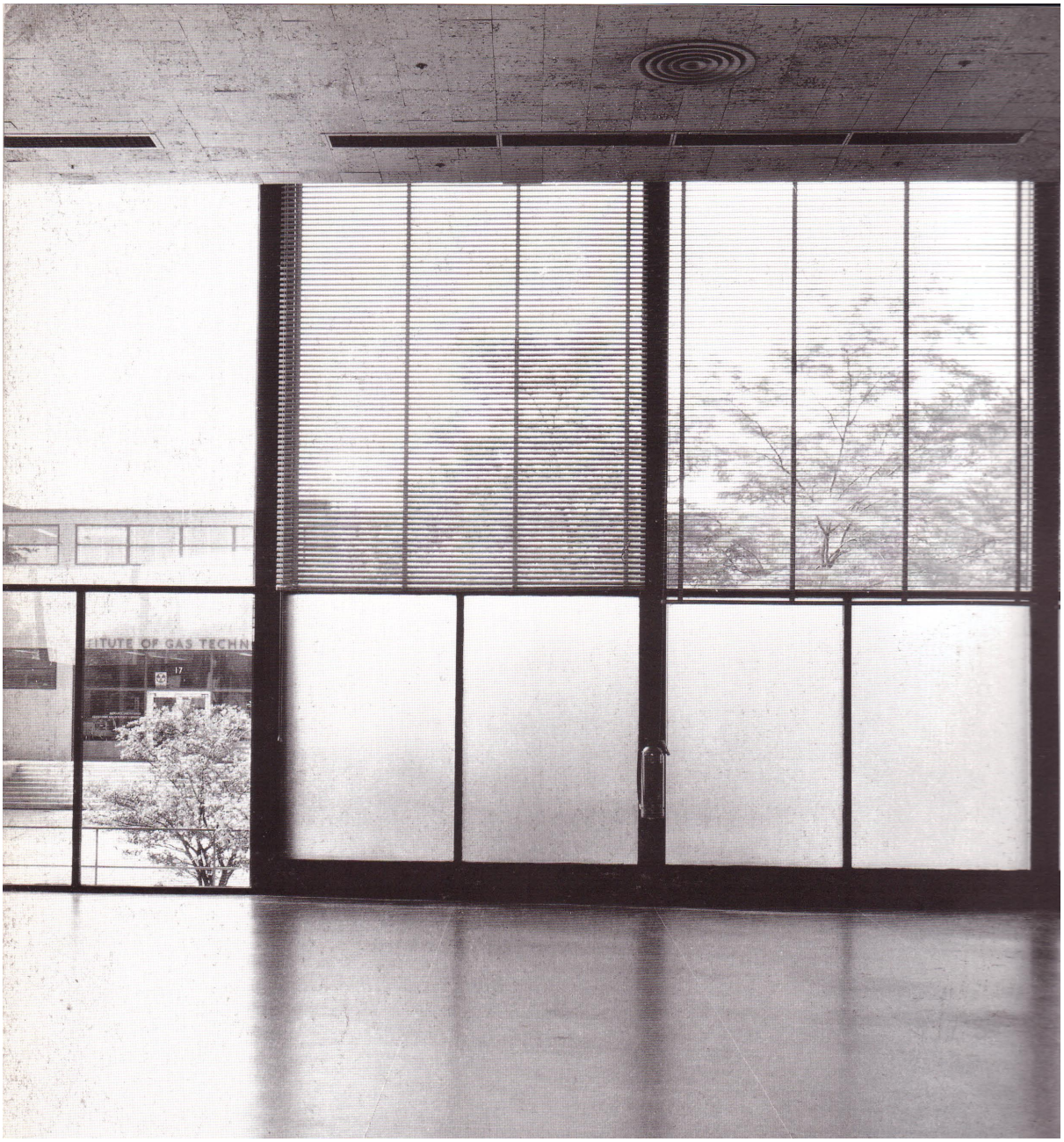


Figura 2.28 - “Inside is outside is inside”: Crown Hall at the IIT in Chicago; Mies van der Rohe (1952-56). FONTE: BLASER (1996, p.114).

unificar o espaço. Em casos extremos, a demarcação espacial, é sugerida pelas paredes translúcidas de papel de arroz do Japão, e que no século XX foram construídas com aço e vidro (Figura 2.28 / Figura 2.29). Coexistem diferentes graus de opacidade e transparência, muitas vezes as superfícies translúcidas são capazes de transformar o ambiente, uma vez que não mostram, apenas insinuam, são sedutoras “lanternas do dia” trazendo a luz de fora para dentro de forma difusa. Os



Figura 2.29 - “From exterior to interior” in the architectural and human sense: Ryôko-in Daituku-ji Temple district in Kyoto, with abbot Kobori Sohaku. FONTE: BLASER (1996, p. 115).

montantes e pilares trabalham no limite dos materiais, não há lugar para os desperdícios, nada sobra e nada falta.

Ao mencionar conjuntamente e correlacionar as noções de *matéria* e *forma*, se costuma assumir – ainda que implicitamente – o propósito de referir-se à totalidade das coisas: de fato, qualquer entidade física está constituída por uma matéria que adquire identidade pela ação de uma forma específica. A pouca importância que se dá à forma –



Figura 2.30 - O pavilhão na natureza intocada: Farnsworth House, Mies van der Rohe. FONTE: BLASER (1996, p. 124**).**

pelo menos em nossa cultura, a ocidental – propicia que se considere comumente a matéria – ou a substância – como o aspecto essencial das coisas. O “substancial” equivale a “o mais importante” na linguagem coloquial.

Mies van der Rohe, por exemplo, recusava-se a reconhecer os problemas da forma, reconhecia apenas os problemas da construção. A decisão, por exemplo, de elevar a *Farnsworth House* a pouco mais de um metro do solo não se tratou de um capricho estético e sim da resposta a uma



Figura 2.31 - O pavilhão na natureza planejada: pavilhão de cerimônia do chá em Sayhô-ji (“Moss Garden”) in Kyôto, cerca de 1.340 depois de Cristo. FONTE: BLASER (1996, p. 125).

prerrogativa de projeto, nascida de uma necessidade real, uma vez que a área em que foi construída é sujeita a alagamentos (Figura 2.30**).** De maneira análoga, uma casa japonesa é elevada do solo por questões pragmáticas, uma base de pedra evita que a madeira dos pilares e das paredes apodreça e as águas das chuvas são consideradas e drenadas (Figura 2.31). A forma não era o objetivo do trabalho de Mies, apenas o resultado, e o resultado de suas obras é a tectônica expressa pela natureza dos materiais, pela expressão normativa e por

um impulso de standartização dos componentes. E, ao mesmo tempo, gerando uma estrutura visual mais complexa, poética e paradoxal.

> A arquitetura incorpora ao artefato em que se materializa uma série de valores que dão sentido histórico e cultural à técnica construtiva. Deste modo, embora a construção – como processo de realização material – conte com materiais físicos e técnicas de produção, a obra – como resultado de uma prática artística – conta com materiais arquitetônicos e critérios de formação (PIÑÓN, 2006, p. 133).

Por isso, não há como refletir unicamente sobre a utilização da madeira na arquitetura como técnica construtiva, há que se haver, na realidade, com a reflexão sobre os sistemas de convicções que animam a arquitetura de nosso tempo e dar o devido peso ao componente tecnológico, sem incorrer no erro de dar-lhe um peso demasiado grande ou desarticulado do todo projetual e material.

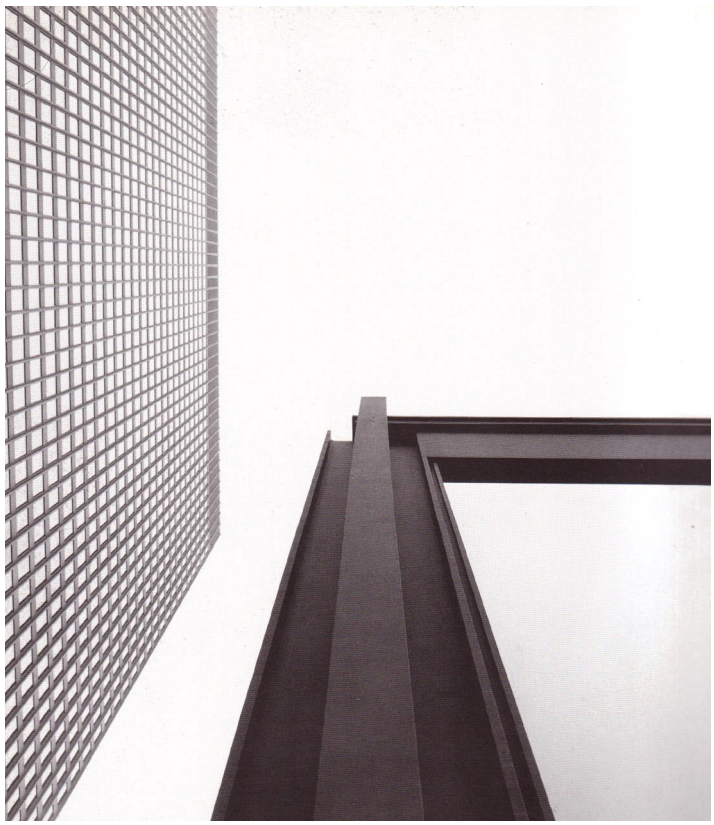
> É tão aberrante a idealização do artefato, convertendo-o em um mero reflexo do conceito que o anima, como a *coisificação* da sua natureza, que implica ver nele a pura materialidade de sua constituição. Uma obra de arquitetura adquire um sentido no âmbito dos – ou frente aos – sistemas de convicções dos quais emerge que não pode ser reduzido à mera consistência material da sua constituição (PIÑÓN, 2006, p. 134).

A convicção de que a criação não reside tanto na invenção de novas melodias como no estabelecimento de novos sistemas que as reelaborem e desenvolvam fez com que, desde a antiguidade, os músicos se servissem *de materiais* da música como matéria prima das suas composições.

Em um ensaio de 1973 intitulado *"Structure, Construction, and Tectonics"*, Eduard Sekler (FRAMPTON, 1996, p. 20) definiu a tectônica como uma certa expressividade resultante da resistência estática da forma construída, de maneira tal que a expressão resultante não fosse mensurada apenas em termos de estrutura e construção. E, para exemplificar como combinações similares de estrutura e construção poderiam gerar uma variação em expressão, utilizou vários detalhes de cantos ou esquinas que apareciam no trabalho americano de Mies van der Rohe (Figura 2.32). E, em mais um ponto podemos encontrar relação entre o trabalho de Mies e a arquitetura oriental, a mesma expressão tectônica de um canto **(**Figura 2.33) de aço pode ser admirada em uma estrutura de madeira (Figura 2.34), o que prova que expressão tectônica transcende ao material empregado e está diretamente relacionada ao arranjo e articulação entre as partes.

Castelnou (2008)[11] adverte que, segundo alguns psicólogos, entre os quais Robert M. Cagné, criatividade é a "capacidade humana de reorganizar, de modo original e inventivo, saberes e informações já previamente conhecidos e que fazem parte do nosso campo de

[11] CASTELNOU, Antônio. E-mail dirigido aos professores e alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR, sobre as normas para apresentação do Trabalho Final de Graduação. Curitiba, UFPR, 2008.



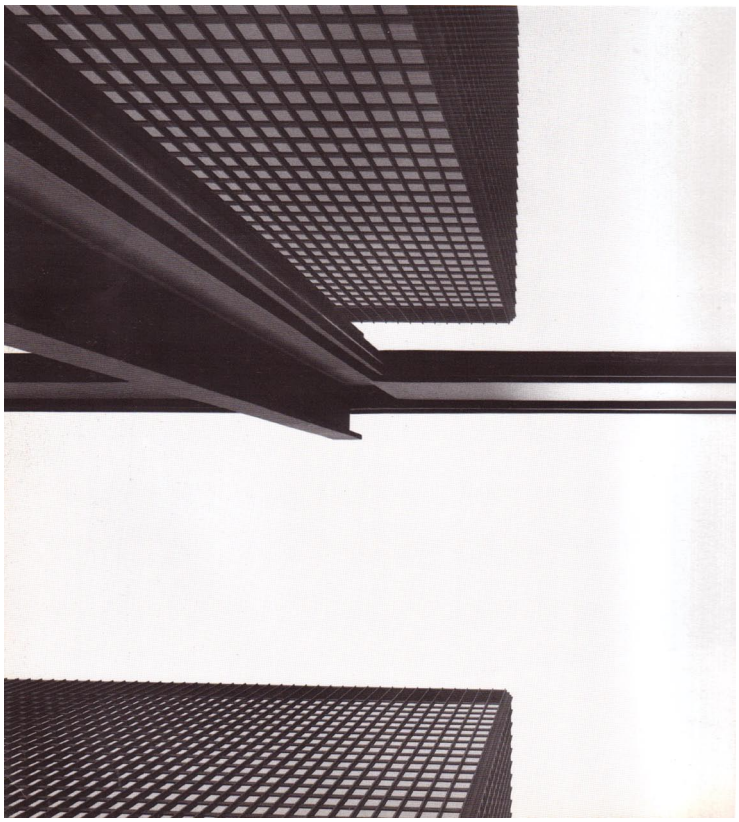


Figura 2.32 - Mies van der Rohe: tectônica das fachadas de aço. Federal Centre in Chicago (1959-73). FONTE: BLASER (1996, p. 84-85).

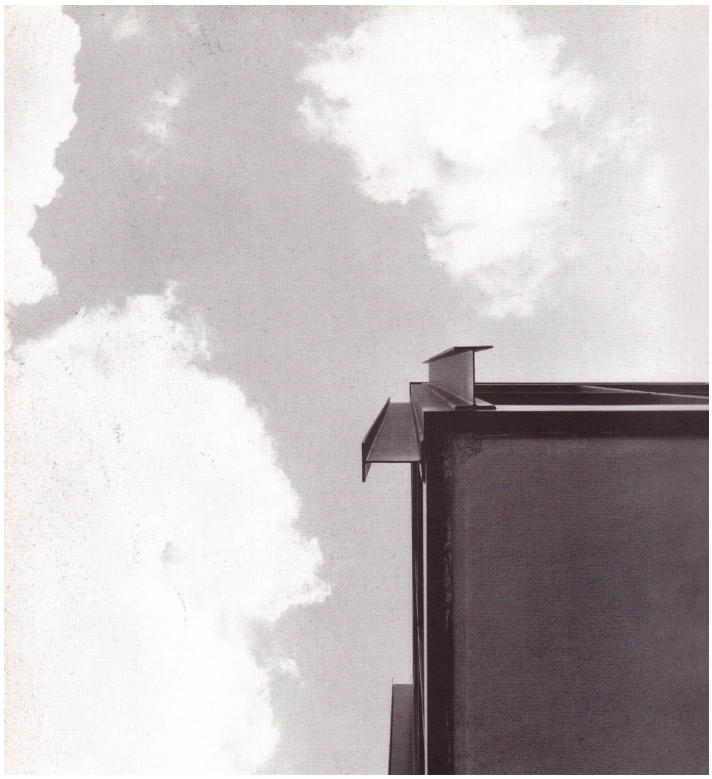


Figura 2.33 - Mies van der Rohe, pilares em perfil duplo I, no Houston Museum of Fine Arts (1954-58). FONTE: BLASER (1996, p. 74).

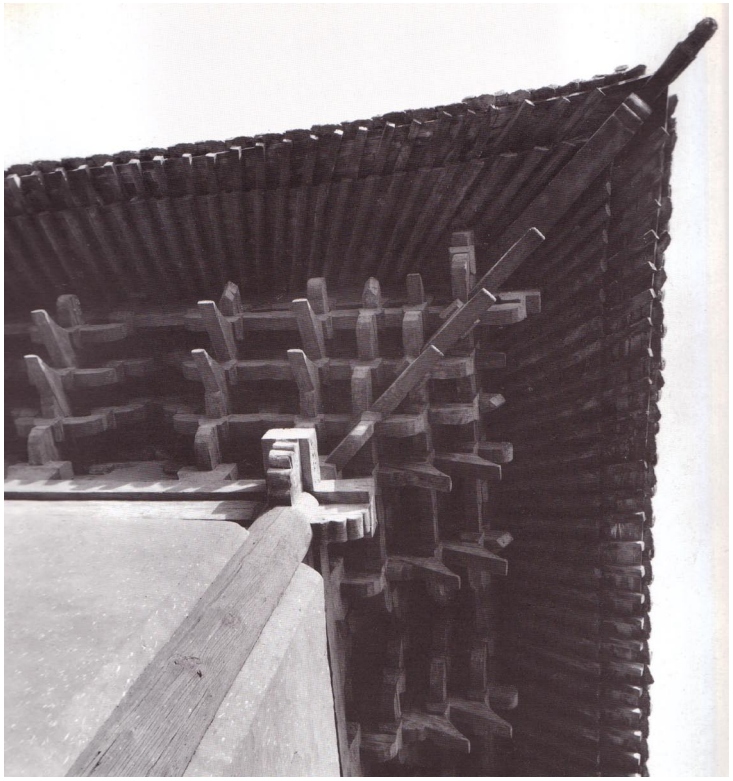


Figura 2.34 - A estrutura do pilar e do corbel (madeira) no Templo Shan-hua-si em Datong. FONTE: BLASER (1996, p. 87).

consciência (repertório)". Ser um arquiteto (verdadeiramente) criativo é inovar dentro de regras pré-estabelecidas e não fazer o que quiser e (supostamente) sem limites. Normas não cerceiam a criatividade dos arquitetos, mas sim a provocam, potencializando-a. Este é o desafio de nossa profissão, o qual, inclusive, a distingue de outras artes!

A impossibilidade de separar os aspectos materiais e estéticos – da arquitetura e de qualquer atividade artística – transforma a obra em algo complexo, composta concomitantemente de matéria e projeto (pensamento), nutrindo-se, portanto, de componentes materiais e de um conjunto de conhecimentos, que são o componente imaterial, mas que tem ação contínua e irreversível sobre a matéria. Mais do que separar as maneiras de construir em tectônicas e a-tectônicos, como se isto se resumisse a leves e pesadas, é preciso retomar o entendimento que tectônica tem relação com articular partes de um todo, então, não significa que construir com pedra ou concreto seja a-tectônico e sim que a relação entre as partes leves e pesadas – produzidas dentro de um esquema de pré-fabricação aberto – sejam articulações mais inteligentes, montadas sempre que possível a seco.

2.4 METODOLOGIA DE PROJETO (BASE FILOSÓFICA – SÉCULO XX)

"Há uma coisa mais importante que as mais belas descobertas: o conhecimento do método pelo qual são feitas"

Leibniz

método *sm.* 1. Caminho pelo qual se chega a um certo resultado. 2. Processo ou técnica de ensino. 3. Modo de proceder. 4. Meio. 5. Tratado elementar (FERREIRA, 1977, p. 315).

meta *sf.* 1. Sinal que indica ou demarca o ponto final das corridas (de cavalos, de regatas, etc.). 2. Alvo, objetivo (FERREIRA, 1977, p. 315).

metodologia 1. Estudo dos métodos. 2. Etapas a seguir num determinado processo (FERREIRA, 1977, p. 315).

projeto *sm.* 1. Plano, intento. 2. Empresa, empreendimento. 3. Redação provisória de lei, etc. 4. Plano geral de edificação (FERREIRA, 1977, p. 386).

Um número considerável de arquitetos – entre eles, Arata Isozaki (**Revista The Japan Architect**, Shinkenchiku-sha, Tóquio, mar. 1976, p. 21-22), Rudolf M. Schindler (em artigos como "*Space Reference Frame, Modular Coordenation and the row",* 1946) e mesmo Le Corbusier (em *Modulor 1* e *Modulor 2*, respectivamente escritos em 1948 e 1955) – descreve ter descoberto um "método de trabalho", composto por regras (em sua maioria

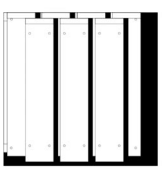
numéricas) e ferramentas (que são a maneira de aplicar essa regras), que direcionam e auxiliam o desenvolvimento do próprio trabalho, ou seja, facilitam e agregam qualidade à atividade de projeto arquitetônico.

Segundo Bunge (1980, p. 19), “Um método é um procedimento regular, explícito e possível de ser repetido para conseguir-se alguma coisa, seja material ou conceitual”. Uma definição que, de acordo com Stroeter (1986, p. 145), “vale tanto para ciência como para qualquer outra atividade humana não científica, arte (e arquitetura) inclusive”, deixando claro que esta pertence ao universo daquela. Método significa, etimologicamente, a forma de proceder ao longo do caminho para alcançar um objetivo pré-estabelecido (do grego *meta* = ao longo + *hodos* = caminho).

Podemos, a partir da definição de Bunge, analisar se o processo de trabalho de Isozaki, Schindler e Corbusier constituem métodos. De acordo com Stroeter (1986, p. 145), o método confunde-se frequentemente com a ideia, não só em arquitetura, mas também nas demais artes visuais, quando se trabalha com formas e imagens: *o método é a idéia*. Para exemplificar, o autor demonstra como Isozaki descreveu o método da “ampliação”: “Tomemos uma unidade básica de 30 x 120 cm. No método da ampliação, é necessário preencher completamente um espaço com uma série ininterrupta dessas unidades. Tudo o que ocorrer fora da unidade básica deve ser desconsiderado. Força-se o objeto que está sendo projetado a assumir formas que se baseiam na unidade”. Esse processo de trabalho de Isozaki pode ser reconhecido como um método na definição de Bunge, pois após aplicá-lo em diversos trabalhos, nos quais o método foi sendo progressivamente descoberto, experimentado, aperfeiçoado, estruturado e, finalmente, reconhecido pelo arquiteto como algo útil e possível de ser re-aplicado na solução de outros problemas arquitetônicos.

Em arquitetura, costuma-se considerar *método de projeto* o tradicional ou mais utilizado desenho de croquis e numa etapa posterior: plantas, cortes e elevações, em escala, seguindo normas de representação. O próprio desenho realimenta a concepção original e, num processo cíclico de tentativa e erro, de avançar e retroceder, a solução inicial é modificada ou aperfeiçoada até chegar num nível satisfatório. Começa-se com uma folha em branco, desenha-se o terreno e elabora-se um esquema de acessos e vistas do seu entorno imediato, e começa-se desenhando usualmente primeiro as plantas – geralmente já se imaginando o espaço / tridimensional –, alocam-se as atividades humanas e inicia-se o processo cíclico de aferição e modificação do projeto até chegar a um ponto satisfatório para o arquiteto e para o cliente. Ponto satisfatório este, portanto, extremamente subjetivo.

O que foi descrito no parágrafo anterior não pode ser considerado método, mas processo. Enquanto processo é tido como ato de proceder, de ir por diante; sucessão de estados ou de mudanças; modo pelo qual se realiza ou executa uma coisa; método, técnica...;



um método, como já vimos, *é um procedimento regular, explícito e possível de ser repetido para conseguir-se alguma coisa, seja material ou conceitual* e, embora os dois sejam tidos como sinônimos, método traz a tona a ideia de *consciência do processo* e de organização deste. A diferença aparece quando o arquiteto desenvolve um método que otimiza seu próprio trabalho. Fazendo uma analogia com uma cozinheira que terá uma série de tarefas a cumprir, desde comprar os ingredientes até o preparo de uma refeição completa: o processo é fazer as compras e preparar a refeição, o método, por sua vez, existe quando esta cozinheira *encontrou a melhor maneira, passível de ser repetida quantas vezes se fizer necessário* para fazer as compras utilizando o mínimo de tempo e recursos e preparar as refeições também com economia e qualidade. Existe método quando há um planejamento. Voltando para a arquitetura, o profissional ainda fará o desenho de croquis numa etapa preliminar e posteriormente desenhará todas as peças gráficas que compõem um projeto, mas não utilizará, por exemplo, mais o centímetro como medida, e sim um módulo base, que se relaciona com as medidas do corpo humano e de suas atividades. Corbusier, Isozaki e Schindler seguiram o processo tradicional de projeto, mas, todos eles orientados cada qual por um método.

Isosaki segue o método de projeto tradicional, no entanto, além das prerrogativas de projeto como: programa, cliente, lugar e orçamento; ele acrescentou “diretrizes” ou “linhas guia” que de uma certa maneira facilitam o trabalho, por exemplo, de estabelecer a medida ideal de uma circulação, de uma sala de estar, e de uma série de espaços, medidas estas que já estão relacionadas com as medidas dos materiais empregados e ao resultado que se deseja alcançar com uma obra, ou até, com um conjunto de obras. É como se alguns encontrassem o *método dentro do método* e isso, de alguma maneira, diferenciasse o trabalho destes mestres, que sabiam que “não é possível inventar arquitetura a cada segunda feira” (Mies Van Der Rohe).

Um olhar atento e sensível sobre a obra de grandes pintores revela que eles pintam muitas vezes – pode-se até arriscar a dizer que sempre – o mesmo quadro, na tentativa de alcançar a perfeição. E, em um dado momento, movidos por alguma necessidade específica, encontram uma solução passível de ser repetida infinitamente, gerando matizes diversas, unidas, no entanto, por esse ingrediente sutil, que garante ao mesmo tempo a unidade e a diversidade da obra. Da mesma maneira, observando-se o trabalho de grandes mestres da arquitetura, percebe-se, sem exceção, que todos eles desenvolveram um método peculiar de trabalho, que de maneira alguma tornou enfadonho ou repetitivo o conjunto da obra, e sim, pelo contrário, auxiliou que a excelência arquitetônica fosse alcançada num grande número de edificações. O que Mies van der Rohe queria dizer quando afirmava que “não é possível inventar arquitetura a cada segunda-feira” é que, sem um método, está-se sempre iniciando o trabalho do zero, com poucas possibilidades de avanço e que, pelo contrário, uma vez construído o pensamento, ou ***um sistema***, a tarefa de projetar torna-se menos árdua e com

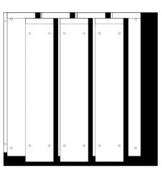
maiores chances de sucesso.

O método de projetar com base no desenho e em modelos reduzidos (maquetes), por mais rudimentar que possa parecer, contém um fundamental avanço sobre a forma de trabalho do artesão, que não conta com um projeto. O artesão aplica o processo de tentativa e erro diretamente sobre o objeto que está sendo produzido, e é nele que devem ser feitas as experiências e modificações. Até os dias de hoje, algumas construções são executadas sem projetos, mas raramente estas construções podem ser consideradas arquitetura. No projeto de arquitetura há sempre a possibilidade de voltar atrás, de retroceder à solução anterior, quando a tentativa de aprimoramento não dá certo. Quando estes experimentos são feitos diretamente no canteiro de obras, geralmente não há retrocessos, por onerosos que se tornariam. Neste caso, o erro, quando identificado, é aceito e permanece. Se a solução é inadequada, o uso acaba por adaptar-se a ela pela improvisação.

O processo de projeto realizado em desenhos ou modelos introduziu, portanto, uma importante distinção entre o *pensar* e o *fazer*, entre *concepção* e *produção ou execução*. Esta distinção trouxe uma série de vantagens:

> - tornou viável uma divisão de trabalho por especialização, uma vez que, sendo possível representar e especificar em partes a coisa a ser produzida, várias pessoas contribuem para o processo de produção;
>
> - deu oportunidade a que estas várias pessoas atuassem simultaneamente, porque, sendo o projeto um “retrato” do objeto todo, estabelece de que forma as partes produzidas separadamente ajustam-se umas às outras; permitiu, além do mais, que se ampliassem as dimensões do projeto imaginado, muito além daquelas que normalmente ficavam sob o controle do artesão;
>
> - deu margem a que se aumentasse a velocidade de reprodução do objeto, pois o que era feito demorada e laboriosamente por um único artesão passou a ser produzido em partes e simultaneamente, pelo trabalho de um número maior de pessoas ou de máquinas (STROETER, 1986, p. 148).

A complexidade e a quantidade dos problemas a serem resolvidos no projeto cresceram consideravelmente no século XX, como resultado da evolução da ciência e da técnica, como consequência do crescimento populacional, mas também como resultado de uma tomada de consciência da esgotabilidade dos recursos naturais, o que transforma em prerrogativa de projeto que se procure cada vez mais ter uma atitude responsável com relação à saúde do planeta terra, na hora de projetar. Os objetos fabricados pelo homem transformaram-se em verdadeiros sistemas que devem ser montados mediante a sequência ordenada de um grande numero de operações de concepção e produção. Em arquitetura, os edifícios



passaram a ter programas de necessidades bem mais intrincados, cresceram as dimensões e as técnicas construtivas empregadas tornaram-se mais sofisticadas. O projeto, no seu todo, bem como algumas operações que o compõem, pode ser particularmente complicado. Assim sendo, não é mais possível manter o controle sobre todas as operações apenas com o método de projeto tradicional (que utiliza desenhos e modelos apenas). **É preciso planejar o processo fazendo um *projeto do projeto*, um *metaprojeto*.** É necessário construir um método que, aumentando a capacidade de controle sobre cada uma das operações parciais, assegure um controle sobre o processo como um todo. Requer, além disso, que qualquer aperfeiçoamento possa ser feito durante o seu desenvolvimento (e não no fim), afastando tanto quanto possível a *tentativa-e-erro* que caracteriza o método tradicional.

Para que se possa fundamentar a proposição de um método de projeto arquitetônico na atualidade, é preciso que se faça uma breve explanação sobre o pensamento pragmático, este entendido como um dentre outros caminhos, todos parte do legado da *bricolage* que nos deixou o século XX.

Não se pretende aqui fazer um compêndio dos Tratados Clássicos de Vitruvius (séc. I a.C), Alberti[12], Paladio[13], Durand[14] a Viollet-Le-Duc[15], que são antes material de consulta, sobre o qual se construiu – mesmo que em muitas das vezes através da negação – todo o pensamento arquitetônico do século XX. Tampouco se faz necessário discutir a incontestável validade dos CIAMs[16], nem mesmo sobre a *Carta de Atenas* (1933)[17] e seu positivismo vencido e desgastado. Mas muitas das proposições ali contidas estarão aqui redescobertas, alguns aspectos serão naturalmente deixados de lado, não ostensivamente, mas apenas porque não ajudarão a construir e tornar atraente o léxico que se pretende construir e propor com esta tese.

Inaki Ábalos em seu livro *A boa-vida. Visita guiada às casas da modernidade* (2001) propõe que se faça uma reflexão sobre algumas maneiras de conceber a casa ou o espaço para morar. O autor toma partido do pensamento pragmático para defender suas ideias:

> Esta casa e esta forma de conceber a existência, cujo hedonismo e ligeireza tanto se distanciam dos parâmetros e valores positivistas, permitirão resgatar, com plena autonomia, uma tradição doméstica cuja vigência na cultura contemporânea está muito longe de haver se esgotado, mostrando uma vitalidade – uma capacidade de mudança e de adaptação – que está na base mesmo do pensamento pragmatista (ÁBALOS, 2001, p. 172).

Willian James, filósofo pragmático, propôs a ideia de mudança ao defender que a filosofia abandonasse a busca de uma verdade única e definitiva como objeto mesmo de seu pensamento. Em James, a verdade é algo que pode vir *a posteriori* de uma ideia; os

[12] Leon Batista Alberti (1404-1472).
[13] Andrea di Pietro della Gondola (1508-1580), arquiteto italiano conhecido como Palladio.
[14] Jean-Nicholas-Louis Durand (1750-1834), arquiteto francês, tentou sistematizar o projeto de arquitetura através de pranchas de desenho semelhantes a catálogos.

acontecimentos podem validar a ideia, que aí sim se torna verdade. *Não se trata, portanto, de negar que a verdade exista, mas de afirmar seu caráter contingente* (ÁBALOS, 2001, p. 173). A verdade é um processo em que a realidade e a mente adaptam-se uma à outra. William James aceita que a verdade é correspondência com o mundo, é uma relação de ajuste com um mundo que, por sua vez, vai se construindo pela ação das próprias ideias. No pensamento pragmatista, a mente e o mundo (a teoria e a prática) não se encontram separados: constituem-se entre si.

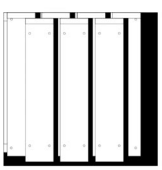
E precisamente isso – as ideias podem ser validadas pelos fatos e, isso não significa necessariamente invalidar ideias que as precederam, pois os fatos e o tempo-espaço eram outros – transforma o pensamento e a mudança, inexorável como o próprio tempo, torna-se não apenas aceitável, mas esperada e tida como a base para o próprio encadeamento do pensamento contemporâneo. A mudança é agora material de trabalho e prazer.

Raramente uma filosofia se propõe ao exame dos prós e contras de uma tese. O mais comum é que seja, implícita ou explicitamente, *uma disputa entre o léxico estabelecido, o qual se converteu em um estorvo, e um léxico novo e em formação que vagamente promete grandes coisas*. Esta tese não pretende, portanto, defender verdades absolutas – que em realidade não existem em arquitetura –, tampouco negar conjuntos de conhecimentos que a antecederam. Ao invés disso, o que se propõe é uma reflexão sobre o projeto de arquitetura e seus desdobramentos, com o uso da madeira, material renovável e de incrível potencial para o futuro. E, isso tudo, com bom senso, olhando com respeito para o que já se fez e propondo o *caminho do meio*, ou do equilíbrio entre conhecimento, reflexão e ação ou projeto.

> O pragmatismo, portanto, é mais um método do que uma filosofia, um método sem dogmas nem doutrinas, para o qual “as teorias chegam a ser instrumentos, mas não respostas a enigmas nas quais possamos nos apoiar...” Um método de atualização das verdades, de adaptação constante de nossas crenças e linguagens frente à nossa experiência. Uma forma de pensar que não se institui como negação a outras concepções, mas que as cruza de forma singular, adotando-as para construir uma “conversação” particular, até iluminar novos léxicos cuja única validade não se ancora mais em sua verdade, mas em sua “verossimilhança”, em sua capacidade de criar no outro o efeito de verdade através da experiência (ÁBALOS, 2001, p. 174).

A metáfora pragmática será, assim, a “conversação”, imagem que sublinha os vínculos com um modelo social no qual realmente possa se dar uma discussão aberta e imprevisível, sem verdades últimas.

[15] Viollet-Le-Duc (1814-1879).
[16] Congressos Internacionais de Arquitetura Moderna, realizados entre os anos 1928 e 1959 (final dos CIAMs).
[17] *Carta de Atenas*, grande livro sobre a cidade positivista – a habitação, o lazer, o trabalho e a circulação deveriam ser separadas no tempo e no espaço para se otimizar o funcionamento da sociedade industrial –, escrito durante o CIAM de 1933, realizado num transatlântico de Marselha a Atenas.



> São as *novas técnicas – sua invenção, transferência, manipulação – os verdadeiros operadores da imaginação pragmática*. Por isso, o arquiteto, o "crítico" afeito a esta sensibilidade, conhece e trabalha com elas, e o seu saber tem um *caráter eminentemente técnico e metodológico* (ÁBALOS, 2001, Grifos da autora, p. 175).

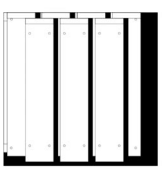
Segundo Ábalos (2001, p. 183), a eliminação do sofrimento nas tarefas domésticas terá conduzido a uma eliminação também do sofrimento nos processos de construção: a facilidade e a simplificação técnica serão valores que se estenderão a todos os momentos da casa. Esta é, agora, pensada, construída e habitada contra as complexidades técnica e existencial, comodamente. O tempo passará a ser entendido como um material, um material de construção, o mais valioso, de modo que minimizá-lo adquire um sentido econômico abstrato, expressão dessa facilidade existencial.

> Uma cena cotidiana que somente um olhar atento, capaz de apreciar a beleza que há no mais fugaz, na contingência da vida comum, é capaz de transformar em obra de arte. Esse olhar atento é a técnica mesma do projeto pragmático, seu modo particular de pensar, construir e habitar a casa. Qual é a materialidade especificamente pragmática? Como se desenvolve, no projeto, a sua cultura material ou objetual? [...] a simplicidade da técnica construtiva como um reflexo direto da atividade pragmática; nesse sentido, sua aproximação da construção, da idéia de matéria, compartilhará, indubitavelmente, com o arquiteto moderno, um mesmo apreço pelas possibilidades da indústria e pelos processos de construção que desencadeiam [...]. Mas a ênfase aqui será desviada, da exibição do objeto em sua aparência maquínica, para a sua dissolução no sistema, para a sua fácil articulação em uma totalidade difusa (ÁBALOS, 2001, p. 186).

"É essa idéia instantânea e poderosíssima de conforto que se convencionou denominar "bem estar" (*welfare*) e que catalisa toda a cultura material pragmática, o que aí se suscita" (ÁBALOS, 2001, p. 187). A construção da casa pragmática, a sua materialidade, porém, não se encerra nos aspectos construtivos: a preparação do terreno, a manipulação do meio natural, pressuporá o contraponto dialético do sistema, a forma com que o arquiteto organiza a construção de marcos que conduzem a esse mencionado bem-estar. A construção é toda pré-fabricada e leva-se pronta da fábrica até o canteiro de obras que se transforma num *canteiro de montagem*. Painéis em chapas, vigas metálicas, divisórias em chapas, instalações fabricadas em oficinas, não um único sistema, mas diversos sistemas abertos possibilitando um diálogo colorido e multifacetado.

> Nada de conhecimentos exaustivos: o construtor pragmático é precisamente o que não se enreda em detalhes, pois não necessita deles, é o que consegue reduzir os materiais e a construção a poucas e ***simples operações de encaixe entre sistemas compatíveis***. [...] a prática inexistência de detalhes – é a chave que nos permite compreender a importância da idéia de "sistema" no pensamento pragmático. Esta perspectiva substitui a concepção tradicional do construtor pela de criador de sistemas, de conjuntos de elementos capazes não apenas de gerar uma ordem lógica em suas relações internas, mas também de manter suficientemente em aberto tal ordem, para permitir o surgimento da surpresa e da contradição. Como as regras de um jogo, um bom sistema mede-se tanto por sua economia, quanto pela abertura que promove, por seu grau de indeterminação. É no jogo, pois, onde se origina o desenvolvimento criativo (ÁBALOS, 2001, p. 189-190, grifos da autora).

Podemos pensar na vigência da casa pragmática, desfazendo momentaneamente o encantamento causado pelas *Case Study Houses*, para estabelecer a sua atualidade no panorama cultural contemporâneo. E podemos fazê-lo sem nos distanciar de Los Angeles, apenas recordando sua viva presença nas arquiteturas residenciais de Frank O. Gehry, especialmente aquelas casas construídas com telas de galinheiro e demais produtos industrializados, com as quais todo o seu trabalho residencial pode ser compreendido, como uma mostra da vitalidade daquelas experiências dos anos cinquenta, como uma nova interpretação desta ideia de sistema e de jogo, a partir de uma particular habilidade para abrir e deslocar os sistemas e patentes comerciais mais econômicos até fazê-los expressões sociais e estéticas atuais. Geralmente este jogo é obtido mediante a atomização do esquema extensivo, mas compacto, próprio às *Case Study Houses*, e a busca intencional de "diferenças" – geométricas, figurativas, materiais, de escala – frente à atração pela ordem e pela uniformidade que ainda nos cinquenta mostrava-se presente. De acordo com Ábalos (2001, p. 190-191), a obra de Gehry permaneceria inexplicável se não se atentasse para este rico patrimônio que ele herdou e transmitiu a novos paradigmas espaciais. Uma tradição, ou melhor dizendo, um método e uma atitude que também sem dúvida informam a produção de arquitetos contemporâneos, tais como Toyo Ito e Kazuyo Sejima, em que se pode aferir, talvez melhor do que em nenhum outro, como as novas condições técnicas e sociais, assim como a emergente sensibilidade ambiental, resultam da re-descrição de ideias como "agilidade" ou "sistema". Seus projetos, e não apenas os residenciais, desenvolvem-se a partir do questionamento tanto da "imaterialidade" das tecnologias informáticas, quanto das novas concepções, plásticas e científicas, referentes à natureza. *Liquid space* é a categoria que Toyo Ito propõe como metáfora capaz de desencadear um pragmatismo imaginativo atento às semelhanças entre o meio natural e o meio tecnológico atual, fluido e imaterial. Será ele a afirmar: "o arquiteto contemporâneo ideal é uma combinação de pragmatismo – 80



por cento – e imaginação – não mais do que 20 por cento", coloquialmente expressando os vínculos que fazem de um sistema, um jogo, e de ambos, uma proposta arquitetônica coerente capaz de re-descrever, com verossimilhança, nosso tempo (ÁBALOS, 2001, p. 191).

O arquiteto pragmático busca acordos entre as técnicas de mercado para compor sistemas que minimizem o consumo de energia e seus impactos ambientais, o uso preciso de materiais leves, junto a recursos passivos que aproveitem as características do terreno, a concepção de sistemas construtivos para montagem a seco, que prevejam o possível desmonte dos componentes, a eliminação de acabamentos aderentes como vernizes ou pinturas, etc. Todos aqueles aspectos relativos à facilidade construtiva e ao ar como material são hoje os princípios de uma concepção de técnica sensível às questões ambientais.

Richard Neutra, não apenas nos projetos para as *Case Study Houses*, mas ao longo de toda a sua carreira, era entusiasmado com a ideia de estandardização. Utilizava desde faróis de carro como luminárias (Figura 2.35), vigas, pilares e demais perfis metálicos até painéis metálicos produzidos pela indústria naval ou aeronáutica. Neutra não desenhava elementos construtivos, ele os escolhia de catálogos[18].

[18] Depoimento do Dr. Raymond Neutra, filho mais jovem do arquiteto Richard Neutra, em sua visita à Universidade Federal do Paraná, em 11 de maio de 2009.

Uma grande distância separa a investigação de Mies van der Rohe a respeito das casas-pátio da investigação de seus companheiros modernos, cujos objetivos eram obter tipologias de baixo custo, com uma boa orientação solar e um aproveitamento racional do terreno, para famílias tipo, das classes operária ou burguesa. A casa passaria a ser um objeto produzido em série, à imagem e semelhança do Ford T, o grande paradigma da industrialização. A investigação de Mies é bem diferente: em seu trabalho sobre as casas-pátio, com exceção de um primeiro esboço de casas geminadas (1931), Mies van der Rohe elaborará projetos individualizados, inteiramente avessos à ideia de estandardização. Portanto, todas as casas-pátio serão particularizadas, contrarias à



Figura 2.35 - Escadaria envidraçada da *Health House*, a primeira residência americana com estrutura de aço, em Los Angeles. FONTE: LAMPRECHT (2004, p. 22).

ideia do "objeto-tipo" (ÁBALOS, 2001, p. 22) produzido em série: a intenção de Mies era, nitidamente, sublinhar, antes de tudo, a individualidade. De fato, nos raríssimos desenhos em que aparece mais de uma habitação, pode-se observar o agrupamento de unidades sempre diferentes, voluntária e manifestadamente individualizadas através de mecanismos topológicos – diferentes formas de implantação, diferentes proporções dos terrenos, diferentes profundidades e orientação – ou métricos – maior ou menor área do terreno, maior ou menor área da casa –, sendo o ***sistema empregado para materializá-las o único elemento ali constante***.

Tal elemento, contudo, não pode ser reduzido a aspectos puramente técnicos, construtivos ou estruturais: não se trata somente do emprego do vidro e da cobertura plana, nem do uso de muros delimitando recintos e colaborando com as estruturas reticuladas na sustentação dos painéis de cobertura. O que importa é a possibilidade de individualizar inerente a um "sistema", isto é, de operar com poucas variáveis, ligadas entre si, para obter resultados completos

e diversos, tanto construtivos, quanto estruturais, estéticos e espaciais. A lógica e tectônica dos projetos contemporâneos são tão múltiplas, variadas e complexas quantos e como forem os sistemas pelas quais se organizam.

2.5 RESUMO / CONCLUSÕES CAPÍTULO 2

2.5.1 Algumas reflexões e apontamentos

A construção do presente e de um futuro próximo deverá ser composta por peças e elementos pré-fabricados, transportados prontos da fábrica até o canteiro de obras que se transforma num *canteiro de montagem*.

Painéis, vigas divisórias em chapas, instalações fabricados em oficinas, não pertencentes a um único sistema, mas a diversos sistemas abertos possibilitando um diálogo colorido e multifacetado.

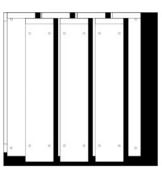
O construtor pragmático é precisamente o que não se enreda em detalhes, pois não necessita deles, é o que consegue reduzir os materiais e a construção a poucas e ***simples operações de encaixe entre sistemas compatíveis***. A prática inexistência de detalhes é a chave que nos permite compreender a importância da ideia de “sistema” no pensamento pragmático. Esta perspectiva substitui a concepção tradicional do construtor pela de criador de sistemas, de conjuntos de elementos capazes não apenas de gerar uma ordem lógica em suas relações internas, mas também de manter suficientemente em aberto tal ordem, para permitir o surgimento da surpresa e da contradição. Como as regras de um jogo, um bom sistema mede-se tanto por sua economia, quanto pela abertura que promove, por seu grau de indeterminação. É no jogo, pois, onde se origina o desenvolvimento criativo.

O arquiteto pragmático busca acordos entre as técnicas de mercado para compor sistemas que minimizem o

consumo de energia e seus impactos ambientais, o uso preciso de materiais leves junto a recursos passivos que aproveitem as características do terreno, a concepção de sistemas construtivos para montagem a seco que prevejam o possível desmonte dos componentes, a eliminação de acabamentos aderentes como vernizes ou pinturas, etc. Todos aqueles aspectos relativos à facilidade construtiva e ao ar como material são hoje os princípios de uma concepção de técnica sensível às questões ambientais.

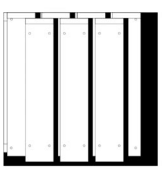
Os diagramas são ferramentas de projeto afinadas a uma visão de mundo contemporânea: são organizações que se estabelecem por relações sistêmicas. E a lógica ou linguagem dos projetos contemporâneos é tão múltipla, variada e complexa quantos e como forem os sistemas pelas quais se organiza.

Na arte e, portanto, na arquitetura, em um dado momento, movidos por alguma necessidade específica do *fazer*, artistas e arquitetos encontram uma solução passível de ser repetida infinitamente, gerando matizes diversas, *unidas, no entanto, por um ingrediente sutil, que garante ao mesmo tempo a unidade e a diversidade da obra. É o saber fazer* se concretizando.



CAPÍTULO 3

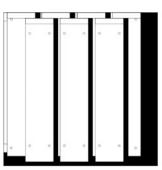
MADEIRA, INDUSTRIALIZAÇÃO E METAPROJETO



“Penso que a construção do conhecimento é motivada pela curiosidade, e pelo prazer da descoberta. Algo como um passeio em um bosque desconhecido, que para a sua apropriação exige a opção sempre por uma dentre as inúmeras possibilidades de trilhas, mesmo que isso signifique vagar sem rumo pelo bosque apenas desfrutando da gratificação daí advinda. Uma mudança de rumo pode ser ocasionada por uma distração ou por um encantamento. O bosque pode ser infinito”.

(GONÇALVES[1], 2006, p. 215)

[1] Para quem esta postura é influenciada pela leitura da obra de Heidegger, Martin. ***Caminhos de Floresta***. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1998, p. ix.



3 MADEIRA, INDUSTRIALIZAÇÃO E METAPROJETO

Neste capítulo, verificam-se, através de revisão de literatura, o estado da arte sobre industrialização e pré-fabricação. Antes disso, é preciso refletir sobre algumas questões que envolvem as proporções e dimensões, as medidas dos elementos construtivos. A coordenação modular é apresentada como uma ferramenta que possa auxiliar a pré-fabricação de peças, componentes e artefatos de madeira que dialoguem com toda uma cadeia produtiva. E, para que a pré-fabricação de componentes e elementos construtivos de madeira obtenha êxito, o metaprojeto é apresentado como uma maneira sistêmica de solucionar, não apenas o problema da utilização da madeira na arquitetura, mas o projeto e a construção de uma maneira geral.

3.1 A EXATA MEDIDA DAS COISAS

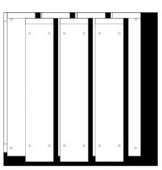
Neste subcapítulo verificam-se, através de revisão de literatura, o estado da arte sobre a relação entre matemática, geometria e proporção como ferramentas auxiliares de projeto. E, traça-se uma comparação entre o modulor de Le Corbusier e a trama espacial de referência de Schindler. Trata-se da tentativa de verificar o quanto um sistema de medidas pode auxiliar o projeto; talvez mesmo uma tentativa um tanto ingênua de encontrar *a medida*.

> O construtor deve verificar todas as medidas no local e ser responsável pela correta execução[2].

Esta sentença, que todos os arquitetos prudentes imprimem em suas plantas, revela uma grande preocupação desses profissionais. Entretanto, ao invés de transferir a responsabilidade para o construtor, ambos – arquiteto e construtor – poderiam eliminá-la completamente, substituindo o velho esquema de medidas por um sistema de unidades. Tal sistema substitui as polegadas, centímetros, e suas frações, por uma unidade padrão que seja estabelecida na planta por uma grade de linhas que fixe a localização e o tamanho das partes do edifício visual e rapidamente. No entanto, afirma Schindler (*apud* MARCH, 1995, p. 57), que

> por alguma estranha razão, esta simplificação da concepção e construção dos edifícios é rejeitada por quase todos os interessados. Comecei a usar o sistema de unidades há 26 anos (isto foi por volta de 1920) e o utilizei sempre desde então, uma vez que, fui forçado, frequentemente a apresentar os projetos, sem as linhas da grelha, para departamentos de construção e empresas de financiamento.

[2] "Builder must check all measurements and be responsible for the correctness" (MARCH; SHEINE, 1995, p. 57).



Segundo Schindler, um arquiteto precisa de uma unidade de dimensionamento que seja grande o suficiente para conferir à sua construção escala, ritmo e coesão. E, por último, o mais importante para um "arquiteto do espaço": ela precisa ser uma unidade que ele possa carregar de maneira palpável em sua mente, a fim de ser capaz de lidar com as formas no espaço, com maior precisão em sua imaginação.

Lúcio Costa (1980, p. 5-8) adverte que enquanto forem satisfeitas apenas as exigências técnicas e funcionais – não é ainda arquitetura; quando se perde em intenções meramente decorativas – tudo não passa de cenografia. Mas quando – popular ou erudita – aquele que a ideou para e hesita ante a simples escolha de um espaçamento de pilares ou da relação entre a altura e a largura de um vão, e se detém na obstinada procura de uma *justa medida* entre cheios e vazios, na fixação dos volumes e subordinação deles a uma lei, e se demora atento ao jogo dos materiais e a seu valor expressivo, e quando tudo isto se vai pouco a pouco somando em obediência aos mais severos preceitos técnicos e funcionais, mas, também, àquela intenção superior que escolhe, coordena e orienta no sentido da ideia inicial, toda essa massa confusa e contraditória de pormenores, transmitindo assim ao conjunto, ritmo, expressão, unidade e clareza – o que confere à obra o seu caráter de permanência – isto sim, é arquitetura.

A noção de medida tem, há muito tempo, sido de grande importância na determinação da visão ocidental de mundo e da forma de vida implícita nessa visão. Na Grécia Antiga, manter as coisas na medida certa – sem excessos – era considerado como um dos requisitos essenciais da boa vida. A consciência da medida interior das coisas era considerada importante para o bem estar físico, social e mental. *Ir além da medida própria das coisas significava estar interiormente sem harmonia, e levava à perda de integridade e fragmentação*. David Bohm define *medida como uma forma de introvisão [insight] da essência de todas as coisas, e a percepção humana, seguindo indicações dessa introvisão, será clara e possibilitará ações geralmente ordenadas e uma vida harmoniosa* (BOHM, p. 20 e seguintes, *apud* MAHFUZ, 1995, p. 61).

Ao longo do tempo, o conceito de medida foi sendo transformado e gradualmente entendido como uma regra a ser imposta sobre o ser humano desde o exterior. No Mini dicionário da Língua Portuguesa, medida é definida como: medição; padrão; qualquer objeto para medir uma quantidade; limite, termo; dimensão, tamanho; disposição, providência. Atualmente, medida passa a significar comparação de algo com algum padrão, ou seja, *cessou de ser a chave para a essência da realidade* (MAHFUZ, 1995, p. 61).

> Certamente, a arquitetura é, mais do que qualquer outra, a arte da delimitação e da repartição espacial, a arte do número e da medida aplicados à criação.
>
> Gillo Dorfles, 1958 (*apud* SILVA, 1991, p. 37)

3.1.1 Geometria, Matemática e Sistemas proporcionais

Alberti (*apud* MAHFUZ, 1995, p. 56) definiu beleza como a *harmonia de todas as partes reunidas com tal Proporção e Conexão que nada pode ser adicionado, retirado ou alterado, a não ser para o Pior*[3].

Num primeiro exame, parece mais lógico associar as artes figurativas ou visuais à geometria, e não à matemática; afinal, a geometria se ocupa das formas, das entidades visualizáveis, das figuras; enquanto que a matemática se ocupa das grandezas. Mas – se a assim podemos chamar – a "matematização" da geometria (SILVA, 1991, p. 38) é uma decorrência quase inevitável da evolução de uma cultura letrada. De certa maneira, esta matematização é um estágio superior na história da geometria propriamente dita.

Assim, a tradução das propriedades geométricas – pode-se entender até certo ponto formais –, em termos de relações matemáticas, é fruto de um processo intelectual de racionalização. Racionalizar implica ordenar. O ideal platônico associava ordem e perfeição. E, de acordo com Aristóteles, "o belo, num ser vivente ou num objeto composto de partes, deve não só apresentar ordem em suas partes como também comportar certas dimensões" (ARISTÓTELES, 1959, p. 282 *apud* SILVA, 1991, p. 39).

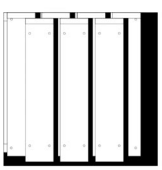
O conceito de ordem escapa aos limites de uma teoria particular, para integrar a base de qualquer tipo de sistema, sendo inclusive inerente à ideia de sistema. Em arquitetura, conforme sublinha Silva (1991, p. 41), "a preocupação com ordem e perfeição, é exercitada no território da forma construída, visível e tangível, dotada de materialidade, de duração e, nas soluções felizes, de significado".

De acordo com Schindler (*apud* MARCH, 1995, p. 58) "escala denota uma relação consciente entre as partes de uma estrutura com relação à estrutura como um todo e com relação à uma unidade básica. Esta unidade básica é muito naturalmente a figura humana, embora num palácio ela possa ser a estatura imaginária do Rei".

> Enquanto a escala alude ao tamanho de algo comparado a um padrão de referência ou ao tamanho de algo mais, a proporção se refere à relação apropriada e harmoniosa de uma parte com a outra e com o todo. Tal relação pode não ser somente de magnitude, mas também de quantidade ou grau. Embora o projetista geralmente disponha de uma gama de escolhas ao determinar as proporções das coisas, algumas nos são dadas pela natureza dos materiais, pela maneira como os elementos construtivos respondem às forças e como as coisas são fabricadas (CHING, 2002, p. 278).

Quanto ao ritmo, Schindler (*apud* MARCH, 1995, p. 58) enfatiza que apenas um arquiteto destituído de sentimento não responde ao ritmo que as juntas e os pregos dão ao edifício. Nós, seres humanos somos incapazes de compreender tempo e espaço sem uma *chave rítmica*, que o arquiteto deve prever em seus projetos. Ritmo é uma relação espacial,

[3] ALBERTI, L. **De Re Aedificatoria**, livro VI, capítulo II.



e ele não pode ser atingido pela simples repetição aritmética da mesma parte, mas deve ser mantido pelos espaçamentos entre partes relacionadas, quer sejam semelhantes ou não, como na música. Nesse sentido, um módulo muito pequeno pode criar textura ao invés de ritmo.

Já afirmava Le Corbusier (1976, p. 27) que “a música é tempo e espaço, como a arquitetura”. Ambas dependem da medida. Em “Promenade Architecturale” ou Passeio Arquitetônico, Le Corbusier elabora a teoria de que a arquitetura – que é julgada com os olhos, com a cabeça que gira, com as pernas que andam, ou seja, pelo homem que é seu objeto de medida – é feita de sucessivos espetáculos que se somam uns aos outros e se sucedem no espaço e no tempo, como na música. O que equivale ao pensamento de Lúcio Costa (1980, p. 5-8), para quem “arquitetura é coisa para ser encarada na medida das idéias e do corpo do homem”, portanto “coisa para ser sentida em termos de espaço e volume”.

Todas as teorias de proporções têm em comum o intuito de criar um sentido de ordem e harmonia entre os elementos de uma composição visual. Uma razão se refere à comparação quantitativa de duas coisas semelhantes, enquanto proporção se refere à igualdade de razões. A relação a/b = b/a+b expressa uma proporção constante entre dois termos de uma série, de modo que a fração do menor pelo maior é equivalente à fração do maior pela soma dos dois. Esta relação resulta em um número irracional 1/1,618 ou inversamente 0,618. E esta propriedade, surpreendentemente, é expressa numa relação verificável em incontáveis manifestações morfológicas da natureza. Na notável série de Fibonacci[4], cada termo é igual à soma dos dois termos que o precedem: [1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233...].

A partir do quinto termo em diante, a relação entre dois números quaisquer é cada vez mais próxima do “número de ouro”, ou 1,618; se os mesmos números forem invertidos, a relação torna-se 1/1,618, que é o mesmo que 0,618. Longe de toda a teoria que envolve o número de ouro numa névoa de mistério, ao olhar desatento de um leigo, ou mesmo de um arquiteto desavisado, um retângulo áureo parece muito mais agradável ao olhar do que um retângulo qualquer, ou mesmo do que um quadrado. Na teorização da estética pitagórica, estava a ideia de que a própria natureza era regida por semelhante sistema de proporções, sendo o corpo humano uma evidência disto. Os conhecidos desenhos de Leonardo Da Vinci, em que o homem aparece como figura central, em meio a circunferências e linhas, são estudos de como a divina proporção se manifesta na anatomia humana.

Assim, afirmar que o homem é a medida de todas as coisas adquire, segundo Silva (1991, p. 61), “um significado poderoso, na proporção em que se acredita que o corpo humano seja um exemplo da harmonia métrica do universo; pelo menos do universo descrito nos termos do sistema decimal”. O arquiteto Andrea Palladio se destaca entre os arquitetos italianos do século XVI, pois, em sua obra, os mais puros conceitos renascentistas, como o refinamento das proporções, o rigor geométrico do esquema compositivo, a noção de simetria e unidade e a sobriedade expressiva (SILVA, 1991, p. 248) são aplicados com maestria. Tendo iniciado

[4] Série de Fibonacci é uma série geométrica criada por Leonardo de Pisa no início do século XI.

a sua carreira de arquiteto como pedreiro, Palladio teve acesso ao ingrediente táctil, do saber fazer, que tanto buscamos nesta tese e serviu de inspiração para arquitetos do século XX, como Le Corbusier, por exemplo, que construiu relações em suas próprias plantas muito similares às utilizadas por Palladio. Além disso, Le Corbusier depositou na Secção Áurea e na Série de Fibonacci a mesma importância dada pelos estudiosos da Renascença, ao desenvolver um controverso sistema de medidas, o modulor, que foi sem dúvida um esforço de estabelecer um sistema de ordem e harmonia.

A chave dos grandes sistemas (SILVA, 1991, p. 64) é algo que todo aquele que almeja tornar-se criador gostaria de encontrar, e que era explicitamente o objetivo dos arquitetos renascentistas e herdeiros dessa tradição, com destaque para arquitetos do século XX, como Le Corbusier e Rudolph M. Schindler[5].

3.1.2 O Modulor de Le Corbusier

Com o nome Modulor, Le Corbusier definiu uma gama dimensional constituída pelas séries Rosa (4-6-10-16-27-43-70-**113**-183-296...) e Azul (8-12-20-33-53-86-140-**226**-366-592...) (CORBUSIER, 1976, p. 63-64) (Figura 3.1 / Figura 3.2). Em ambas as séries, cada um dos termos é obtido com a soma dos dois precedentes, exatamente como a Série de Fibonacci, que, aliás, é a matriz da série azul. A série rosa é semelhante à série azul, sendo o número que deu origem a esta (226) dividido pela metade (113), e de maneira inversa, cada número da série rosa quando multiplicado por dois gera um número da série azul.

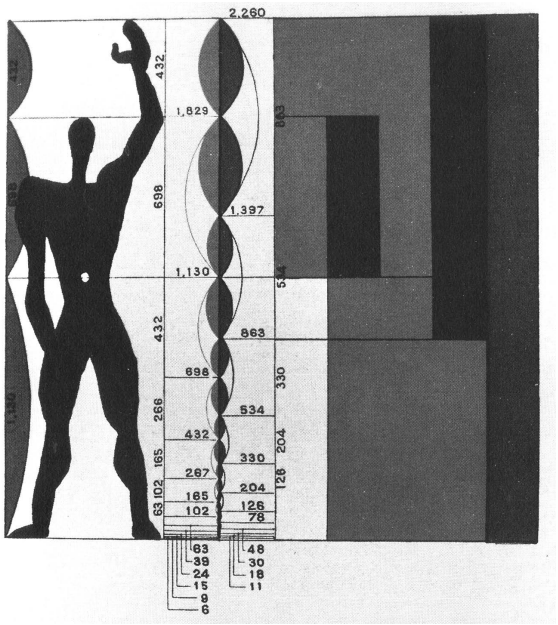


Figura 3.1 - Estudos sobre o modulor. FONTE: CURTIS (1987, p. 164).

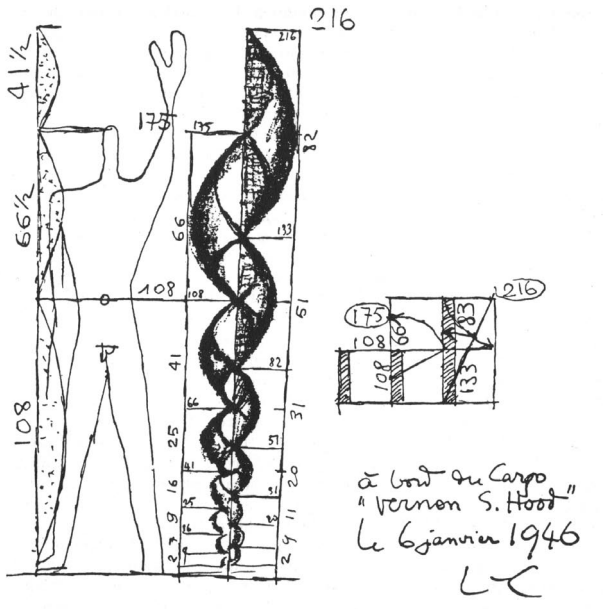


Figura 3.2 - Modulor relacionado às medidas do corpo humano. FONTE: CORBUSIER (1976, p. 49).

[5] Rudolf M. Schindler (1887-1953), arquiteto austríaco, trabalhou predominantemente na Califórnia.

Um dado positivo que oferecem essas duas séries é o fato de pertencerem à Série de Fibonacci, a qual tem um tipo de lei aditiva que resulta bastante indicada para problemas da edificação; tendo A, B e C os termos sucessivos de uma sequência numérica, é útil para os problemas da construção que C seja igual a A + B, e que isso se suceda continuamente.

Le Corbusier iniciou seus estudos sobre o modulor em 1942 e publicou “O modulor: uma medida harmoniosa para a escala humana aplicada universalmente à Arquitetura e Mecânica”, em 1948. Um segundo volume, O Modulor II, foi publicado em 1954 com uma grande diversidade de exemplos de sua aplicação. Le Corbusier desenvolveu seu sistema de proporcionalidade, para *organizar as dimensões daquilo que contém e daquilo que é contido* (CHING, 2002, p. 302). Baseou o modulor tanto na matemática (as dimensões da Secção Áurea e da Série de Fibonacci) como nas proporções do corpo humano (dimensões funcionais).

A malha básica consiste em três medidas: 113, 70 e 43 cm (Figura 3.3), proporcionadas de acordo com a Secção Áurea:

43 + 70 = 113

113 + 70 = 183

113 + 70 + 43 = 226 (2 X 113)

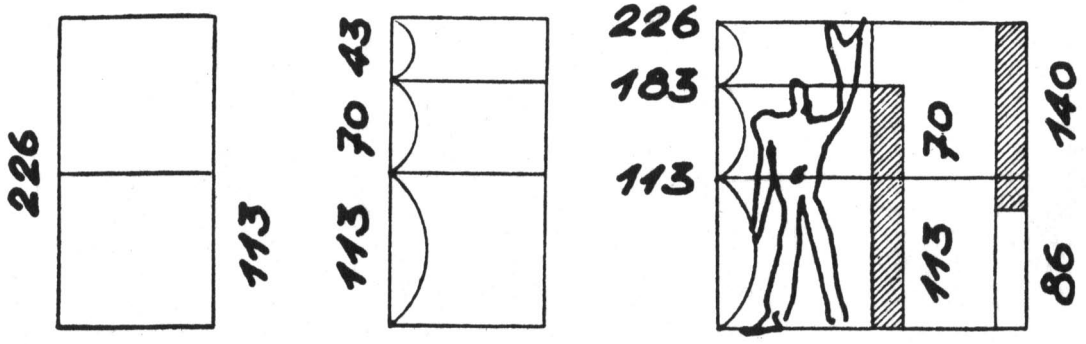


Figura 3.3 - Malha básica. FONTE: CORBUSIER (1976, p. 61).

O modulor não possui módulos em seu sentido comum, mas sucessões dimensionais segundo uma progressão geométrica (Fibonacci) de razão 1,618, na qual cada termo é gerado pela soma dos dois precedentes em uma dimensão fixa e mantendo suas relações constantes.

Le Corbusier via o modulor não apenas como uma série de números com uma harmonia inerente, mas como um sistema de medidas que poderiam determinar comprimentos, superfícies e volumes e "manter a escala humana (Figura 3.4) em qualquer lugar". Poderia, segundo ele, "servir a uma infinidade de combinações; ela assegura a unidade com diversidade [...] o milagre dos números". Com esse instrumento, Le Corbusier modulou longitudes, superfícies e volumes; o *"jeux des panneaux"* (Figura 3.5), a arquitetura da célula de habitação, a estrutura da Unidade de Marselha, enfim, aplicou o modulor em cada uma de suas realizações da segunda metade do século XX, desde seu pequeno *atelier* (*modulor shell*) até a Capela de Ronchamp e o Plano Urbanístico de Chandigarh.

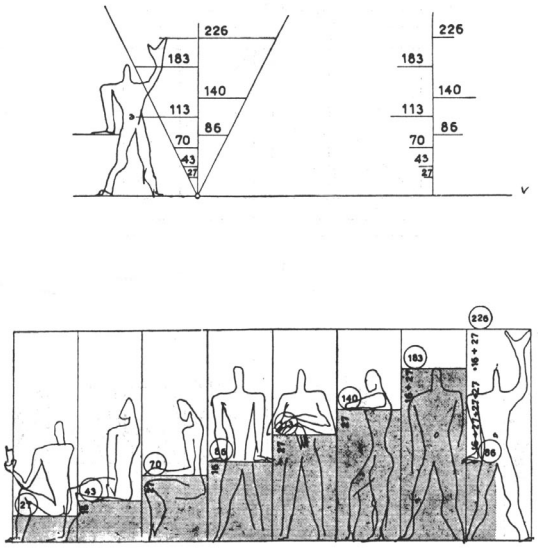


Figura 3.4 - Escala humana. FONTE: CORBUSIER (1976, p. 62).

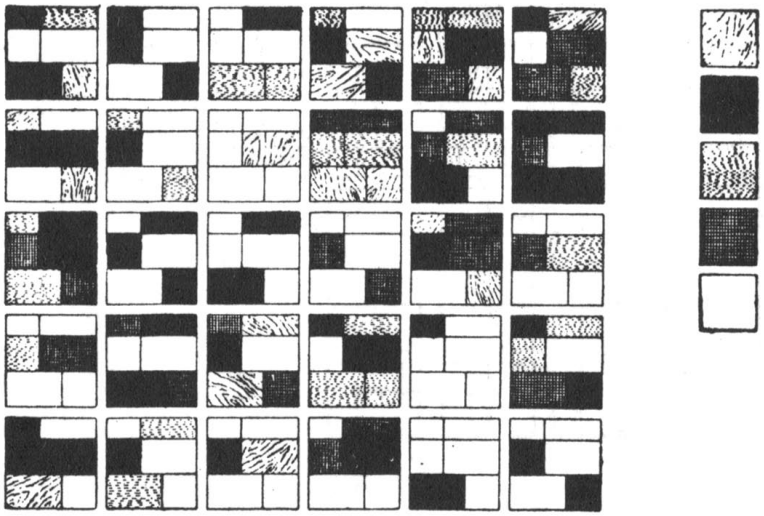
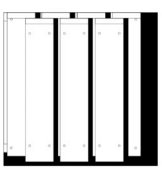


Figura 3.5 - Jogo de painéis, experimentação introduzindo cinco materiais diferentes para a composição. FONTE: CORBUSIER (1976, p. 94).

Na página 141 de "O Modulor" (1948), Le Corbusier descreve seu pequeno escritório em Paris. Inicia com o titulo: "Uma Oficina Minúscula" e a descreve minuciosamente:



> Nosso atelier de arquitetura tem 50 metros de comprimento na Rua de Sèvres e os desenhistas o ocupam quase por completo (Figura 3.6). Os funcionários administrativos foram trazidos para espaços medíocres. Pessoalmente herdei um gabinete sem janela, com ar condicionado, onde meus visitantes tem a impressão que eu estou em retiro, o que os obriga a serem breves e concisos. Em algumas ocasiões recebo quatro pessoas ao mesmo tempo, de maneira que ficamos em cinco nesta oficina que mede: 226 de largura, 226 + 33 de profundidade e 226 de altura.

O Volume-tipo do modulor, ou *modulor shell*: 226 x 226 x 226, serviu como base, ganhando 33 cm em profundidade. “A concordância das medidas permitiu, uma disposição eficaz dos móveis e dos objetos de arte: A mesa mede 53 x 113; A pintura mural à esquerda [camafeu fotográfico]: 166 (113 + 53) de largura por 226 de altura...”. Corbusier descreveu também, pormenorizadamente, o tamanho e localização da pintura localizada à direita de quem entra e a escultura “[...] de madeira cromada sobre pedestal de chapa metálica parafusada. O pedestal devendo ser saliente com relação à parede: 33 cm, ter largura de 16,5 cm e altura de 16,5 cm” e, sua situação com relação ao cômodo: distância da parede à esquerda: 43 cm e distância do teto: 53 cm (Figura 3.7). Esse exemplo demonstra claramente a crença de Le Corbusier no fato de que o modulor ofereceria medidas ideais para todas as coisas, das maiores às menores, para os problemas da construção e também para os problemas de organização dos espaços e para os problemas da arte.

Gonçalves (2006, p. 40) descreve que

> no decorrer do tempo, paralelamente à sua atividade de projetista, escritor e conferencista, Le Corbusier desenvolve uma série de obras no campo da pintura, escultura e tapeçaria. E é justamente essa militância artística paralela à arquitetura e ao urbanismo que o habilita – como enfatiza em várias oportunidades – a exaltar a necessidade de uma síntese das artes.

Neste sentido, em seu pequeno escritório, além de mostrar a aplicação de seu modulor, princípio ordenador desde os mínimos detalhes, também apresenta a aplicação da síntese das artes, uma vez que são propostas conjuntamente: arquitetura, pintura e escultura.

> Suas preocupações nesse ciclo estão ilustradas na foto de seu estúdio no atelier da *Rue dês Sèvres* (Figura 3.8). Le Corbusier folheia absorto um manuscrito tendo ao seu lado uma escultura da série Ubu. Na publicação, sobre a foto, vários croquis demonstram o cuidado com que o espaço apesar de pequeno, foi planejado, na colocação dos móveis, da escultura (GONÇALVES, 2006, p. 44).

Além de seu pequeno gabinete sem janelas (2,26 x 2,59 x 2,26 m) dentro do *atelier*



Figura 3.6 - Atelier Rua de Sèvres 1. FONTE: BOESIGER (1967, p. 298).

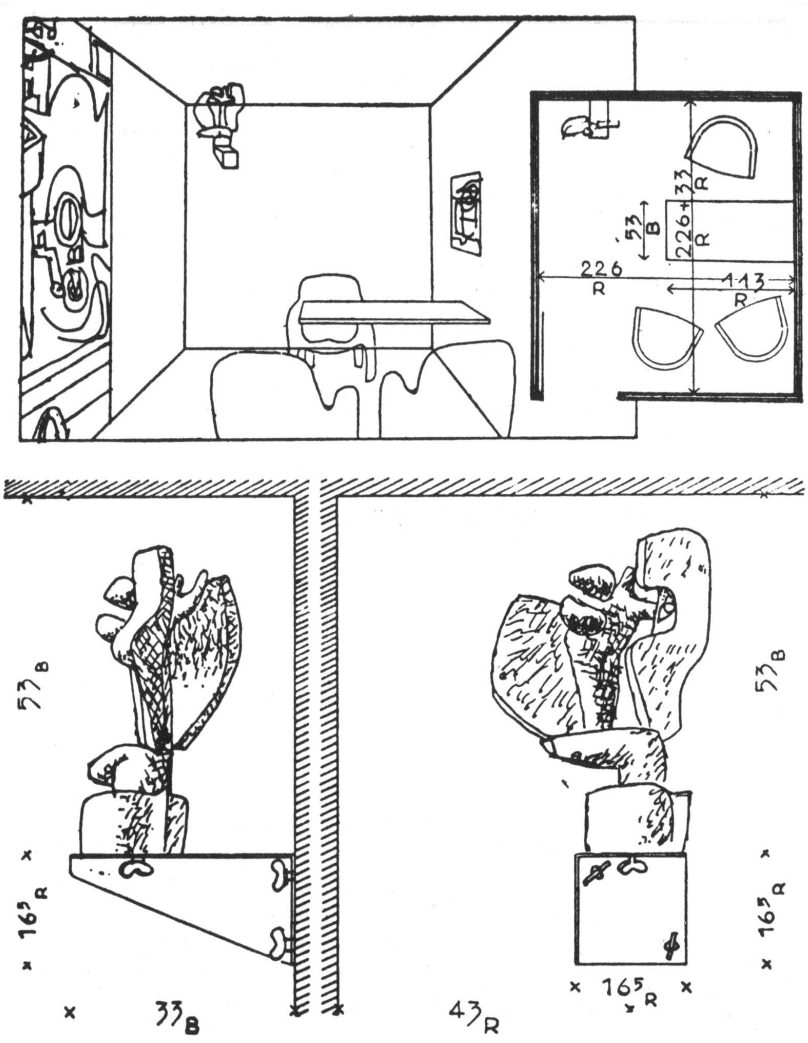


Figura 3.7 - Perspectiva e planta da oficina e posição da escultura. FONTE: CORBUSIER (1976, p. 143).

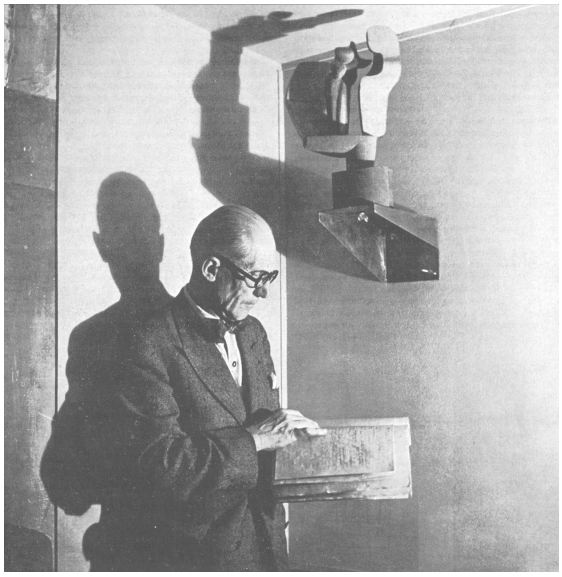


Figura 3.8 - Atelier R Sèvres 1. FONTE: BOESIGER (1967, p. 302).

da Rua *Sèvres*, e de um outro escritório mínimo em seu apartamento na Rua *Nungesser et Coli*, ambos em Paris, Le Corbusier concebeu também uma cabana de férias (4,5 x 3,66 x 2,26 m) em Cap Martin, na Reviera Francesa. Em cada um desses lugares, Le Corbusier concebeu uma escala mínima, condensou suas atividades específicas dentro de uma esfera delicadamente talhada pelo modulor. A cabana (Figura 3.9 / Figuras 3.10 / Figura 3.11) é uma espécie de útero – "modulor shell" –, acontece de dentro para fora, mostrando o rompimento com o exterior que nunca aparece nos desenhos para a cabana de 16 m², que foram um presente de aniversário, de Le Corbusier para sua esposa.

O programa consistia em uma única sala onde, sem tropeçar em malas ou equipamentos de pesca, pudessem dormir duas pessoas (em camas separadas), assear-se, resguardar-se durante as horas de calor do verão e os dias chuvosos do inverno, entregar-se aos prazeres da leitura, da escrita e do desenho, desfrutando por sua vez de magníficas vistas (STINGHEN, 2002, p. 109). Uma vez definido o volume habitável, este foi dividido em dois espaços: uma zona de acesso (0,70 x 3,66 m) e uma única sala (3,66 x 3,66 m) onde se dispunham três áreas funcionais: repouso na parte posterior, circulação no centro e o estar na



Figura 3.9 - Vistas externas da cabana. FONTE: GALFETI (1995, p. 27-28).



Figuras 3.10 - Planta. FONTE: GALFETI (1995, p. 28).

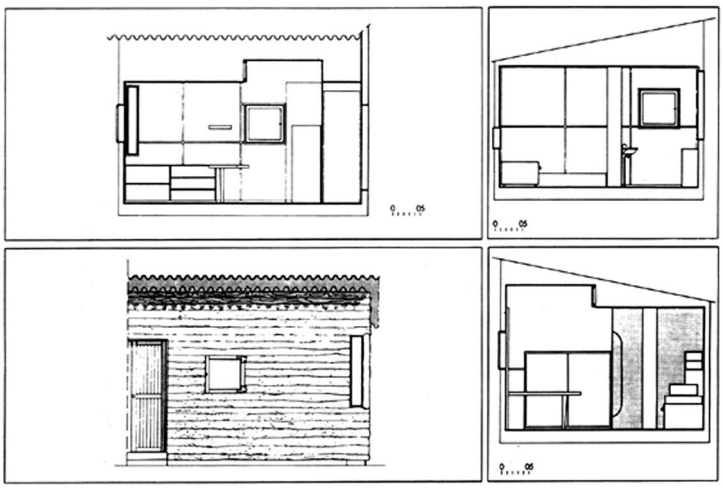
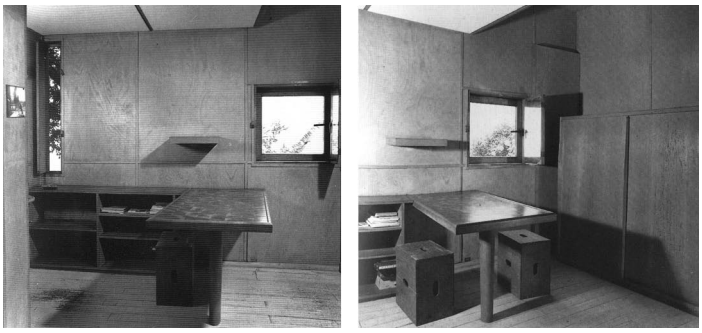


Figura 3.11 - Cortes e elevações. FONTE: GALFETI (1995, p. 28).

parte adjacente ao acesso. O mobiliário composto pelas camas, banquetas e pela mesa fixa – que está engastada na parede, em continuidade ao balcão/estante de livros – são os componentes espaciais do interior (Figuras 3.12) que permitem distinguir as divisões ou limites dentro do espaço mínimo habitável, ou, antes disso, são os organizadores deste espaço. Segundo Galfeti (1995, p. 26), “Um traçado regulador em (Figura 3.13) espiral de planta quadrada relaciona o interior com o exterior (Figura 3.14



Figuras 3.12 - Vistas internas da cabana. FONTE: GALFETI (1995, p. 28).

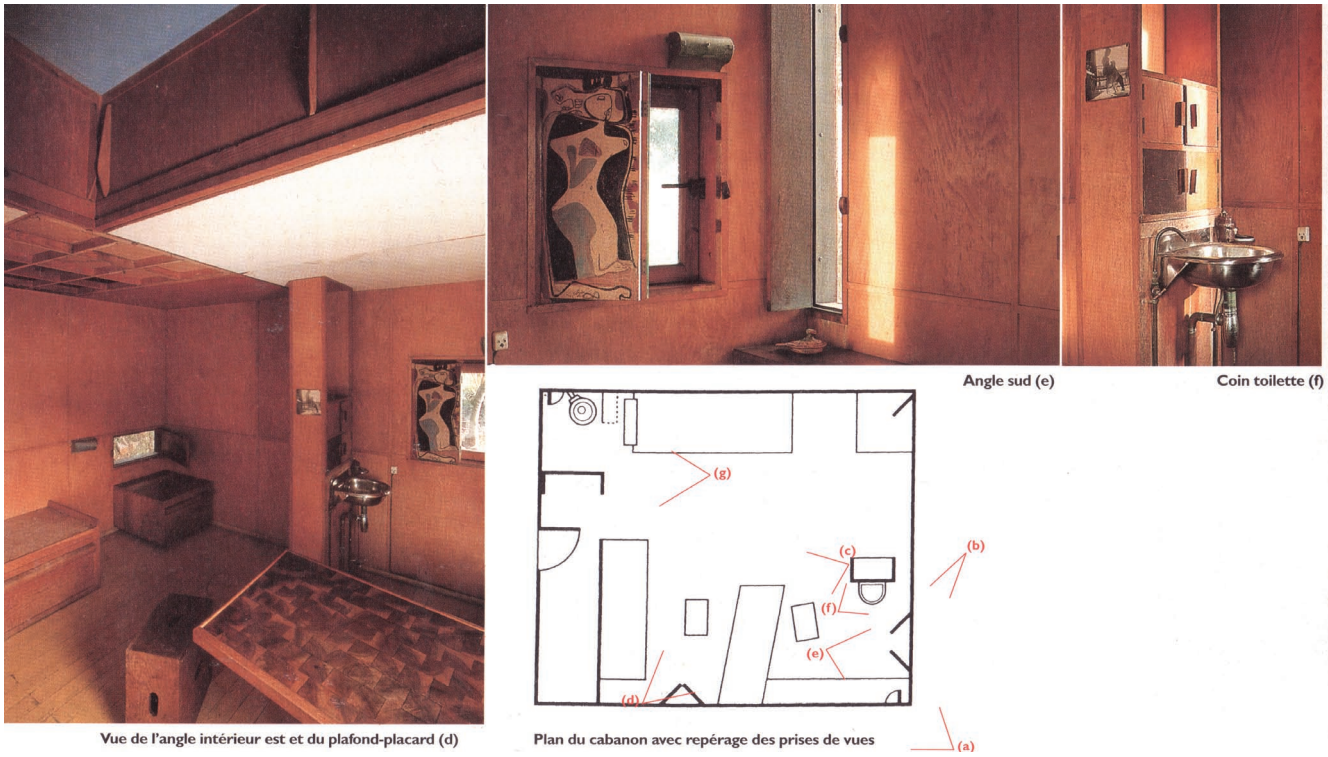


Figura 3.13 - Planta com os pontos de vista demarcados (vistas internas: d, e, f). FONTE: **L’ Architecture d’aujourd’hui**, n. 328, jun. 2000, p. 46.).

/ Figura 3.15), em que o corredor de entrada é o princípio da dinâmica que continua com a disposição das janelas, cobrindo pontualmente um caminho de 270 graus, oferecendo uma variedade de vistas". Essa disposição espiral resume a dupla condição introversa / extroversa desta casa-refúgio. Durante a primeira metade de 1952, o projeto da cabana é desenvolvido no *atelier*, havendo a necessidade de dois engenheiros extras para especificar os detalhes técnicos: Jean Prouve, para as partes metálicas, e Charles Barbéris, que havia colaborado nas Unidades Habitacionais de Marselha, para as partes de madeira. Todos os painéis compensados foram fabricados pela companhia Barbéris' em Ajaccio, e depois levados de barco ou de trem ao local da obra. A cabana foi construída em julho de 1952, e Le Corbusier muda-se para lá em agosto (Figura 3.16 / Figura 3.17).

Como é o caso da maioria de seus projetos, na concepção desta cabana de férias, Le Corbusier considerou também a vasta e tão importante questão da industrialização (estandardização) da construção, para a qual, segundo ele, a ergonomia e o modulor seriam essenciais. A construção da casa foi feita em apenas um mês, mas o projeto e resolução técnica levaram seis meses, o que reforça aquela ideia apresentada no capítulo inicial desta tese de que é preciso despender mais tempo na elaboração de sistemas, e, em ordem decrescente, no projetar o artefato e, por último, no construir a casa.

Outro exemplo notável, talvez o principal trabalho de Le Corbusier utilizando o modulor, é a Unidade de Habitação de Marselha (Figura 3.18), onde uma infinidade de medidas do modulor foi utilizada em diferentes arranjos para *"trazer a escala humana ao edifício que tem 140 m de comprimento, 24 m de largura e 70 m de altura*". O modulor foi utilizado nas outras Unidades de Habitação, inclusive na de Firminy (Figura 3.19**),** mas com menor expressão. Como os franceses costumam dizer "a Unidade de Habitação de Marselha é o *Rolls-Royce* das Unidades de Habitação de Le Corbusier", o que demonstra que a qualidade visual alcançada com a utilização do modulor é algo notado e apreendido pela população em

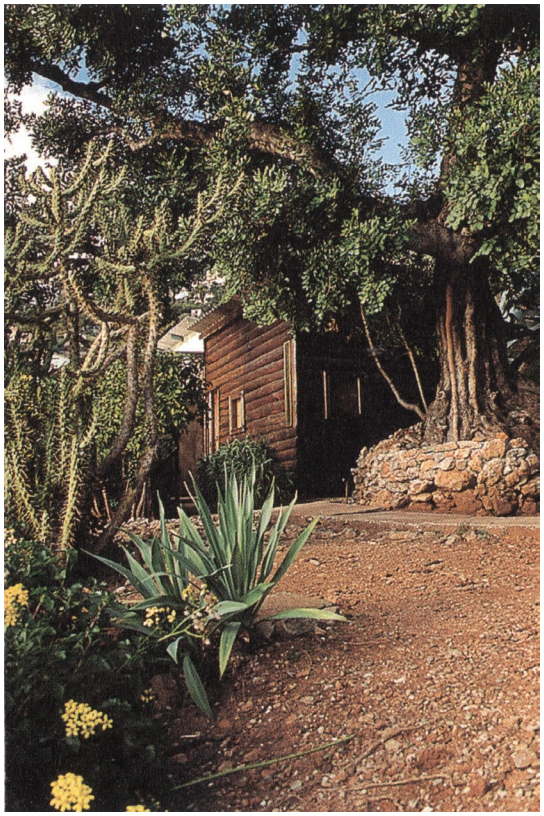


Figura 3.14 - Vista (a) externa da cabana. O jardim e a fachada de entrada. FONTE: **L' Architecture d'aujourd'hui**, n. 328, jun. 2000, p. 44.



Figura 3.15 - Uma das janelas (vista b). FONTE: ***L' Architecture d'aujourd'hui***, n. 328, jun. 2000, p. 44-47.

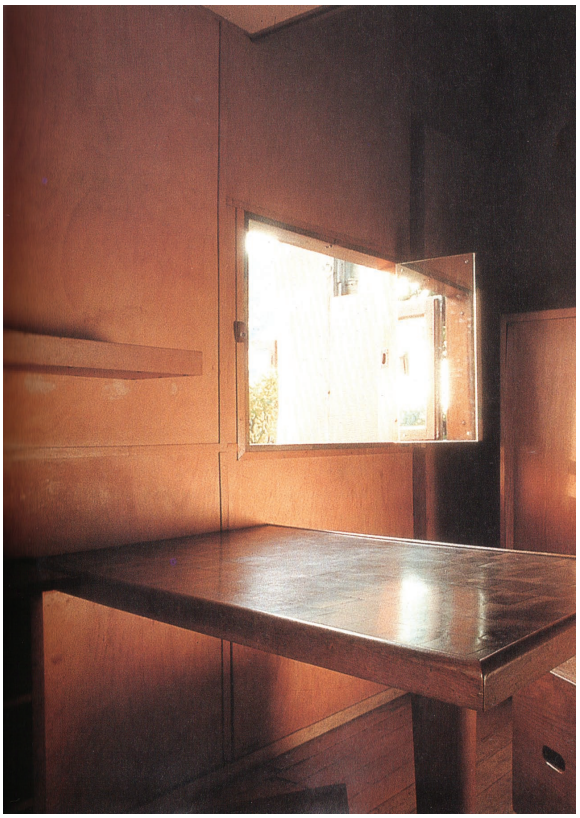


Figura 3.16 - Vista (c) interna de acordo com planta. FONTE: **L' Architecture d'aujourd'hui**, n. 328, jun. 2000, p. 44-46.



Figura 3.17 - Vista (g) interna de acordo com planta. FONTE: **L' Architecture d'aujourd'hui**, n. 328, jun. 2000, p. 44-46.



Figura 3.18 - Unidade de Habitação de Marselha na França. FONTE: Fotos da Autora (2004).

geral. Da mesma maneira que um retângulo áureo, é muito mais agradável visualmente do que um quadrado ou um outro retângulo qualquer.

Albert Einstein, tendo lido a teoria de Le Corbusier sobre o modulor, manifestou-se da seguinte maneira sobre ela*:* "*És una gama de proporciones que hace lo malo difícil e lo bueno fácil*"[6]. Não podemos deixar de notar que o fato de Le Corbusier ter publicado esta frase, de um célebre cientista contemporâneo, em seu livro, era mais uma tentativa de conferir credibilidade à sua teoria.

Segundo Caporioni *et al.* (1971, p. 52), com uma sucessiva adaptação das medidas, a escala do modulor pode traduzir-se em pés e polegadas, demonstrando a aspiração de Le Corbusier de substituir, com ela, no campo da edificação, os dois sistemas de medidas; não obstante, mostrou-se pouco apta para fins de coordenação dimensional, provavelmente por não serem baseadas em valores decimais. Outro problema é o fato de as séries numéricas propostas por Le Corbusier serem bidimensionais por natureza, não constituindo uma solução para o problema da arquitetura, que é a construção do espaço. Longe, portanto, de ser a panaceia para os problemas da construção e da industrialização, o modulor constitui uma tentativa interessante e fecunda, principalmente pelo princípio aditivo das séries numéricas.



Figura 3.19 - Unidade de Habitação de Firmuny na França. FONTE: Fotos da Autora (2004**).**

[6] "É uma gama de proporções que tornam o mau difícil e o bom fácil" (**El Modulor 2**, 1976, p. 297).

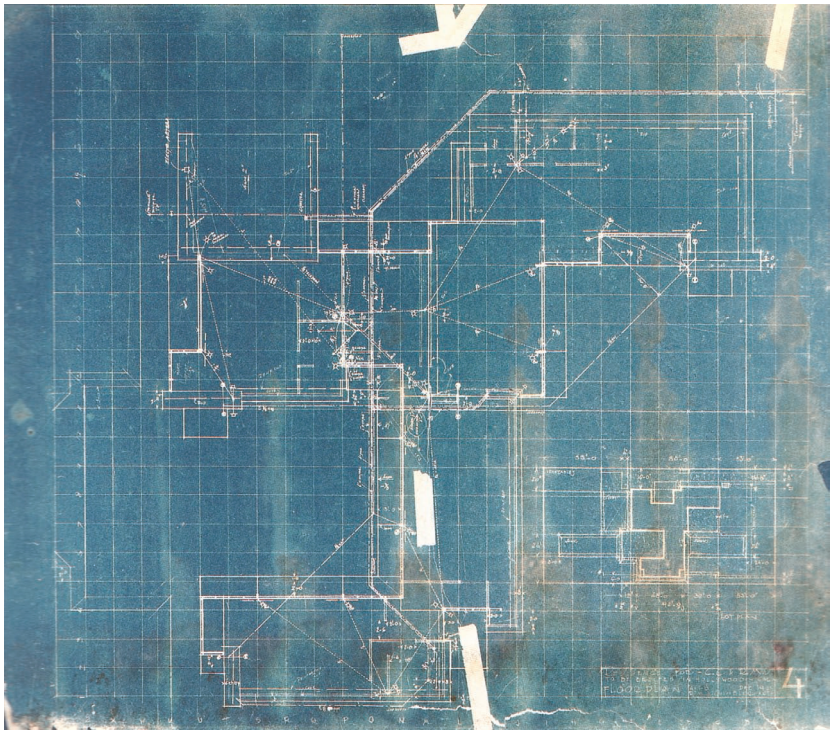
3.1.3 Trama espacial de referência, Coordenação modular e a Linha de Schindler

Schindler (*apud* MARCH, 1995, p. 58) orienta que é necessário criar uma trama espacial de referência, que é o mesmo que uma matriz espacial, tridimensional dentro da qual o projeto de arquitetura possa ser solucionado. Segundo ele, para o arquiteto, um bom sistema de unidades é essencial. No papel, pode-se trabalhar visualmente apenas com duas dimensões, no entanto, o arquiteto lida com formas no espaço, que precisam ser visualizadas e criadas em sua mente. Para Schindler, um arquiteto precisa estabelecer um sistema de unidades que possa ser facilmente acessado em *sua mente* e que dará a ele os valores das medidas de seus projetos, diretamente e sem a necessidade de recorrer a cálculos matemáticos.

Medições expressam relações entre medidas abstratas, vazias de qualquer conotação humana e que por isso não oferecem qualquer auxílio para a imaginação. Schindler enfatiza que é muito difícil visualizar um cômodo com medidas em pés e polegadas, 7”10’ por 11”9’, por exemplo. No entanto, assumindo uma medida de ***quatro pés*** – que é a proposta para a sua unidade – podemos imaginar um quarto que tenha duas unidades de largura por três de longitude. O pé, apesar de ser baseado na figura humana, é muito pequeno para manipulação mental. E o metro, que é uma quarta milionésima parte de um meridiano, não tem relação alguma com a escala humana.

Um produto da arquitetura tem que ser parte da vida humana, e estabelecer com ela uma afinidade em escala e ritmo. Para ser usável, a unidade tem que ter uma relação simples com a estatura humana e precisa ser grande o suficiente para que o número de unidades necessárias para o tamanho de um cômodo comum, como um dormitório ou um banheiro, seja pequeno e fácil de apreender. E tem que ser pequeno o suficiente para suprir as medidas necessárias nos detalhamentos, através de subdivisões. E, por razões práticas, a unidade poderia adaptar-se a certas medidas padrão já estabelecidas, por exemplo, aos comprimentos de madeira serrada industrialmente para portas e alturas de pés direitos, 16” em molduras de madeira, etc. Schindler encontrou a “*four-foot unit”,* ou a unidade de quatro pés, para atender a todas estas especificações, e nos mostra a sua aplicação:

Submetida a apenas três frações (1/2, 1/3 e 1/4) e alguns poucos múltiplos, segundo Schindler, a unidade de quatro pés oferece todas as dimensões necessárias ao arquiteto. Ele pode dispensar as trenas, regras e verificações sucessivas de números. Mas, para usar este sistema tridimensional de referência de maneira eficiente, as linhas da unidade são indicadas em todas as plantas em forma de uma grelha homogênea de quatro pés por quatro pés (Figura 3.20). Em planta, um sistema de linhas é marcado por letras, o outro é numerado, e as linhas verticais (que representam as alturas) marcadas por um grau pré-fixado por um sinal de mais (Figura 3.21). Portanto, torna-se possível localizar qualquer ponto do edifício com precisão,



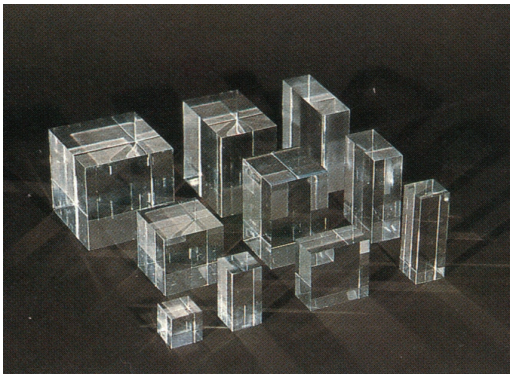


Figura 3.20 - A única planta – impressão azul / cópia heliográfica – remanescente que se tem conhecimento da *Kings Road House*. A planta mostra a primeira aplicação do sistema espacial de referência. FONTE: MARCH (1995, p. 59).

Figura 3.21 - Tina Gruen, modelos de *plexiglass* mostrando a subdivisão espacial do cubo proposto por Schindler utilizando divisões pela metade, um terço e um quarto, 1987. FONTE: MARCH (1995, p. 58).

o que permite dar instruções específicas e resolver problemas técnicos da construção por escrito e até por telefone. E também torna possível numerar e localizar ao mesmo tempo todos os pilares, vigas, portas e detalhes com precisão. Isso torna o sistema unitário absolutamente essencial para a pré-fabricação, onde a rapidez em numerar, listar, checar e unir partes é importante. A aceitação generalizada do esquema de unidade poderia, segundo Schindler, tornar mais saudável uma padronização em toda a indústria da construção civil – saudável porque poderia padronizar as medidas e simplificar as uniões, sem forçar o uso de um grande número de elementos. Além disso, a padronização não suprimiria a expressão individual, mas a estimularia, uma vez que o arquiteto passa a ter um poderoso domínio espacial dentro de sua própria mente.

Schindler explica porque a unidade de 4” (quatro polegadas) ou 10 cm não poderia ser mantida e porque não resolveria o problema da pré-fabricação de partes passíveis de serem usadas universalmente: Digamos que um fabricante de perfis de aço, forneça esquadrias de 4” (quatro polegadas).

Um perfil ou uma esquadria poderiam não tolerar uma divisão ou corte, nem um azulejo oco, tampouco molduras de madeira ou tijolos; uma vez que a espessura destes últimos, com as juntas, é cerca de 5 ½" (14 cm), a unidade de 4" (10 cm) não é nada prática. Um perfil para esquadria de 4", por sua vez, é muito largo, o que estragaria a sensação de continuidade visual nas aberturas. No entanto, se o mesmo fabricante fizesse janelas que coubessem no esquema da unidade de quatro pés, desenhando os perfis das esquadrias com uma largura mínima que fosse viável estruturalmente para todos os seus possíveis usos, seu produto se adaptaria bem em todas as casas baseadas na mesma unidade. Para desenvolver uma unidade de 4" ou 8" mandatária para todos os trabalhos com tijolos, seria necessário que houvesse completa padronização, não apenas para o tijolo, mas também para todo o conjunto de elementos, o que faria surgirem dois problemas: o primeiro é que isso implicaria em criar um diálogo entre várias cadeias produtivas que comprovadamente não dialogam entre si e, o segundo é que, segundo Schindler, "erradicaria toda liberdade do arquiteto".

> Nós temos que entender que "proporção" não é simplesmente uma relação matemática (Seção Áurea, etc.) que poderia ser aplicada universalmente em todas as edificações como acontecia nos tempos clássicos. Proporção é uma ferramenta viva nas mãos do arquiteto moderno, que pode usar suas variações livremente para conferir a cada edifício seu próprio sentimento individual. Somente uma grande unidade de quatro pés dará a ele margem suficiente para relacionar o tijolo comum com o que quer que seu sistema proporcional necessite. Não é necessário que o arquiteto seja escravizado pela grelha. Eu constatei que ocasionalmente, uma forma no espaço pode melhorar por desviar ligeiramente da unidade. Tais desvios não invalidam o sistema como um todo, meramente revelam os limites inerentes a todos os sistemas mecânicos. Acredito que a "arquitetura do espaço" – e não modismos como "estilo internacional" ou "funcional" – será a nossa contribuição mais duradoura para o futuro, e, é portanto, importante para os construtores, familiarizarem-se com o uso das matrizes espaciais de referência o mais rapidamente possível (SHINDLER *apud* MARCH, 1995, p. 60).

Material e construção fazem parte integralmente da concepção de uma edificação. O sistema padrão de construções de madeira (*wood frame construction*) não é, segundo Schindler, adequado para a execução da habitação contemporânea. Schindler estava obviamente se referindo às casas da primeira metade do século XX e prossegue, "O sistema *ballon frame* pressupõe uma construção em forma de caixa e cômodos pequenos, com grandes áreas de parede e pequenas aberturas, divisórias sólidas, sobrepostas por um telhado inclinado de projeções pequenas e de caráter apenas decorativo".

O arquiteto contemporâneo pensa em termos de espaços integrados. Grandes aberturas, reduzindo paredes ao mínimo. Alturas do teto que possam variar sem perturbar o pé-direito e o caráter aberto para o céu do edifício. Uma orientação cuidadosa dos cômodos faz



Figura 3.22 - Sala de estar de Pauline Schindler, Casa Schindler/ Chace, North Kings Road, West Hollywood, 1921-22. FONTE: STEELE (2005, p. 20-25).

dos *lantermins* ou clerestórios[7] (Figura 3.22) e das grandes janelas panorâmicas necessários nos projetos do período.

A solução proposta por Schindler, conquistada, segundo ele, "através de lutas contra os vínculos que os carpinteiros têm com o método tradicional, finalmente desenvolvemos o *"Schindler Frame*", que elimina uma multiplicidade de detalhes estruturais improvisados que o *ballon frame* força a ter nos edifícios contemporâneos". Construindo uma casa contemporânea, o "*Schindler Frame*" utiliza madeira comum e técnicas conhecidas de marcenaria. E, embora algumas das características apresentadas sejam baseadas em regras e particularidades californianas, apenas ligeiras alterações seriam necessárias para o seu uso em outros climas.

Os porões tão comuns e necessários nas *baloon frame houses*, com todos os caros problemas de umidade, drenagem, ventilação, iluminação, salubridade e escadas de acesso, são eliminados com a proposta de *Floor framing* de Schindler. Além disso, uma das consequências de se desejar uma maior integração entre interior e exterior, ou uma maior conexão com o "out-of-door", ou exterior, é a de trazer o piso da casa para mais perto do solo. O assoalho das casas comuns costuma ser apoiado sobre barrotes e estes sobre vigas, o que requer muita madeira tratada, e, por causa da espessura do conjunto, escavações mais profundas. As pranchas ou tábuãos de encaixe macho e fêmea, e com ranhuras na superfície inferior do *Schindler Frame*, são mais simples de instalar, reduzem a quantidade de

[7] Clerestório é uma janela, ou uma sequência de pequenas janelas posicionadas no alto de um ambiente, geralmente entre as duas águas de uma cobertura, com o objetivo de iluminar melhor o espaço.

madeira tratada ao mínimo e garantem um piso mais quente. Além disso, a possibilidade de pisos de maior extensão fazem do uso de vigas pré-fabricadas de concreto, econômicas para a construção de casas (Figura 3.23).

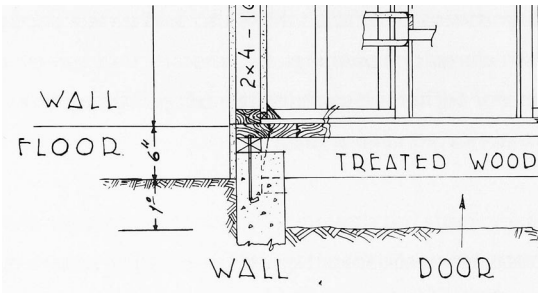


Figura 3.23 - *Schindler Frame* e detalhes do *sistema*. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 63).

Nas *balloon frame houses*, os montantes (elementos verticais estruturais) de madeira são cortados na altura da parede. Numa “space house” proposta por Schindler, a altura do teto varia repetidamente, o que dificultaria o trabalho de carpintaria que tem que locar as diferentes alturas de montantes requeridos no projeto. E também interrompem a cinta formada pelas vigas de fechamento de topo, toda vez que a altura do teto se altera, assim, enfraquecendo o importante contraventamento horizontal que estes elementos poderiam garantir à edificação, uma vez dispostas em cinta. O “Schindler frame” elimina todas estas dificuldades, cortando-se todos os montantes da casa na altura das portas, garante-se o referido contraventamento com as vigas, ou tábuas contínuas de topo, nesta altura. A continuidade horizontal do desenho torna-se uma realidade estrutural (Figura 3.24) e não tem que ser atingida através da repetição de medidas abstratas.

Portas e janelas são, por sua vez, fixadas abaixo e acima desta forte linha horizontal formada pelas vigas (ou tábuas contínuas de topo), que fornecem a guia horizontal para suas alturas. No topo da referida guia, resta uma bandeira horizontal de madeira e vidro, que levanta o pé-direito à altura requerida. Essas madeiras têm entre 3 e 16 polegadas (ou seja, de 7,5 cm a 40 cm) de altura, têm função de caixilho para os *lanternins* e ao mesmo tempo servem como apoio para as vigas da cobertura e dos balanços. Desta maneira os *lanternins* ou clerestórios são inseridos sem dificuldades e as diferenças de alturas intensificadas, independentemente das divisões internas dos ambientes, permitindo ao “*arquiteto do espaço*” maior liberdade para determinar a configuração dos ambientes. Os balanços da cobertura, por sua vez, são profunda e facilmente ancorados na estrutura.

A construção convencional do telhado, com suas vigas, barrotes, caibros, ripas, telhas, gesso ou argamassa



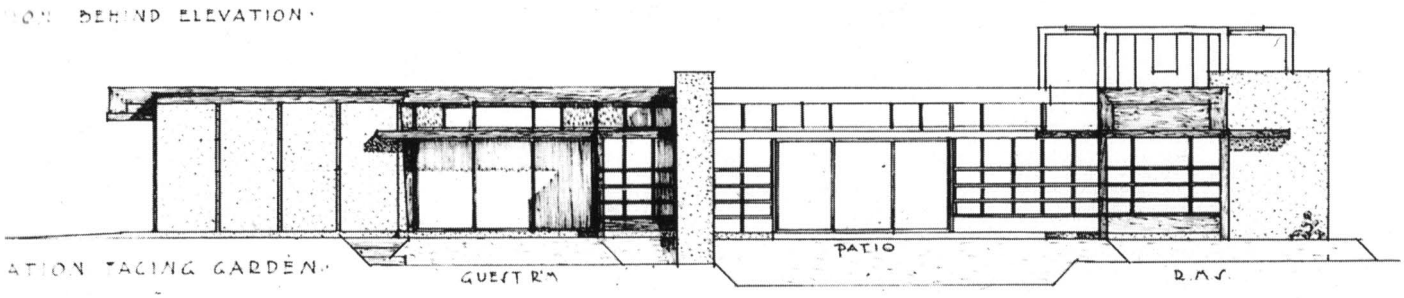
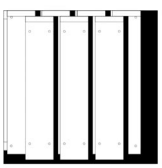


Figura 3.24 - Elevação *Kings Road House*, 1922. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 67).



armada, e demais componentes, além de cara, é especialmente complicada e muito espessa; especialmente quando se pretende ter janelas altas – como os *lanternins* ou clerestórios – entre os diferentes níveis de cobertura, o que resulta em alturas excessivas de telhado. O “Schindler Frame” elimina todo o madeiramento do telhado em favor de uma sequência de tábuas ou pranchas posicionadas horizontalmente, de encaixe macho-e-fêmea no sentido longitudinal e dentadas na parte inferior e com uma espessura que varia entre 2” e 3” ou 5 a 7,5 cm. Uma vez que a água das chuvas pode escoar por toda a borda do telhado, conforme pode ser observado no detalhe (Figura 3.25), a inclinação do telhado pode ser reduzida a um mínimo para ajudar a drenagem. Sobre as pranchas de madeira, uma camada de linóleo[8] faz o papel de impermeabilizar a cobertura, que, desta maneira, fica com uma espessura final de apenas 6 ou 8 cm – semelhante a uma laje maciça de madeira – e, uma *testeira* faz o arremate em toda a borda, também de madeira que varia entre 6” e 12” de altura, ou seja, de 15 cm a 30 cm e que poderia neste caso ser chamada de platibanda. Em comparação à um telhado convencional, a eficiência do telhado de pranchas é, segundo Schindler, favorável, pois ele diminui os custos com mão de obra sem aumentar os custos com material. Uma espessura das pranchas de 1-5/8 polegadas (aproximadamente 4 cm) é suficiente para vãos de 3,00 m. Mas, com o artifício da cinta e dos cleretórios que funcionam como vigas treliçadas, os vãos alcançados são maiores, uma vez que as pranchas se apóiam em vigas intermediárias sem que se perca a continuidade espacial. Isto elimina os custos com madeiramento, argamassa armada e gesso, uma vez que pode ser tratado como um teto de madeira acabado, calafetando as juntas com argamassa comum. A continuidade espacial é mantida, também, pelo fato do teto e dos balanços serem do mesmo material. Quanto à insolação, com pranchas de 2 polegadas (5 cm) a resistência ao calor é superior a do telhado comum, e sua eficiência pode ser aumentada através do aumento de sua espessura; o que as fortalece e traz, consequentemente, a possibilidade de

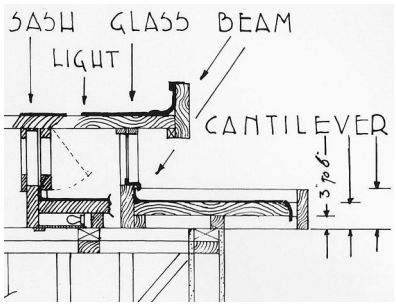


Figura 3.25 - Detalhe do escoamento de águas pluviais no sistema *Schindler Frame*. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 63).

[8] Linóleo é um acabamento de superfície – ou uma superfície de proteção – extremamente resistente à abrasão, aplicado na forma de mantas ou placas sobre pisos ou coberturas, composto por: pó de madeira, juta e cortiça, resinas naturais, óleo de linhaça e pigmentos. Os ingredientes para a sua fabricação são os mesmos há mais de 100 anos.

vãos maiores entre as vigas da cinta.

O mais importante no sistema proposto por Schindler, além de sua abertura, economia e capacidade de utilizar material e mão de obra convencionais, é o fato de ser um sistema relativamente simples, de modo que está todo contido em apenas duas pranchas de desenho: a primeira é denominada “SCHINDLER FRAME” (Figura 3.26) e mostra, através de uma única seção vertical, todo o sistema estrutural, os montantes, as tábuas de topo que formam a linha guia na altura das portas, os *lanternins* acima desta linha, a cobertura, as aberturas e os fechamentos. A segunda prancha denominada “SCHINDLER FRAME DETAILS” (Figura 3.27) mostra, em um número reduzido de desenhos, todos os detalhes necessários a construções residenciais.

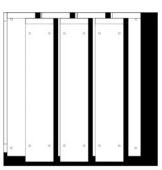
A abordagem arquitetônica para dimensionamento tomada por Rudolph Schindler (1887-1953) é descrita por Jin-Ho Park em um artigo complementar da edição do *Nexus Network Journal* de 2003. Enquanto a trama espacial de referência tem se tornado mais conhecida (Schindler, 1946), sua relação com a Linha foi descoberta apenas na investigação recente de Park. A teoria da Linha contém noções tradicionais de proporção, muitas das quais são derivadas do princípio geométrico de similitude: um princípio que é frequentemente representado em desenhos arquitetônicos através de linhas reguladoras e triangulação. Park dá exemplos disso. Aqui, a simples matemática da Teoria da fileira é apresentada. Como já foi dito, Schindler (1946) concebia mentalmente um projeto dentro de uma grade cartesiana tridimensional: {(x.y.z.) para todos os valores inteiros positivos}.

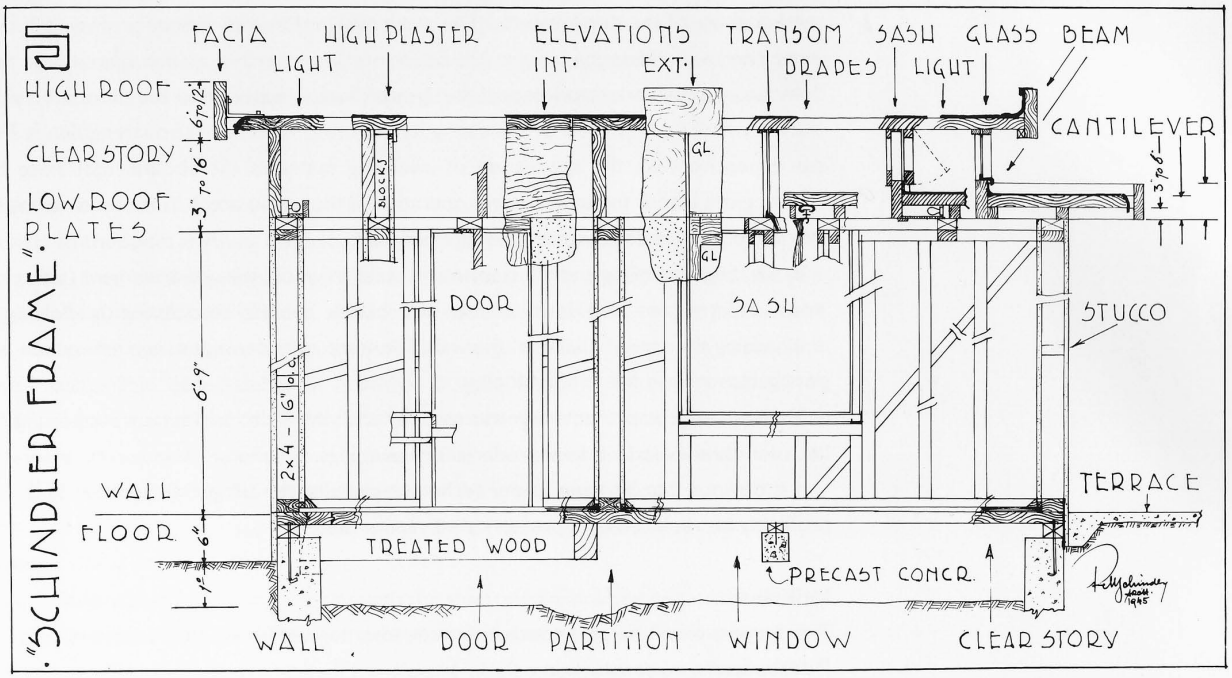
Como arquiteto, Schindler teve de escolher um módulo apropriado para sua unidade. Na maioria de seus desenhos e modelos ele utilizou 4 pés[9] ou 48 polegadas[10] (121,92 cm – arredondado para 120 cm). Este módulo poderia ser dividido, pormenorizou Schindler, por ½ (60 cm), 1/3 (40 cm), ¼ (20 cm), sem perder a noção das dimensões. Na realidade Schindler utilizou 36 (91,44 – 90 cm), 24 (60,96 – 60 cm) e 12 (30,48 – 30 cm) polegadas como refinamentos em planta, e as divisões por um terço, 16 (40,64 – 40 cm) e 32 polegadas (80 cm), quase que exclusivamente nas elevações.

Consideremos um módulo geral M (120 cm). As divisões equivalentes para refinamentos dimensionais são, portanto, M/4 (30 cm), M/3 (40 cm), M/2 (60 cm), 2M/3 (80 cm), 3M/4 (90 cm). Introduzindo o conceito da Fila: Segundo notas de leitura não publicadas de Emma Chuch School, em 1917, Schindler definiu criticamente uma “fila” como “uma sucessão de unidades desiguais que definem mudanças de relações”. A seguir ele deu este exemplo: ½, 2/3, ¾, 4/5, 5/6... Depois de Robinson (1899), ele sugeriu uma interpretação desta sequência, ou “fila”, como intervalos proporcionais dentro de uma escala musical. Schindler sugeriu a regra geral: “se p/q é o final de uma seqüência, o termo que o sucede é dado pela regra: p/q = (p + 1)/(q + 1)”. Então: (p - 1)/(q – 1), p/q, (p +1)/(q+1). E assim, sucessivamente. Tratava-se de mais uma tentativa de organizar dimensionalmente a arquitetura.

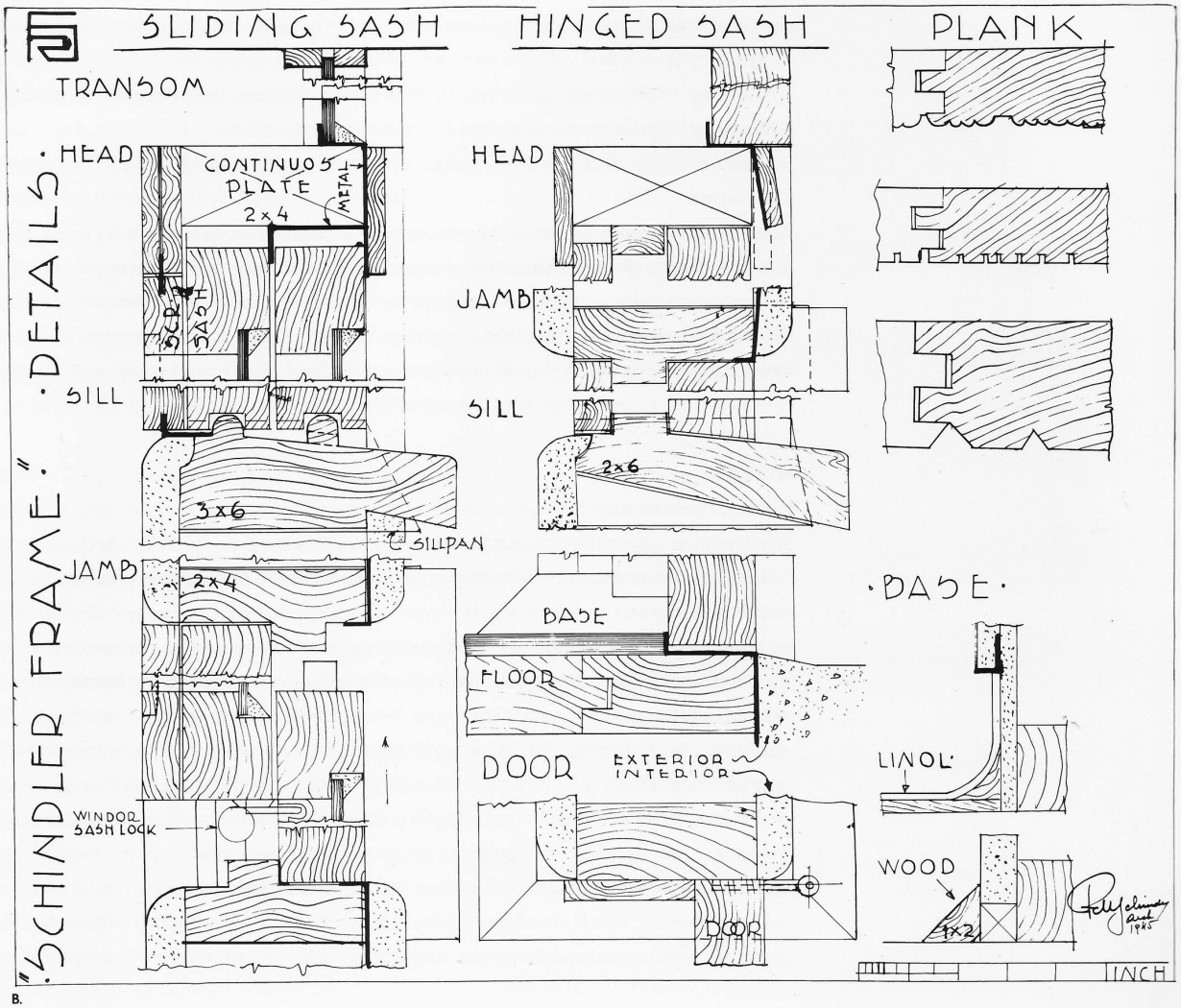
[9] 1 pé equivale a 0,3048 m ou 30,48 cm.

[10] 1 polegada equivale a 0,0254 m ou 2,54 cm.





A.



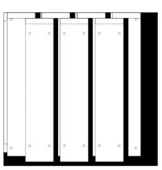
B.

Figura 3.26 - *Schindler Frame*. Fonte: MARCH *et al.* (1995, p. 63).

Figura 3.27 - Detalhes do *sistema Schindler Frame*. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 63).

Rudolf M. Schindler e Le Corbusier nasceram no mesmo ano, 1887. Schindler seguiu o seu próprio instinto paralelamente às pesquisas feitas por Le Corbusier, para chegar a conclusões bem diferentes. Uma comparação entre o sistema de Le Corbusier (Baseado no texto escrito por Rudolf Wittkower, 1970) e o sistema de Schindler (Baseado em suas próprias palavras, escritas no *"Reference Frames on Space",* 1946), está resumidamente apresentada na tabela abaixo:

Le Corbusier	**R. M. Schindler**
1) "[...] o Modulor é uma ferramenta de medição baseada no corpo humano. Antropometria é a sua essência. Le Corbusier segue a linha de desenvolvimento de Vitruvius e do Renascimento".	1) "A 'Escala' denota um relacionamento dimensional consciente entre partes de uma estrutura e uma unidade básica. Esta unidade, em uma moradia é, naturalmente, a figura humana".
2) "[...] unidades geométricas básicas, o quadrado e o quadrado duplo, são o ponto de partida de Le Corbusier. Quadratura, vimos, desempenhou um papel esmagador na Idade Média, e o quadrado e o duplo quadrado com sua razão 1:2 tem conexões Pitagóricas. Le Corbusier enxergava estas unidades relacionadas ao homem [...]".	2) "As linhas da unidade eram indicadas em todas as plantas na forma de uma grelha de quatro por quatro pés. Um sistema de linhas em planta era marcado com letras e o outro numerado, e o vertical marcado com graus. Para ser usável, a unidade tem que ter uma relação simples com a estatura humana e precisa ser grande o suficiente para que o número de unidades necessárias para o tamanho de um cômodo comum seja pequeno e fácil de apreender".
3) "Duas Seções Áureas são introduzidas, a primeira adicionada ao quadrado e, a outra subtraída do duplo quadrado. A Seção Áurea adicionada ao quadrado, determina a relação entre as duas partes do corpo, abaixo do plexo solar e deste até a cabeça. Já a Seção Áurea subtraída do quadrado duplo determina a relação do piso até a altura da mesa e desta até a altura das pontas dos dedos do braço erguido".	3) "... the four foot unit" Altura humana = 1 ½ unidades = 6'0" Altura padrão de uma porta = 1 2/3 unidades = 6'8" Altura padrão de um cômodo = 2 unidades = 8'0" Frações: ½ unidade = 24" 1/3 unidade = 16" ¼ unidade = 12" "Estas três frações e umas poucas multiplicações da unidade de quatro pés oferece todas as dimensões necessárias ao arquiteto".
4) "O modulor não é um módulo em seu sentido comum. Este consiste em uma escala de medidas derivadas do homem com uma altura de seis pés... através da combinação de duas séries [vermelha e azul], chega-se a uma série de termos que tem uma influência especial sobre o homem no espaço, como Le Corbusier tenta demonstrar... Uma ilustração publicada por Le Corbusier mostra que cada série pode ser desenhada como uma grelha que engendra uma grande variedade de formas. Outra figura apresenta o ponto de intersecção da sobreposição entre as séries Vermelha e Azul e, aqui, o entrecruzamento da unidade original, da unidade dupla e da Seção Áurea podem ser notados".	4) "Ritmo é uma relação espacial, que não pode ser atingido pela simples repetição aritmética da mesma parte, mas deve ser mantido pelos espaçamentos entre partes relacionadas, quer sejam semelhantes ou não. Como na música, em que um esquema rítmico pode tanto ser uma simples repetição, quanto a mais sutil interlocução entre uma variedade de ritmos. E é praticamente impossível manter um tal entrelaçamento rítmico em apenas um plano. Neste sentido, um módulo muito pequeno, como o de 4 polegadas (10 cm), não ajuda pois tende a criar textura ao invés de ritmo".



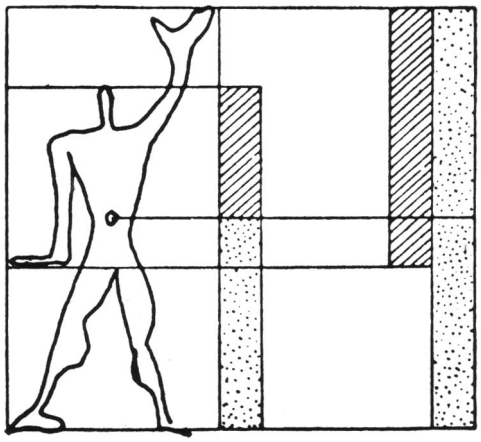
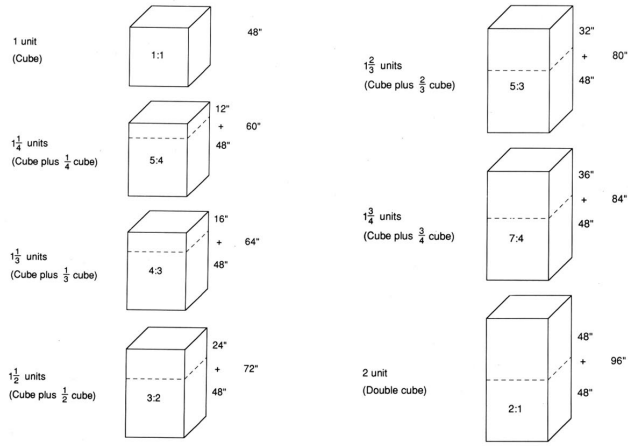
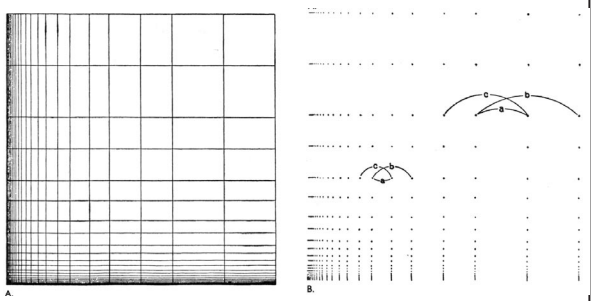
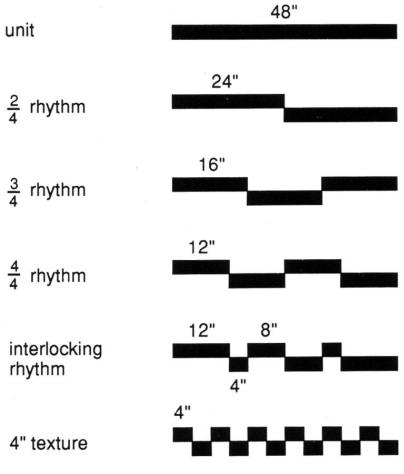
5) “[...] o Modulor é um meio perfeito de unificar a produção em massa e os produtos manufaturados. Diferentemente de um módulo arbitrário, ele oferece a possibilidade de integração harmoniosa entre produtos padronizados. Em contraposição aos tecnólogos entre os arquitetos, que consideram um módulo esteticamente neutro, para Le Corbusier, a satisfação estética advinda da modulação está acima de todas as outras vantagens. Desde 1936, (mais precisamente desde o lançamento do livro *“The Evolving House”* de Bemis, *em* 1935), uma grelha de 4 polegadas (10 cm) tem sido quase mundialmente preferida. A diferença entre a estática – estéril, o autor é tentado a dizer – qualidade da grelha modular normal e a dinâmica qualidade da grelha de Le Corbusier é marcante”.	5) “Recentemente (por volta de 1936-38, também depois do lançamento do livro de Bemis), o Conselho dos Produtores me enviaram um panfleto em forma de folha de oliva advogando em prol de se utilizar o módulo de 4 polegadas (10 cm) para todos os trabalhos de construção. Substituir a polegada (2,54 cm) por uma unidade maior (4 polegadas = 10,16 cm) como base de medida, pode ajudar a padronizar os produtos manufaturados, mas negligencia as verdadeiras necessidades do arquiteto. O arquiteto precisa de uma unidade de medida que seja grande o suficiente para conferir ao edifício ritmo e coesão. E por último, o mais importante para o *space architect*, ela precisa ser uma unidade que ele possa carregar de maneira palpável em sua mente a fim de ser capaz de lidar com as formas livremente no espaço, mas com precisão em sua imaginação”.
	
Figura 3.28 - Modulor de Le Corbusier. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 90).	Figura 3.30 - *Schindler Frames on space*. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 90).
	
Figura 3.29 - Séries de Le Corbusier. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 91).	Figura 3.31 - Ritmo de Schindler. FONTE: MARCH *et al.* (1995, p. 91).

TABELA 3.1: COMPARAÇÃO ENTRE O *MODULOR* DE LE CORBUSIER E O *SCHINDLER FRAME* DE SCHINDLER.
FONTE: Adaptado de March *et al.* (1995) e complementado pela autora.

A tabela acima deixa claro que Le Corbusier e Schindler concordavam em um ponto: consideravam o decímetro (módulo de 10 cm) ineficiente para fins arquitetônicos, apesar de não negarem as vantagens associadas ao seu uso para fins de industrialização e padronização, quando comparado à polegada. E a rejeição da monocrática seção áurea por Schindler é certamente a primeira distinção que pode ser feita entre o *Modulor* e o *"Reference Frames in Space".*

A despeito de todas as diferenças, tanto o esforço continuado de Schindler em sistematizar, como o empreendido por Le Corbusier, na mesma época – ou seja, todo o trabalho em transformar tanto o projeto como a construção numa atividade sistêmica, passível de ser compreendida e repetida, não apenas por eles mesmos –, tinham o claro propósito de, mais do que formar uma escola, resolver problemas com soluções passíveis de serem aplicadas universalmente. Tanto o *"four foot unit*" e o "*Schindler Frame"*, quanto o *Modulor*, não estabeleceram fórmulas para o projeto de arquitetura, mas pretendiam racionalizar a construção, e tornar viável a pré-fabricação de componentes. Para tornar isso possível, ambos acreditavam que seria preciso estabelecer um conjunto de dimensões que, além de proporcionar diretrizes e agilizar a produção em série de componentes construtivos, fossem, antes de qualquer coisa, agentes estimuladores de uma qualidade arquitetônica, acima de tudo, espacial e tectônica.

3.2 MADEIRA, MODULAÇÃO E COORDENAÇÃO DIMENSIONAL

Neste subcapítulo discute-se a importância da modulação e coordenação dimensional para o desenvolvimento de elementos e sistemas construtivos abertos em madeira. Para que o projeto de arquitetura de madeira seja viável é necessário que os componentes construtivos sejam parcial ou totalmente pré-fabricados, o que exige um sistema modular que influencia a concepção da edificação.

3.2.1 Módulo e Arquitetura: um pouco de história

Enquanto Etruscos e Gregos utilizavam o módulo como elemento de composição, cabendo a Vitruvio e Vignola registrar mais tarde as regras em seus tratados de arquitetura que durante séculos iriam servir de texto básico em muitas escolas neoclássicas, os Romanos serviram-se do módulo para estabelecer medidas dos elementos construtivos e de utensílios domésticos: tubos cerâmicos, telhas, tijolos, colunas, ladrilhos, ânforas, copos e pratos[11]. As dimensões dos elementos construtivos romanos eram múltiplas do "pés", unidade de medida antropométrica, e é interessante notar que em seu imenso império podiam-se encontrar dois únicos tipos de tijolos, "bipedalis" e "sesquipedalis", rigorosamente padronizados. Desde o

[11] Professor iugoslavo Tine Kurent, pesquisas sobre documentos arqueológicos. Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 1, dez. 1969.

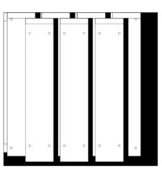




Figura 3.32 - Organização do espaço japonês baseado na medida do tatami e a sua relação com a posição dos pilares. Residência próxima a Osaka, século XVI. FONTE: BLASER (1996, p. 123).

planejamento das cidades, até o projeto dos edifícios, a medida básica era o “passus”, um múltiplo do “pés”[12]. Ainda, conforme o Noticiário da Coordenação Modular[13], as pesquisas arqueológicas do professor Tine Kurent demonstraram que os romanos, além de usarem componentes modulados e padronizados, estes tinham as suas medidas de fabricação correspondentes a uma modulação que já levava em conta a espessura das juntas ou a sobreposição das peças.

Embora com o mesmo intuito de normalizar dimensões, mas adotando critérios diferentes, também no Japão a composição arquitetônica obedeceu durante muitos séculos às regras determinadas pelas dimensões do “tatami”, esteira retangular de palha que revestia o piso das casas tradicionais, construídas em plano e em elevação, tendo como unidade de base as medidas do tatame. O tatami foi fundamental para que se mantivesse a coordenação modular da casa japonesa. Mede 176 cm x 88 cm e tem uma espessura aproximada de 5 cm. Trata-se substancialmente de uma esteira de palha de arroz entrelaçada e recoberta de junco, e contornada por uma tira negra de tela (Figura 3.32). O tatami é a unidade de medida dos ambientes, inclusive no sentido vertical.

Note-se que 88 cm + 88 cm = 176 cm, e esse princípio aditivo é fundamental para fins de coordenação dimensional (Figura 3.33). O sistema modular geral adaptado para construção das ossaturas de madeira é devido ao posicionamento dos pilares na estrutura.

[12] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 1, dez. 1969.
[13] Professor Tine Kurent, pesquisas sobre documentos arqueológicos. Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – 1972.

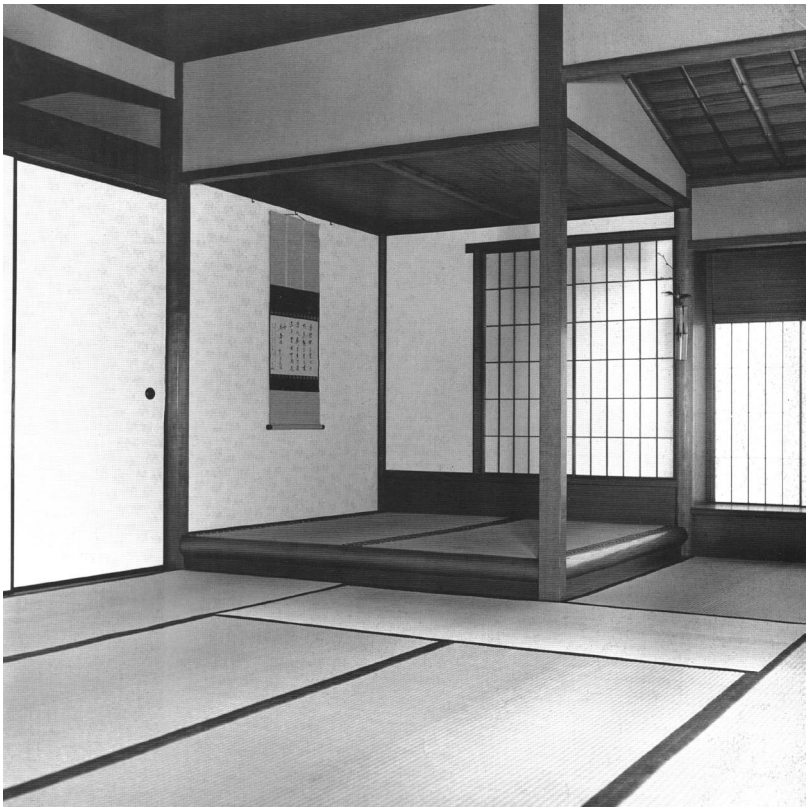


Figura 3.34 - Escola de chá em Kyôto. FONTE: BLASER (1996, p. 117).

Um sistema cria imperativos funcionais como, por exemplo, a divisão da parede e as aberturas de portas e janelas. Os dois sistemas (plano e tridimensional) devem ser escolhidos de tal maneira que pertençam ambos a um sistema de medida comum. As distâncias entre os pilares (Figura 3.34) na direção principal e na direção secundária resultam da multiplicação ou

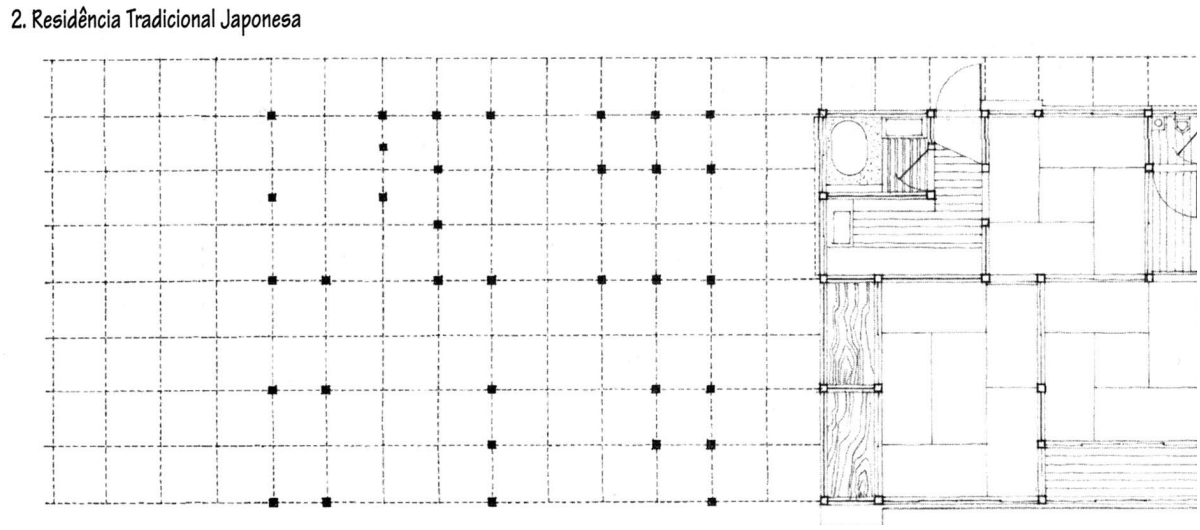


Figura 3.33 - Planta de uma casa japonesa. FONTE: CHING, 2002, p. 129).

da soma do módulo utilizado, que deste modo obedecem vãos regulares de, por exemplo, 352 cm entre pilares.

Além do tatami, os painéis japoneses shoji, fusuma também ilustram essa ideia. O shoji (Figura 3.35) é um painel de fachada formado por um quadro periférico de madeira com a incorporação de uma estrutura com listras de desenho variado. Também é variável o comprimento da base do quadro que, em alguns casos, equivale à metade da altura do painel; na parte exterior do painel se aplica uma folha de papel translúcido. O fusuma (Figura 3.36) é estruturalmente análogo ao shoji, ambos os lados do painel estão revestidos com papel translúcido, e têm sido usados desde o século XIV para dividir ambientes grandes em outros menores. Inversamente, sendo o fusuma um painel transportável, é possível se recompor os ambientes sempre que se apresente a ocasião. A operação é fácil, porque na casa japonesa os móveis quase não existem e, por conseguinte, não constituem um obstáculo para transformar os ambientes.

Registra também a história das técnicas construtivas que para facilitar a utilização de elementos retirados de antigos monumentos clássicos ou para aplicar colunas ou capitéis pré-esculpidos nas imediações das jazidas de mármore, os arquitetos da Renascença utilizavam o módulo numa função especial, que foge de um simples princípio métrico, para atender a um objetivo prático: uma abordagem industrial de um processo construtivo. Trata-se da repetição das operações que eram executadas por artesãos especializados, visando "fabricar" ou pré-fabricar os elementos construtivos para depois serem apenas "montados" na obra.

Na segunda metade do século XIX e início do século XX, como efeito da Revolução Industrial, surgem na Inglaterra obras de notável significação histórica, entre as quais, destaca-se como um importante marco o Palácio de Cristal. Obra de Joseph Paxton, o edifício de 71.500 m^2 foi construído em Londres para abrigar a grande exposição de 1851. O traço mais característico do projeto de Paxton é a aplicação de uma modulação com uma aplicação industrial,



Figura 3.35 - Painel japonês shoji.
FONTE: OLIVERI (1972 p.6).



Figura 3.36 - Painel japonês fusuma.
FONTE: OLIVERI (1972 p.6.

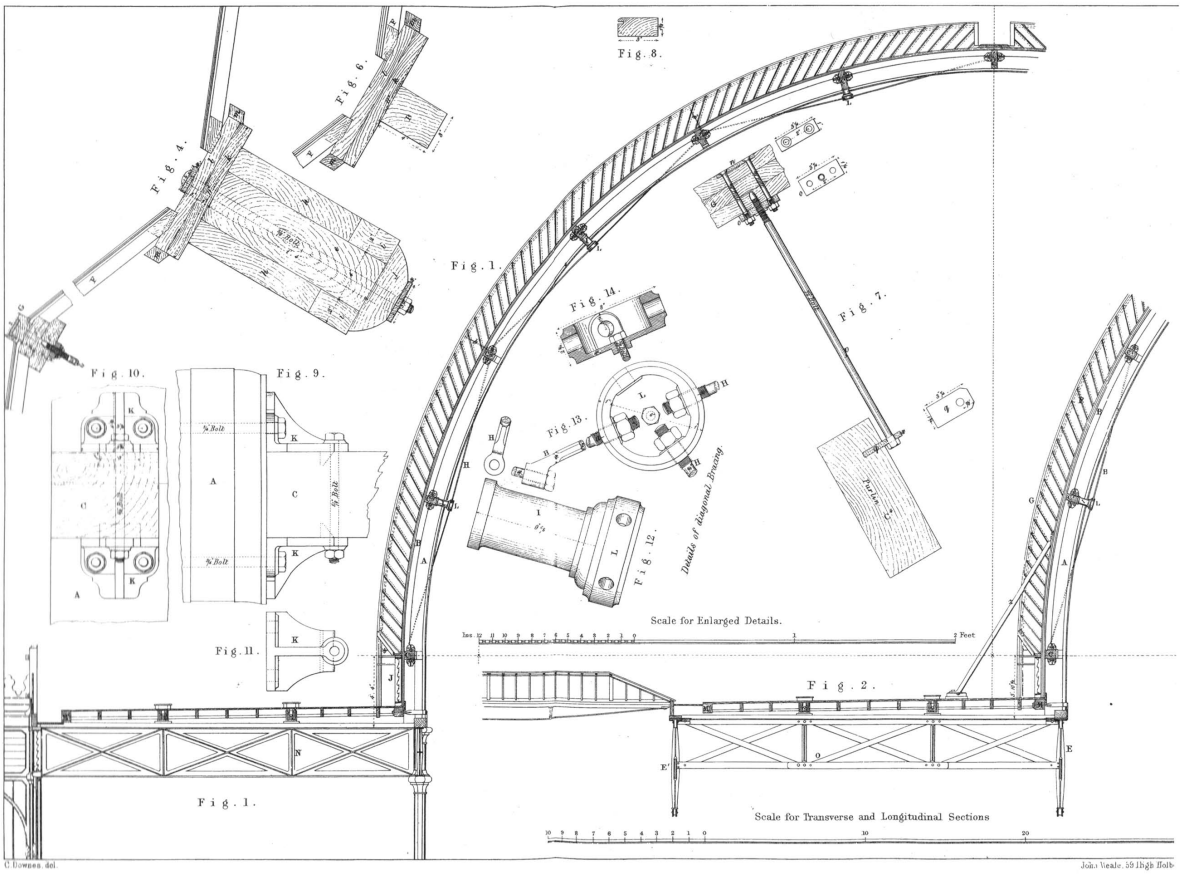


Figura 3.37 - Detalhes construtivos do Palácio de Cristal, Joseph Paxton (com Fox e Henderson). FONTE: FRAMPTON (1996 p.44).

onde o elemento condicionador da escolha do módulo foi o vidro, fixado em grandes chapas na estrutura metálica, cuja medida máxima de fabricação (8 pés) deveria determinar a retícula básica do projeto e as dimensões de todas as peças metálicas e de madeira (Figura 3.37). A concepção relativamente simples dos componentes “pré-fabricados” permitiu uma montagem em tempo reduzido e, também, que mais tarde o mesmo edifício fosse reconstruído exatamente igual ao original.

A partir de então, em vários lugares do mundo, arquitetos e engenheiros, sensíveis às possibilidades geradas pela industrialização crescente, começaram a submeter o processo arquitetônico a um profundo trabalho de revisão, com o ideal de se colocar os recursos da industrialização a serviço de uma nova

revolução, a social, cujos anseios deveriam ser satisfeitos[14]. Um dos temas básicos de estudos e pesquisas na Bauhaus[15] era a industrialização, proposto por seu primeiro diretor, o arquiteto Walter Gropius, que na "Weissenhof"[16] de Stuttgart (1927) e na "casa ampliável" (1932) antecipa questões de coordenação modular e industrialização na construção. Ambas as casas foram montadas a seco com componentes pré-fabricados: estrutura metálica e vedação de painéis de cortiça revestidos externamente com cimento amianto. Na casa de Wesseinhof, a planta era modular, e na "Casa Ampliável", Gropius obtinha o crescimento da edificação por adição de volumes que correspondiam a novos compartimentos ou cômodos. Até aquele momento estas duas casas refletiam os estudos mais profundos sobre modulação, pois nelas a escolha do módulo teve uma precisa justificação técnico-produtiva. Além disso, a coordenação modular foi realizada em três dimensões, a indicação das juntas, o estudo das esquadrias e dos equipamentos fixos, dimensionalmente coordenados com a malha de referência, as preocupações com o tempo e custos de montagem (GREVEN *et al.*, 2007, p. 25-26).

Mas, o grande disseminador da ideia de coordenação modular e do módulo decimétrico (10 cm) foi A. F. Bemis, industrial de Boston, que em seu livro *"The Evolving House"*[17] (1935) expõe os fundamentos de uma teoria de coordenação modular, resumida no axioma pelo qual todos os objetos que satisfaçam à condição de possuírem dimensões múltiplas de uma medida comum, chamado módulo, são comensuráveis entre si, e portanto também o são em relação ao edifício que integrados passam a formar. O *"cubical method of design",* por ele concebido, deve, portanto, ser considerado a primeira formulação de uma teoria da aplicação do módulo decimétrico[18], voltada para as necessidades da indústrialização[19]. A reação favorável a esta iniciativa, por parte do setor produtivo, e a popularização da ideia na década de 1940, provavelmente deve-se mais ao fato de ter sido efetivamente proposta e de ser algo compreensível do que propriamente eficaz, o que atesta que os envolvidos no processo industrial ansiavam, pelo menos em meados do século XX, por ter um denominador comum capaz de organizar a industrialização; por outro lado, a reação contrária ao módulo decimétrico, como vimos no item anterior, claramente declarada por arquitetos como Rudolf M. Schindler e Le Corbusier, também não atesta sua ineficácia, e sim sua natural dependência de um pensamento sistêmico mais amplo que organize a arquitetura e seus elementos constituintes. Interessante notar que Schindler formulou o seu *"Frames on space"* em 1938 e Le Corbusier formulou *o "Modulor"* em 1940, como se constituíssem uma reação imediata à proposta de Bemis.

[14] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 2, jan. 1970.
[15] A Bauhaus foi uma Escola de Arquitetura e Design com sede na Alemanha, na cidade de Weimer e depois em Dessau. Seus diretores foram Walter Gropius (1914 até 1928) e Mies van der Rohe (1929 até 1933). Funcionou entre 1914 e 1933, quando foi abruptamente fechada pelos nazistas. Até hoje seu programa de ensino e a produção de seus professores e alunos influenciam o ideário arquitetônico mundial.
[16] Bairro operário de *Weissenhof* criado na cidade de Stuttgart, na Alemanha, onde onze arquitetos elaboraram e construíram residências imbuídas do espírito da "nova arquitetura" ou arquitetura moderna.
[17] Título que pode ser entendido como "a casa em desenvolvimento progressivo" ou "a casa em evolução", ou ainda "a casa em transformação".

As restritas aplicações do Modulor, principalmente pelo fato de ter sido imaginado mais como um instrumento de relação entre a escala humana e séries de medidas harmoniosas para a arquitetura, do que como um meio de coordenar o projeto e a produção, não tira os méritos por ter ele contribuído com uma abordagem mais ampla do tema, com outras motivações além da tecnicista, almejando uma síntese entre o *módulo-medida* com o *módulo-objeto*[20].

Um estudo absolutamente sistemático e completo do assunto foi realizado quase na mesma época por E. Neufert – numa Alemanha pressionada por problemas bélicos e antecipando os problemas futuros de reconstrução quando a guerra acabasse –, que concebe e articula minuciosamente um sistema de coordenação octamétrica, baseado no módulo de 12,5 cm. A primeira norma DIN, extraída de seus trabalhos, e que formou o texto normativo básico da industrialização da construção na Alemanha, data de 1950, mesmo ano em que no Brasil surgia a primeira norma de coordenação modular, baseada, por sua vez, no módulo de 10 cm, hoje também vigente na Alemanha. De acordo com o Noticiário da Coordenação Modular (n. 2, jan. 1970), desde 1950 até 1965, foram construídas na Alemanha 4 milhões e 400 mil habitações obedecendo ao sistema octamétrico. Isto representa mais de 50% de todas as construções realizadas nesse período. Além disso, calcula-se que eram produzidos, na década de 1970, em dimensões octamétricas: 90% dos tijolos, 99% dos blocos silício-calcário, 90,95% dos blocos de concreto leve, 89% das lajes mistas pré-fabricadas, 75% dos caixilhos, 100% das chapas de fibro-cimento e 65% das estruturas pré-fabricadas. Apesar do sistema octamétrico ter sofrido várias objeções e de ter sido progressivamente substituído pelo sistema decimétrico praticamente em todos os países, uma normalização dessa natureza tornou possível e agilizou bastante parte significativa da reconstrução das moradias no período pós-guerra.

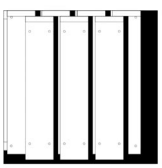
Também no decorrer da segunda guerra mundial, foi realizado na Suécia, um estudo profundo sobre a aplicação industrial da coordenação modular, por Bergvall e Dahlberg[21]. O mérito deste trabalho, iniciado por volta de 1940, é constituído principalmente pelo fato de ter sido desenvolvido sobre o módulo básico de 10 cm, enquanto na América do Norte era tomado como base o módulo de 4 polegadas ou 10,06 cm. Mas a primeira norma de coordenação modular decimétrica surgiu na França em 1942. Outros países reconheceram logo em seguida a validade do módulo decimétrico e, dando início a uma cooperação internacional, resolveram unir-se à Suécia e à França no desenvolvimento do Projeto 174 da Agência Européia de Produtividade.

[18] Bemis indicou 4 polegadas como dimensão do módulo. A mesma dimensão já havia sido recomendada pelo engenheiro Fred Head, em 1925, porque daria uma flexibilidade adequada e estava relacionada com a dimensão utilizada nos estudos das casas de madeira americanas (GREVEN *et al.*, 2007, p. 27).

[19] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 2, jan. 1970.

[20] De acordo com nota do Noticiário da Coordenação Modular (n. 2, jan. 1970) “das duas acepções, no entender dos teóricos, a primeira define o módulo utilizado com finalidades plásticas e a segunda define o módulo aplicado à industrialização”.

[21] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 3, fev. 1970.



Trabalhos importantes foram ainda realizados por Gropius e Wachsmann, em 1941[22], para a *General Panel Corporation*, tendo em vista a fabricação de painéis para a construção de paredes, através da aplicação de um reticulado modular de três pés e quatro polegadas, unidos e articulados através de uma junta universal. Como já foi visto, Mies van der Rohe também se utilizou do módulo com objetivos industriais e, na Califórnia, enquanto Rudolf M. Schindler transformava o tradicional *ballon frame* em um sistema mais econômico e mais adequado ao arquiteto preocupado com os problemas do espaço, baseado no módulo de quatro pés, Richard Neutra escolhia todos os elementos construtivos em catálogos industriais, sejam eles da indústria da construção, sejam da indústria naval, automobilística ou aeronáutica. Com abordagens completamente diferentes, podemos encontrar alguns pontos em comum, além da excelência arquitetônica resultante: estes grandes arquitetos tiveram à sua frente o desafio de trabalhar com recursos limitados, sobretudo no período entre guerras, e encontraram respostas, cada qual à sua maneira, como era de se esperar.

O desenvolvimento histórico da coordenação modular mostra que a ideia fundamental parece ter surgido quase simultaneamente em mais de um lugar, quer em países altamente industrializados, quer em outros com estágios menos avançados de desenvolvimento. A despeito de todas as idiossincrasias, a preocupação com a racionalização da construção, movida pelo objetivo de reconstruir cidades inteiras destruídas pela guerra, aconteceu em várias partes do mundo, ao mesmo tempo. Nesse contexto, a busca por um denominador comum, um módulo e sua efetiva aplicação industrial faziam parte deste anseio geral de restituir a ordem, a harmonia e a beleza. O ideal de transformar um mundo caótico – da guerra e do pós-guerra – em um mundo melhor, mais organizado, belo, seguro e em idílio com a natureza os fez acreditar que através da modulação e da industrialização encontrariam respostas, soluções e mecanismos que viabilizassem uma arquitetura capaz de permitir ao mesmo tempo uma revolução social e uma revolução artística.

3.2.2 Definição de Coordenação Modular

A coordenação modular é uma técnica de coordenação dimensional, baseada no uso de um módulo básico, que objetiva estabelecer uma dependência recíproca entre produtos básicos e intermediários de série (elementos) e produtos finais (edifícios)[23]. O que equivale a dizer que a coordenação modular constitui uma disciplina dimensional que, com base num módulo, visa a obtenção de conjuntos de dimensões para os elementos da construção, de forma que estes possam ser empregados em obra sem modificação das dimensões de fabrico para efeito de montagem[24]. Rosso (1976) alerta que coordenação modular não é apenas uma técnica, esta entendida como um instrumento de projeto, rigorosamente disciplinado pelo uso de grelhas, mas, na verdade, trata-se de “uma metodologia sistemática de industrialização

[22] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 2 – jan. 1970.
[23] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 1, dez. 1969.
[24] Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa, 1970.

(GREVEN *et al.*, 2007, p. 34).

Ressaltam Caporioni *et al.* (1971, p. 29) que em sendo a construção um procedimento aditivo, a montagem em obra dos produtos acabados depende de que haja uma relação aditiva entre todas as suas medidas. Contudo, pelo contrário, atualmente, pouquíssimas das dimensões utilizadas relacionam-se entre si, e quando isto acontece, tais relações são muito débeis.

No método de coordenação modular todas as dimensões dos componentes estão relacionadas entre si, sendo possível dividi-las todas, por um denominador comum. E este não é um número, e sim uma unidade de medida, e por esta razão se denomina módulo, do latim *modulus*, ou pequena medida.

Resumidamente, as operações que devem ser efetuadas para se obter uma coordenação modular são:

1-) Formulação de uma sucessão de números, mediante adequados critérios matemáticos, o que permite efetuar um processo de simplificação e correlação;

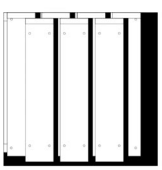
2-) Transformação dos números assim selecionados em medidas, mediante o chamado módulo base.

Segundo Junta del Acuerdo de Cartagena (1980), a coordenação modular caracteriza projetos e construções de edifícios racionalizados e produzidos segundo as bases de um sistema industrial. Tem especial importância para construções de madeira, pois sua aplicação melhora a eficiência e economia de produção, comercialização e transporte.

O sistema modular tem também por objetivo: relacionar as dimensões dos materiais com as dimensões dos ambientes arquitetônicos; reduzir desperdícios; aumentar o rendimento da mão de obra; reduzir os prazos de execução de uma obra. Segundo Cruzeiro *et al.* (2000), possibilita, ainda, a verificação de todas as peças ou componentes de madeira, quanto às medidas; como também facilita o controle e a organização da produção em série.

Para Mascaró (1976), a Coordenação Modular é “um mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes”.

Para melhor ilustrar esta definição, podemos estabelecer uma analogia com a indústria automobilística: nesta, a linha de montagem recebe peças produzidas por fábricas diferentes, as quais são ajustadas cada uma em sua posição previamente estabelecida no projeto e, portanto, sem maiores dificuldades (Figura 3.38). Essa operação contínua de ajustagem ou montagem pode ser realizada com facilidade e sem adaptações porque cada fabricante de componentes obedece a uma regra de normalização única. A normalização dimensional permite também que um mesmo componente possa ser montado em automóveis de tipo e marca diferentes: a aplicação desse critério se traduz numa simplificação nas linhas



de componentes, que facilita a produção em grandes séries, promove a especialização das indústrias e reduz sensivelmente o custo. No entanto, a variedade do produto final, ou seja, dos automóveis, é garantida.

Analogias e metáforas envolvendo carros, barcos e aeronaves fazem todo o sentido, numa época em que Le Corbusier defendia a ideia de que as casas fossem concebidas como *máquinas de morar*, para as quais a industrialização de peças e componentes não consistia apenas uma necessidade prática, mas, antes disso, uma questão absolutamente prosaica. "Le Corbusier e Pierre Jeanneret – pregavam o interesse estético da industrialização através do 'elemento padronizado'. [...] Segundo eles, o módulo era fator de unidade e não de uniformidade" (CASTELNOU, 2002, p. 43).

> O uso de partes padronizadas na construção exercerá sobre o aspecto urbano a mesma função moderadora e integradora que na ordem típica o vestuário cumpre em relação à vida social [...] portanto, se nossas arquiteturas – como nossas roupas levarem bem claramente impresso o *standard* que individualiza a nossa época, ficará assim mesmo nessas arquiteturas uma suficiente margem para as possibilidades expressivas inconfundíveis do espírito individual: o resultado será a máxima redução dos tipos dos elementos, orientada em direção à máxima variedade dos produtos finais.
>
> (Walter Gropius, **Architecture in a Scientific World**[25])

Aplicando uma metodologia semelhante, podemos conceber algo análogo para a indústria da construção, cujas cadeias produtivas muitas vezes não dialogam, e no Brasil isso acontece de maneira aviltante, até a atualidade. A coordenação modular poderá um dia se tornar uma das ferramentas que estruturam e organizam o processo arquitetônico-construtivo. Para que isso se torne possível, é preciso estabelecer o diálogo entre os membros que dele participam, sobretudo entre o arquiteto como coordenador geral, os engenheiros industriais, os construtores e a própria indústria; e criar uma disciplina de trabalho comum para conseguir de maneira sistemática a integração dimensional dos elementos ou componentes, provenientes de fábricas diversas e destinados a ocupar posições diversas num mesmo ou em vários edifícios. Com isso visa-se melhorar a produtividade da construção civil, acelerar os tempos de execução, suprimir os desperdícios, criando, outrossim, uma estrutura capaz de favorecer a evolução rápida dos métodos construtivos.

3.2.3 A Norma Brasileira

A primeira Norma Brasileira sobre Coordenação Modular foi publicada em 1950 sob o título NB 25-R "Modulação das Construções", situando o Brasil entre os pioneiros na

[25] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 2, jan. 1970, p. 3.

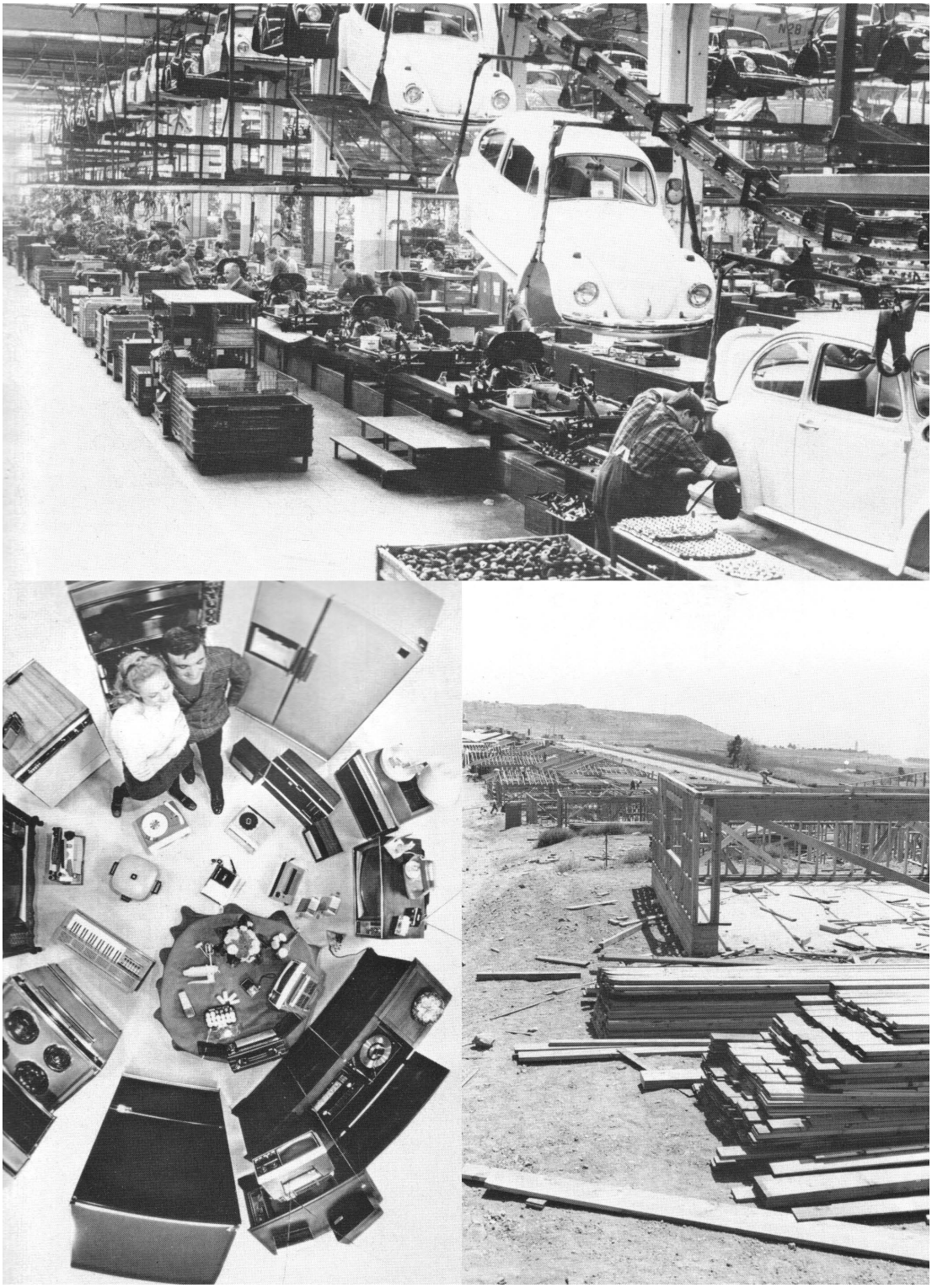


Figura 3.38 - Comparação entre: peças automobilísticas e linha de montagem (foto cedida pela *Wolkswagen),* eletrodomésticos (foto cedida pela companhia *General Electric*) e peças de madeira para montagem de casas (foto cedida pela Associação *Western Wood Products*). FONTE: BENDER (1973 p.15).

aplicação da Coordenação Modular[26]. Segundo Greven *et al.* (2007), o Brasil foi um dos primeiros países a aprovar uma norma de Coordenação Modular decimétrica (com módulo de 10 cm), em 1950, e, nos anos 70 e início dos 80, o Banco Nacional da Habitação (BNH) patrocinou diversos estudos que destacaram a implementação da Coordenação Modular na construção como ferramenta importante para a racionalização. A NBR 5731, de 1982, é a mais recente. Apesar de quase três dezenas de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre coordenação modular, vigentes há mais de 30 anos, essas raramente são utilizadas pelo meio técnico, seja pelos projetistas, seja pela indústria. Além disso, nenhuma norma brasileira de coordenação modular cita a madeira.

A obtenção de algum benefício da coordenação modular está condicionada a uma cooperação internacional. É necessário criar um sistema de unidades comum, ou pelo menos que ao serem diversos sejam compatíveis. Os países europeus utilizam-se de dois sistemas de medidas[27]: o sistema métrico decimal e o sistema pé-polegada. Então, para uma dimensão dada, existem dois números diferentes; e o que é pior: 1 centímetro é igual a 0,3937 polegadas e, inversamente, uma polegada é igual a 2,54 centímetros. Como herdeiros dessa tradição, no Brasil, as seções transversais da madeira têm suas medidas em polegadas e os comprimentos são em centímetros. Por exemplo, um caibro tem 2” x 2” x 4 m, o que equivale dizer: duas polegadas por duas polegadas por quatro metros. Ao colocarmos todas as medidas em uma mesma unidade teríamos: 0,0508 m x 0,0508 m x 4 m ou 5,08 cm x 5,08 cm x 400 cm. De qualquer maneira, não é possível, na prática, dentro de uma serraria ou de uma marcenaria, ter peças cortadas em série com precisão 5,08 cm.

Ao entrar em uma loja de material de construção, ou mesmo numa consulta rápida pela internet, pode-se encontrar materiais de construção das mais variadas medidas, por exemplo, teremos pisos cerâmicos de 33 x 33 cm, 45 x 45 cm, 60 x 60 cm, 33 x 60 cm; os azulejos por sua vez são oferecidos numa profusão de dimensões, por exemplo: 10 x 10 cm, 11,5 x 11,5 cm, 43,8 x 43,8 cm, 10,7 x 10,7 cm, 33,3 x 67,1 cm etc., e os forros e forros acústicos de 49,1 x 249,1 cm, 125 x 62,5 cm, 62,5 x 62,5 cm etc., o que torna praticamente impossível para o arquiteto brasileiro construir o piso e o forro de uma edificação sem recorrer a recortes em pelo menos um dos dois. O resultado desse caos dimensional é o desperdício de recursos e tempo, e o acabamento sofrível da grande maioria das nossas edificações. Cada vez se torna mais oneroso recorrer ao corte ou ajustes de elementos durante o processo de construção, por isso é importante trabalhar com um sistema inter-relacionado de dimensões exatas e tolerâncias, desde o início do estudo da obra. Como consequência, o arquiteto deve prever, quando começa um projeto, o uso de elementos com dimensões coordenadas, para que na obra não haja a necessidade de adaptações e consequentes desperdícios.

Mais do que entender o módulo de 10 cm como uma panaceia capaz de resolver

[26] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 1, dez. 1969.

[27] Nas duas últimas décadas a maioria dos países europeus foi cedendo à coordenação modular decimétrica.

os problemas da arquitetura, tampouco como fator restritivo no projeto, temos que relacioná-lo a grelhas de projeto de 90x90, 100x100, 110x110, 120x120 cm e até 130x130 cm, que são comprovadamente muito eficientes para a conformação dos espaços arquitetônicos, e, portanto, sistemas, peças-sistema, componentes e elementos construtivos que tiverem suas medidas (dimensões exatas e tolerâncias) relacionadas a estas grelhas, serão muito mais eficientes e econômicos.

3.2.4 Definição de “Módulo”

Segundo os léxicos, “módulo” é uma medida que se usa para as proporções nos corpos arquitetônicos ou, também, quantidade que se toma como unidade de qualquer medida. Para os latinos “modulus” significa “pequena medida”. Para a Coordenação Modular, módulo é a unidade fundamental, assumindo a função de unidade de medida, de incremento unitário e de distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência[28].

Segundo a NBR 5706 (1977), “módulo é a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado modular de referência. Esta distância é um decímetro”.

Segundo a AEP (1962) (GREVEN *et al.*, 2007, p. 36), o módulo desempenha três funções essenciais:

1. é o denominador comum de todas as medidas ordenadas;
2. é o incremento unitário[29] de toda e qualquer dimensão modular, a fim de que a soma ou a diferença de duas dimensões modulares seja também modular; e
3. é um fator numérico, expresso em unidades do sistema de medida adotado ou a razão de sua progressão.

O módulo, também chamado de módulo-base, é universalmente representado pela letra “M”. Como já foi dito, o módulo adotado pela maioria dos países é o decímetro (10 cm), que, desde 1950, é adotado no Brasil.

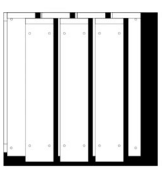
3.2.5 Ferramentas de coordenação modular

3.2.5.1 Sistema de referência

O sistema de referência é formado por uma grelha tridimensional composta por pontos, linhas e planos, dentro da qual ficam determinadas a posição e a medida de cada componente da construção. De acordo com Mascaró (1976), o “sistema de referência é utilizado

[28] Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 1, dez. 1969.

[29] Incremento unitário é a diferença unitária entre duas dimensões homólogas de componentes com tamanhos sucessivos, isto é, numa série de componentes do mesmo tipo, as medidas sucessivas variam de 10 em 10 cm.



tanto no momento de projetar componentes ou edificações quando no da execução (montagem) da obra, resolvendo-se, em seu traçado, as relações entre os componentes adjacentes, dando a exata correspondência entre as medidas nominais dos vãos ou componentes". Um sistema de referência pode ser tridimensional, o reticulado modular espacial de referência ou bidimensional, o quadriculado modular de referência ou malha modular.

Reza a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1977) que "o reticulado modular espacial de referência (Figura 3.39) é constituído pelas linhas de interseção de um sistema de planos separados entre si por uma distância igual ao módulo e paralelos a três planos ortogonais dois a dois". E, o quadriculado modular de referência (ou malha modular) é a projeção ortogonal do reticulado espacial de referência sobre um plano paralelo a um dos três planos ortogonais. Considerando-se que a representação gráfica do projeto, mais usual, é através de vistas ortogonais, as quais representam os objetos em duas dimensões, torna-se necessário utilizar as projeções ortogonais do reticulado modular espacial de referência (GREVEN *et al.*, 2007, p. 40).

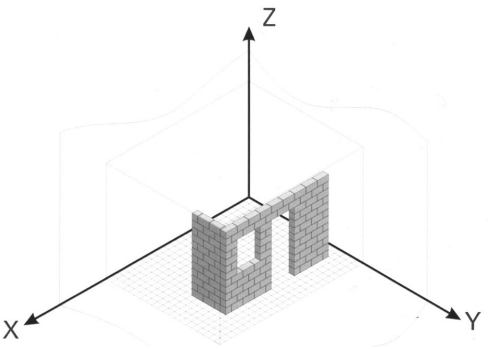


Figura 3.39 - Reticulado espacial de referência. FONTE: GREVEN *et al.* (2007, p. 39).

A crítica que podemos fazer a esta grelha é a de que o módulo de 10 cm é muito pequeno para se pensar o espaço arquitetônico, a grelha espacial fica por demais intrincada. Nesse ponto, podemos retomar as reflexões de Schindler de que o módulo teria que ser suficientemente grande para que o arquiteto estabeleça facilmente, no espaço, as medidas requeridas e que possa carregar este módulo em sua mente. Para fins de industrialização, no entanto, se justifica.

Sobre os quadriculados de referência nas diferentes fases do projeto, Caporioni *et al.* (1971) sugerem que sejam utilizados:

a) O quadriculado modular propriamente dito: utilizado no projeto de componentes e detalhes;
b) O quadriculado de projeto: utilizado para a criação do projeto geral da edificação;
c) O quadriculado estrutural: utilizado para o

posicionamento dos elementos estruturais; e

d) O quadriculado de obra: utilizado para a locação da edificação e dos componentes para sua montagem.

São apresentados diferentes quadriculados, para serem utilizados nas diferentes fases do projeto: o M, para o projeto dos componentes, uma opção para o projeto da edificação de 10 M (100 cm), e outra opção para a estrutura, o 30 M (300 cm).

3.2.5.2 Sistema modular de medidas

O sistema modular de medidas é baseado na unidade de medida básica da coordenação modular, o módulo, e em alguns múltiplos inteiros ou fracionados dele. Como o módulo constituiu o espaço entre os planos do sistema de referência, os componentes deverão ocupar os espaços determinados por estes planos.

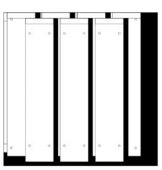
Segundo Mascaró (1971) o sistema modular de medidas deve ser capaz de:

a) conter medidas funcionais e de elementos construtivos típicos;
b) ser aditivo em si mesmo (por ser a construção um processo aditivo);
c) assegurar a intercambialidade das partes mediante a combinação das medidas múltiplas ou submúltiplas do módulo.

Multimódulos são definidos pela fórmula n x M, onde *n* é um número inteiro positivo qualquer. Existem várias recomendações de medidas preferenciais, no Brasil, Rosso (1976) sugere o multimódulo 2 M para a coordenação altimétrica (elevações) e 3 M para a coordenação planimétrica (plantas baixas). Já a norma alemã DIN 18000 recomenda os multimódulos 3 M, 6 M e 12 M (GREVEN *et al.*, 2007, p. 42). Vale ressaltar que são recomendações e que o prioritário é o uso do módulo de 10 cm. Um multimódulo de 12 M, por exemplo, é bem útil para o projeto de espaços, mas é preciso que um arquiteto possa ter a opção de utilizar também os multimódulos 3 M, 5 M, 6 M, 8 M, 9 M, 10 M, 11 M, 12 M e 13 M.

E, como nem todos os componentes da construção podem ser fabricados segundo dimensões múltiplas do módulo, designadamente aqueles que, pela sua natureza, são obrigatoriamente inferiores ao módulo-base, como, por exemplo, espessuras de painéis e de paredes, tubos e perfis, para resolver situações como estas, é admitida a utilização de ***submódulos*** (M/n). Rosso (1976) propõe a adoção dos submódulos M/4 (2,5 cm) e M/8 (1,25 cm) para espessuras de painéis, para espessura de acabamentos e para peças especiais de fechamento.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1977), ***medida modular*** é a medida igual a um módulo ou a um múltiplo inteiro do módulo de um componente, vão ou distância entre partes. A medida modular inclui o componente e a folga perimetral,



necessária para absorver tanto as tolerâncias de fabricação do componente quanto a colocação em obra. A medida modular garante que cada componente disponha de espaço suficiente para sua colocação durante a montagem da obra, sem invadir a medida modular do componente adjacente. Ela é representada por "nM", onde M é o módulo e n é um número positivo inteiro qualquer.

Já a ***medida de projeto*** – representada por "mP_{comp}" – do componente é a medida determinada no projeto para qualquer componente da construção. Essa medida é sempre inferior à medida modular, pois leva em conta, além das tolerâncias de fabricação, as juntas necessárias. A junta modular, por sua vez, é a distância prevista no projeto arquitetônico entre os extremos de dois componentes, considerando-se a medida de projeto do componente (FIGURA 3.40).

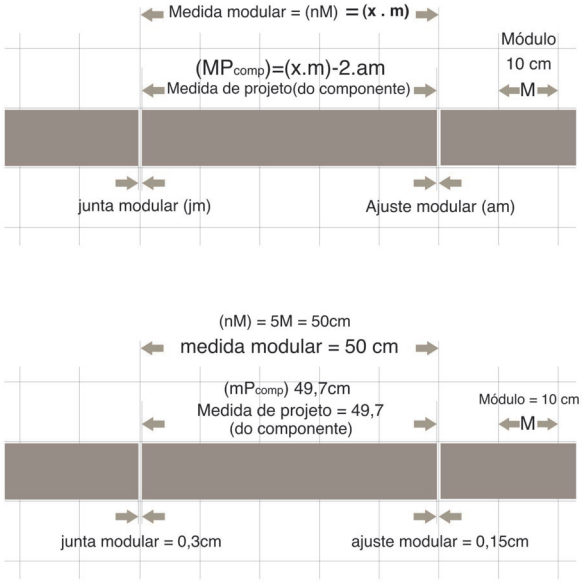


FIGURA 3.40 - Para os painéis desenvolvidos na tese, a medida modular, a medida nominal, a junta modular e o ajuste modular. FONTE: Desenho da Autora, 2009.

3.2.5.3 Ajuste modular

Ajuste modular ou "aM" é uma medida que relaciona a medida de projeto do componente com a medida modular. O ajuste modular estabelece a relação dos componentes da

Figura 3.41 - Componentes em relação à linha do quadriculado modular de referência: posição simétrica, posição assimétrica e posição lateral. FONTE: Desenhado a partir de GREVEN *et al.* (2007, p. 47-48).

construção com o sistema de referência. Permite definir com segurança os limites dimensionais dos elementos em função das exigências de associação ou montagem.

3.2.5.4 Sistema de números preferenciais

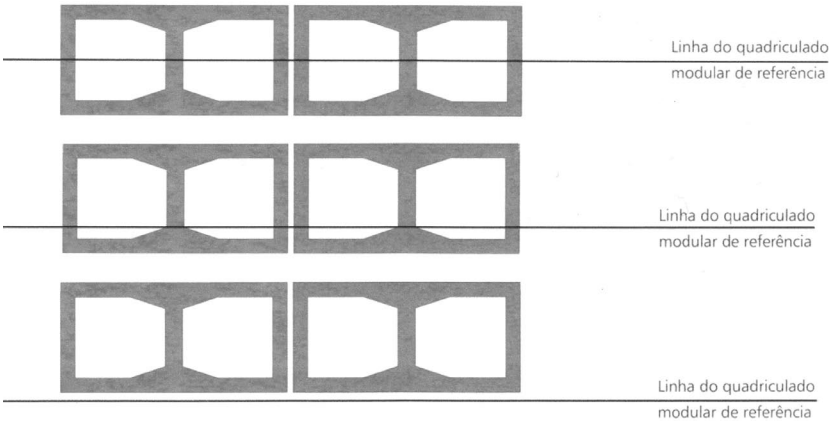
O uso de um sistema modular de medidas realiza, por si só, uma seleção de medidas. Entretanto, outros instrumentos de seleção são necessários para otimizar o tipo e o número de formatos de cada componente. Com isso, as séries de produção são reduzidas ao mínimo indispensável para atender às exigências do mercado e aos requisitos econômicos, sem, no entanto, perder flexibilidade no que se refere ao projeto de arquitetura. Os números preferenciais permitem que se tenha uma seleção organizada de dimensões. Segundo Mascaró (1976), o sistema de números preferenciais caracteriza-se:

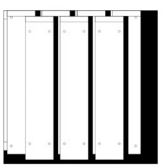
a) por ter fixos os seus limites pelas características técnicas dos componentes e as razões econômicas de sua fabricação;
b) pela função que desempenha;
c) por sua forma de união (junta entre os componentes construtivos); e
d) por sua possibilidade de dividir-se sem desperdício.

Corbusier e Schindler determinaram os seus números preferenciais com base em sistemas escolhidos e previamente discutidos neste trabalho, sem levar em conta a coordenação modular decimétrica. Este trabalho de tese proporá os componentes levando em conta a coordenação modular para facilitar a produção e a conexão com elementos de outros sistemas, mas estará mais comprometido com a possibilidade de utilização de diferentes grelhas de projeto arquitetônico com um número reduzido de componentes, como será demonstrado no capítulo V.

3.2.5.5 Projeto Modular

O projeto modular é baseado no sistema de referência, através do quadriculado modular de referência. Dessa maneira, todas as representações ortogonais do projeto – plantas, cortes e elevações – desenvolvem-se sobre o quadriculado, facilitando o projeto e a montagem na obra.





Um componente pode ocupar três posições distintas em relação ao quadriculado modular de referência (Figura 3.41). O posicionamento é sempre feito considerando-se somente a dimensão do componente, sem agregar a dimensão de nenhum tipo de acabamento (reboco, emboço, azulejo, cerâmica, pedra, entre outros). Ou seja, consideram-se as medidas "em osso" para o posicionamento dos componentes. E considera-se o componente em sua projeção ortogonal em relação ao plano de referência.

A ideia básica e o propósito da coordenação modular é racionalizar o trabalho da construção, fazendo possível a coordenação dimensional normalizada dos componentes construtivos, permitindo, deste modo, o uso de componentes produzidos massivamente e unidos a outros componentes com a menor modificação e desperdício de material possíveis. Constitui uma maneira de organizar dimensionalmente os componentes da edificação e determinar a maneira como estes se encaixam uns aos outros. Deste modo, se faz evidente que a coordenação modular afeta a estrutura total e abrange as três fases do processo: fabricação, projeto e construção. A normalização aparece então como um elo integrador que faz possível a industrialização.

Segundo Greven *et al.* (2007, p. 34), com normas técnicas bem elaboradas, seguidas por um eficiente sistema de certificação, os componentes passam por uma padronização dimensional, a partir da qual adquirem as mesmas características dimensionais, e por uma redução da variedade de tipos, mediante o emprego de medidas preferidas e escolhidas dentre as opções de séries de medidas preferíveis. A produção dos componentes é seriada, e não mais sob medida. Mesmo sendo os componentes produzidos por indústrias diferentes, essas características asseguram a intercambialidade entre eles, pois passam a ser compatíveis entre si, em função de suas dimensões serem múltiplas do módulo decimétrico. Dessa maneira, caminha-se rumo à industrialização aberta.

A objeção, de que a normalização pode limitar a possibilidade de expressão individual, desaparece ao se perceber que, na realidade, a liberdade para projetar aumenta quando seus meios de expressão estão relacionados entre si, ou bem quando sua relação com as necessidades a serem satisfeitas é clara e suas características sempre conhecidas e controláveis. Por outro lado, não se deve pensar em construir industrialmente casas iguais por inteiro; a industrialização, tomada com este sentido, não só não interessa como deve ser rechaçada como método.

Como já foi visto no capítulo introdutório, um princípio básico que caracteriza o pensar a arquitetura de madeira é a sua fragmentação em partes, passíveis de serem unidas e articuladas entre si, formando componentes e estruturas. Por causa deste princípio, e também por sua leveza – se comparada a outros materiais de construção – a madeira é um material com vocação para pré-fabricação, ou seja, permite que se produza peças ou componentes em série, fora do canteiro de obras, e, posteriormente às edificações, sejam

apenas montadas no canteiro, com redução considerável do tempo de obra.

O Brasil tem tradição em construções de concreto armado moldado em loco em concepções monolíticas. A obra monolítica em geral não é pré-fabricada e sim executada no canteiro de obras. Nós veremos neste capítulo que a França tem tradição na elaboração e confecção de sistemas pesados pré-fabricados, que, apesar de rápidos, geram problemas com transporte e armazenamento das peças.

3.3 INDUSTRIALIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO COM COMPONENTES

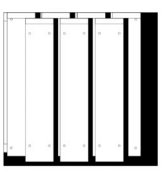
> [...] não pode haver pré-fabricação sem ordem, e a ordem é uma das condições primordiais da arquitetura.
>
> A. Perret

O conceito de industrialização é frequentemente mal entendido. Ele é geralmente tomado no sentido da utilização de materiais ou de elementos específicos, como os grandes e pesados painéis de concreto, quando na realidade a industrialização é um conceito operacional que abrange o volume e a continuidade da produção, a redução da variedade, a mecanização e a pré-fabricação. A construção a partir de elementos é, portanto, um aspecto da industrialização[30]. Quais são, entretanto, as implicação relativas à utilização de sistemas de construção fechados ou abertos, os “projetos modelo” ou “projetos-tipo”, e a possibilidade de – através do desenvolvimento de componentes construtivos de diversas origens e materiais que dialoguem entre si – construir arranjos ricos e variados, é o que se pretende discutir aqui.

Parece desejável desde o início elucidar o que está implícito na noção de construção com componentes. Ela envolve, sem dúvida, a associação de elementos construtivos e a eliminação dos cortes e ajustes na obra, ou do emprego de materiais com dimensões indeterminadas, como as argamassas. Mas uma definição como esta não pode descrever satisfatoriamente a construção com componentes. Se assim o fosse, estaria a favor de um sistema fechado, que permite a um fabricante, a partir de uma série única de componentes, realizar uma gama naturalmente limitada de projetos. A construção com componentes representa mais do que isso. Ela implica, para o arquiteto, na liberdade de aproveitar a seu gosto tantos componentes quantos forem necessários e das mais variadas origens no projeto. Um sistema aberto constitui a melhor alternativa para a construção com componentes, mas as escolhas abertas ainda são limitadas pelo sistema e pelo uso restrito de componentes obtidos de grupos de fornecedores, que muitas vezes não dialogam entre si.

Os defensores entusiásticos da construção com componentes imaginam-na como

[30] Dr. John Weston, antigo Diretor da *Building Research Station* do Reino Unido. Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 4, mar. 1970.



um meio de proporcionar ao projetista um lote menos restrito de opções, que permita uma excelente possibilidade de escolha entre componentes dimensionalmente coordenados, caracterizados por uniões compatíveis e, além disso, que podem ser fornecidos por um grande número de fabricantes para a realização de uma certa variedade de projetos[31]. O caráter de concorrência comercial seria assim mantido e o desempenho nas associações entre componentes seria assegurado. A situação é de fato quase idêntica à que existe na construção tradicional, na qual o arquiteto tem a possibilidade de escolher entre um grande número de fornecedores, encontrando porém na construção com componentes , uma restrição com relação às dimensões disponíveis e, ao que se espera, a eliminação dos cortes e ajustes na obra. Existe, portanto, menos diferença entre o sistema tradicionalmente utilizado no Brasil e a construção com componentes do que em geral podemos supor.

Isto permite que possamos iniciar uma abordagem sobre industrialização: a ênfase dada à construção com componentes representa um esforço imenso para conseguir um justo equilíbrio entre a redução da variedade, o que interessa particularmente à indústria e a preservação da flexibilidade, que permite aos arquitetos satisfazerem as metas sociais e aspirações plásticas. Uma revisão de literatura revela que esta foi uma preocupação constante na arquitetura do século XX, não existiu uma solução única e conclusiva, o que houve foram inúmeras tentativas, mais como ensaios de algo que ainda não se efetivou. É preciso que, no século XXI, independente do caminho escolhido, haja a abordagem em direção à eliminação da dissociação tecnológica entre projeto e produção, que afeta sensivelmente a indústria e, particularmente, a qualidade da arquitetura.

Os custos da construção industrializada, no final do século XX, ainda eram e são equivalentes ou superiores aos custos da construção convencional. Uma vez que a ideia de industrialização está associada à otimização de tempo e recursos, isso demonstra que existem falhas durante o processo. A principal causa deste problema é um grande equívoco de natureza metodológica, que subexiste na base da construção industrializada e que condiciona negativamente seu desenvolvimento. O equívoco firma-se na pretensão de reproduzir industrialmente, ou seja, com o auxílio de máquinas, um *objeto-casa*, que possua em si mesmo as mesmas características das casas tradicionais, do “feito a mão” (OLIVERI, 1972).

> São construídas, por exemplo, casas de concreto armado, madeira ou alvenaria estrutural, cujas características morfológicas tem como referência a casa de tijolos, como os primeiros produtos “feitos à máquina” se referiam exatamente ao objeto artesanal que constituía seu modelo. Os primeiros automóveis de Henry Ford eram carroças com motor, já que a premissa semântica era a carroça de cavalos. O equívoco não residia em conceber o automóvel como um produto novo surgido por um novo meio de propulsão, e sim em haver separado a função da forma e da técnica, criando uma carroça motorizada antes de um automóvel (OLIVERI, 1972, p. 1).

[31] Dr. John Weston, antigo Diretor da *Building Research Station* do Reino Unido. Noticiário da Coordenação Modular, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 4, mar. 1970.

Espera-se que a arquitetura elabore seus procedimentos técnicos e os conduza ao mesmo grau de clareza metodológica e de produtividade alcançado pelas técnicas industriais; e isto não significa tomar integralmente a organização técnica de um grande estabelecimento mecânico e transportá-la para a obra, isso seria inviável. Contudo, não se pode discutir arquitetura sem colocar o problema do avanço da técnica construtiva junto ao da técnica produtiva de hoje.

Inicialmente é bom salientar alguns conceitos preliminares e esclarecer algumas dúvidas sobre os termos que serão aqui abordados. A primeira questão é sobre pré-fabricação, pois, como explica David Evan Glasser (1984), em "Considerações Estruturais" do livro *Introdução à Arquitetura*, a construção de edifícios consiste invariavelmente em uma combinação de elementos produzidos em fábrica [o que equivale a dizer: fora do canteiro de obras] e, nesse sentido, todos os edifícios são, em alguma extensão, pré-fabricados. O equívoco frequente é o entendimento de pré-fabricação como o uso de métodos industriais para produzir grandes componentes de construção, que incluem elementos estruturais e de fechamento e que são montados com várias partes.

Essa confusão conceitual também é apontada por Mário Oliveri, em seu livro "Pré-fabricação – o metaprojeto construtivo" de 1972, onde explica claramente que a ideia de pré-fabricação é anterior à industrialização e tão antiga quanto a própria construção humana. O primeiro elemento de construção que foi pré-fabricado talvez tenha sido o tijolo, produzido fora da obra, mediante sistemas cujo uso se tem prolongado através dos tempos. O autor recorda o seguinte fato: "quando os homens se reuniram no terreno na Mesopotâmia para levantar a Torre de Babel, decidiram proceder à pré-fabricação de tijolos cozidos no fogo para utilizá-los como elementos construtivos da grande obra".

De fato, é possível encontrar tentativas de pré-fabricação em todas as épocas históricas: os blocos de pedra com que foram construídas as pirâmides egípcias chegavam prontos desde distintos lugares para, uma vez transportados por exércitos de escravos, serem "montados" segundo um programa pré-fixado – ou um esquema pré-estabelecido – na posição que hoje os encontramos. Na Grécia, os blocos de pedras das colunas dos templos eram, também, preparados fora da obra e sucessivamente montados na ordem e na posição prevista, e poderíamos seguir com vários exemplos história adentro.

A segunda questão, derivada da primeira, é da industrialização que comumente, como define Oliveri (1972, p. 2), está associada ao conceito de série porque deriva do conhecimento, direto ou indireto, que temos dos processos produtivos repetitivos nos quais estamos habituados a reconhecer o processo industrial. Entretanto, é correto afirmar que existe industrialização quando se sobrepassa o limite do erro incontrolado, típico do processo artesanal, para se chegar ao estudo sistemático de montagem e das tolerâncias na elaboração. Este conceito transposto para a construção significa que existe a construção industrializada quando o projeto se converte no vínculo de todos os componentes da edificação e de sua montagem que requererá que o projeto terminado não seja distinto do projetado.

A técnica industrial é, sem dúvida, a técnica construtiva de nosso tempo: nosso objetivo é verificar como se desenvolve este processo no campo do projeto e da construção e que resultados são verdadeiramente viáveis para se produzir num futuro imediato e para colaborar com a racionalização das construções de maneira geral. E, também, investigar materiais e novos componentes que por suas características encontrem, ou possam encontrar, uma oportuna efetivação através da construção industrializada, onde a madeira será o objeto central desta investigação.

Este trabalho de tese não pretende oferecer um manual sobre industrialização ou pré-fabricação, e sim, ao contrário, provocar uma discussão, uma tomada de consciência dos modos em que se opera direta ou indiretamente neste setor. Isto implica o desenvolvimento de novos métodos para projetar, estudar e investigar, que por sua vez orientarão o exercício profissional. Somente combinando as noções e as possibilidades técnicas com o conhecimento do ser humano, suas experiências e progressiva faculdade de sabedoria, serão obtidas múltiplas possibilidades de se projetar e construir as edificações de maneira simples, eficiente e compreensível para todos, ou seja, adequado ao modo de pensar e de viver do nosso tempo.

3.3.1 Industrialização e Pré-fabricação

A construção de uma edificação depende de alguns fatores de ordem prática. Além do projeto e do planejamento, faz-se necessário uma determinada quantidade de material e mão de obra para que haja execução (DOMINGOS, 2003, p. 70). Nas construções antigas, a matéria prima provinha geralmente de locais próximos ao da implantação da obra, e estes materiais eram transformados no próprio canteiro. Por exemplo, uma árvore era cortada e sua madeira desdobrada a machado ali mesmo, ou a poucos metros de onde seria utilizada como pilar, viga ou parede.

Com a evolução das maneiras de se construir, muitos materiais passaram a vir para o canteiro de obras já em suas dimensões pré-estabelecidas. A pré-fabricação é, portanto, toda a produção de material construtivo, fora do canteiro de obras, possuindo dimensões definidas anteriormente à sua produção. Além da produção de tijolos, a produção de peças de madeira com seções pré-estabelecidas é um exemplo de pré-fabricação, como nas casas com estrutura "*Balloon-Frame*" (Figura 3.42), surgidas a partir da segunda metade do século XVIII, nos Estados Unidos da América, e muito comuns neste país desde então.

A pré-fabricação foi definida pela Associação Italiana de Pré-fabricação como "fabricação industrial fora da obra, imutavelmente, em grande parte do globo, de partes da construção, aptas a serem utilizadas mediante distintas ações de montagem". O processo de



Figura 3.42 - Linha de montagem (foto cedida pela *Chevrolet Motors),* e montagem de casas (foto cedida pela *West Lumbermen's Association*). FONTE: BENDER (1973, p. 131).

pré-fabricação tem como objetivo aumentar a rapidez da execução, a economia de materiais, a redução do tempo de utilização de mão de obra, com consequente economia financeira e melhora na qualidade do produto final. No entanto, o processo de pré-fabricação requer um maior planejamento na organização do canteiro de obras, na capacitação de mão de obra, mas sobretudo na etapa de projeto.

Oliveri (1972, p. 3) propõe a separação dos diversos sistemas de pré-fabricação em grupos, de acordo com a seguinte hipótese: a industrialização da construção, relacionada com as características de execução dos elementos produzidos, pode definir-se de quatro

maneiras diferentes que, por sua vez, dão origem a quatro grupos de sistemas, cuja metodologia de emprego prevê respectivamente a montagem de elementos lineares, planos, plano-lineares e tridimensionais. Consequentemente, teremos uma classificação dos sistemas de pré-fabricação em quatro grupos:

1. Sistemas baseados na montagem de blocos lineares;
2. Sistemas baseados na montagem de blocos planos;
3. Sistemas baseados na montagem de blocos plano-lineares;
4. Sistemas baseados na montagem de blocos tridimensionais e uma classificação das modalidades de produção construtiva em: a) Produção em fábrica; b) Produção junto da obra; e c) Produção na obra.

Acerca da pré-fabricação rápida / leve, esta será tratada juntamente com os sistemas antes descritos, sem fazer referência à natureza do material empregado, sejam eles o ferro, o alumínio, a madeira ou materiais sintéticos. O motivo desta seleção é investigar o fato de que praticamente em quase todos os casos se busca um emprego ótimo dos materiais, escolhendo de vez em quando aqueles que tenham respondido melhor ao uso para o qual tenham sido destinados e a economia que se pretendia alcançar. Por isso, em uma edificação, raramente tem-se o uso de um único material; constituem uma exceção a esta regra as casas inteiramente de madeira, que são muito raras, uma vez que mesmo nas culturas mais antigas sempre se fez uma base mineral para isolar a casa de madeira da umidade do solo e, além disso, as construções de madeira historicamente utilizam-se de conectores metálicos, pregos e parafusos. É importante que se note que esta classificação, um pouco rígida e, portanto, criticável, se deve a diversas razões que demonstram sua validez, pelo menos, a respeito do método.

Durante o projeto deve-se ter em mente a melhor utilização dos elementos pré-fabricados, levando-se em consideração suas dimensões nominais e tolerâncias dimensionais, para que haja o menor número de ajustes e perdas durante a obra, promovendo, assim, uma maior racionalização da construção.

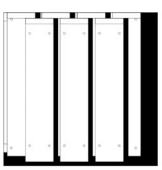
3.3.1.1 Industrialização

Associamos a ideia de industrialização ao conceito de série porque deriva do conhecimento, direto ou indireto, que temos dos processos produtivos repetitivos, nos quais estamos habituados a reconhecer o processo industrial. Costuma-se repetir que industrialização equivale à produção em série. Mas industrialização é todo o processo que resulta na produção de elementos construtivos idênticos e de maneira seriada, ou seja, quando a multiplicidade de um determinado elemento é promovida com o auxílio de máquinas. O ato que define a indústria é um ato de vontade, quando se opõe ao objeto único, artesanal, o princípio de série, não como ideia de quantidade grande ou pequena, mas somente como ideia de multiplicidade (Oliveri, 1972).

De uma análise das operações que precedem ou se seguem à ação de produzir em série, podemos deduzir a repetição operativa, ou seja, o modo de proceder típico da indústria quando deve afrontar um problema de produção em série. Estas operações são, resumidamente: escolher o objetivo a alcançar, estabelecer o programa, executar os projetos, produzir, distribuir, conservar (quando necessário). Estas operações são autônomas, porém estão conectadas umas às outras de modo interdependente, de modo que a solução de problemas de produção, aparentemente específicos, implica sua discussão por grupos interdisciplinares de trabalho, ou seja, em diferentes esferas de especialização. O resultado final a que chegam estas discussões, alternadas com distintas fases de trabalho, é a solução buscada para o problema de produção proposto e, por extensão metodológica, ao problema produtivo geral. A faculdade tática, ou método, está definida pelo termo “projeto integral” (Oliveri, 1972).

Existe industrialização quando se supera o erro incontrolado, típico do artesanal, para chegar ao estudo sistemático da montagem e das tolerâncias na elaboração. Em construção, isto equivale a dizer: existe a construção industrializada quando o projeto se transforma no vínculo entre todos os componentes da edificação e de sua montagem, o que requererá que o produto final não seja diferente do projetado.

Walter Gropius escreveu – em seu livro *A arquitetura Integral* – há mais de meio século: “A maioria dos cidadãos de um determinado país possuem necessidades de moradia e de vida similares, é difícil, portanto,



TESE DE DOUTORADO ANDREA BERRIEL 2009

entender porque as casas que construímos (Figura 3.43) não expressam uma unificação geral, parecida, por exemplo com a nossa vestimenta, sapatos, automóveis, etc.", e também sustenta: "a construção da estrutura do edifício com os métodos tradicionais faz impossível prever o tempo necessário para o término da obra, pois o tempo de secagem depende das condições meteorológicas (Oliveri, 1972, p. 14).



Figura 3.43 - Perspectiva de casas-tipo projetadas por Walter Gropius para o subúrbio de Toerten, Dessau, Alemanha, 1926-27. FONTE: DROSTE (1994, p. 138).

3.3.1.2 Sistema de pré-fabricação

Oliveri (1972, p. 16) salienta que objetivo central dos sistemas de pré-fabricação será o de adaptar os métodos industriais para a construção residencial. E pontua que este objetivo é alcançado com a organização interna de um sistema, capaz de:

a) programar o ciclo produtivo em seus aspectos técnicos, econômicos, financeiros, temporais, entre outros;

b) projetar integralmente o edifício em todas as suas partes, segundo uma metodologia previamente estabelecida, um método que preveja a montagem e desmontagem em elementos geométricos repetíveis em série. Em geral, no caso de métodos que preveem a montagem de painéis, tais elementos coincidem com um dos lados de um vão;

c) produzir industrialmente os distintos componentes, em quantidade e qualidade previstas, reduzindo ao mínimo as operações de montagem e acabamento.

O autor classifica os sistemas de pré-fabricação em três:

a) Sistema Linear

Entre os sistemas lineares estão compreendidos todos os sistemas que preveem a montagem de elementos nos quais uma das três dimensões predomina sobre as outras. A modulação se dá apenas em uma das dimensões, como, por exemplo, em elementos bidimensionais como pilares ou vigas. Estes sistemas permitem flexibilidade horizontal ou vertical. Outro exemplo são as cúpulas geodésicas obtidas a partir de elementos lineares. O emprego mais universal destes sistemas são os andaimes tubulares. No Brasil existe uma grande variedade de sistemas lineares compostos por elementos pré-fabricados, como vigas e pilares de concreto, aço ou madeira. A ITA Construtora (Figura 3.44) é um exemplo



Figura 3.44 - Peças pré-fabricadas pela ITA Construtora – racionalização da construção. FONTE: AFLALO *et al.* (2005, p. 5, 34 e 57).

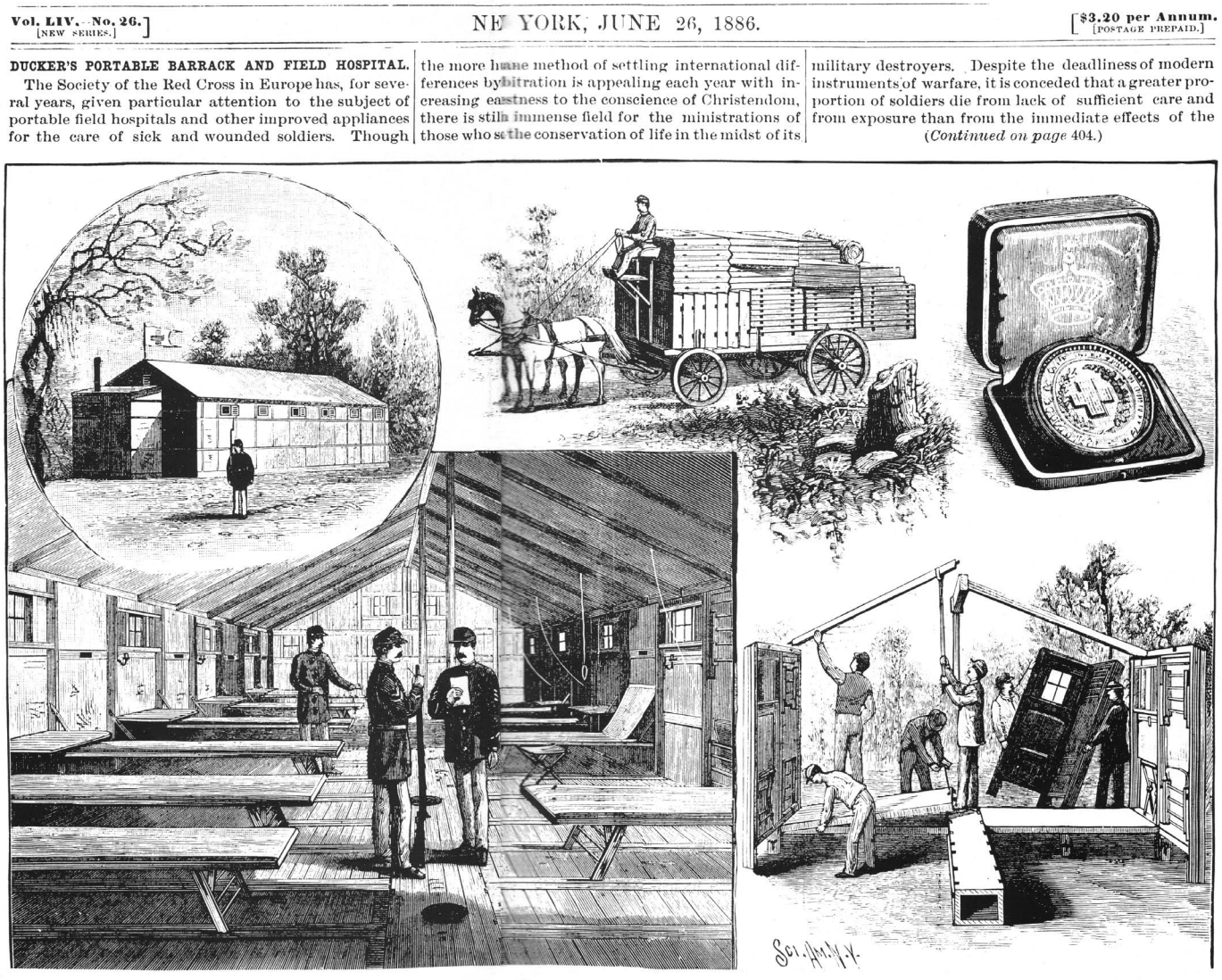
da pré-fabricação de vigas e pilares de madeira que permitem uma maior racionalização da construção. Trata-se também de um sistema linear o sistema tradicional de tábuas e mata-juntas das casas de madeira vernaculares, pois a largura (que varia entre 20 e 30 cm) das tábuas determina todas as demais dimensões da habitação.

b) Sistema Plano

Os sistemas planos – sistemas que preveem a montagem de componentes planos – são os mais difundidos e os que têm demonstrado o melhor desempenho, segundo Oliveri (1972). Um sistema é plano quando são os planos que determinam os arranjos, como, por exemplo, a utilização de painéis para vedações horizontais (lajes) ou verticais (paredes). É um sistema composto por placas e possui uma flexibilidade média, pois faz-se necessário que se trabalhe dentro de uma modulação em duas dimensões: não vertical ou horizontal, mas ambas. No Brasil, os mais comuns são as placas cimentícias, *o dry wall*, que se trata de montantes metálicos e fechamento de gesso acartonado, bastante utilizado nas últimas décadas, e os painéis de madeira laminados (compensados) e painéis particulados (OSB e MDF), que são componentes dos sistemas *ballon frame* e plataforma.

Um exemplo da aplicação deste sistema é o conhecido Sistema Francês *Camus*, que consiste em painéis pesados de concreto armado para paredes estruturais externas e internas, componentes para pisos e coberturas, com os quais são construídos edifícios inteiros. Os sistemas que utilizam a pré-fabricação pesada de painéis planos para resolver o problema da construção de casas se caracteriza por uma certa uniformidade nas soluções técnicas adotadas. O que se diferencia é o grau de mecanização das industriais. O Sistema *Coignet*, por exemplo, em comparação ao *Camus*, desenvolveu notavelmente a automatização da produção. Na fábrica *Coignet* as formas para concretagem são chamadas de “máquinas” e todos os seus movimentos são mecanizados, o que implica num custo quatro ou cinco vezes maior do que numa forma convencional. A principal vantagem dos sistemas de painéis planos citados é a rapidez de montagem em obra. Um inconveniente deste sistema é que tanto os painéis de paredes quanto os de laje têm as dimensões dos vãos estruturais, ou seja, são relativamente grandes e pesados para o transporte e, na obra, necessitam de pesadas gruas para serem içados até o local onde serão utilizados.

Os painéis de madeira, por sua vez, constituem opção bem mais leve para construção, o que facilita o transporte, e há muito tempo são utilizados, o que pode ser observado nesta gravura (Figura 3.45), que mostra a construção de Hospitais da Cruz Vermelha em áreas de difícil acesso. Importante observar que os painéis-parede são pré-fabricados com a



Vol. LIV.—No. 26.] [NEW SERIES.] NEW YORK, JUNE 26, 1886. [$3.20 per Annum. [POSTAGE PREPAID.]

DUCKER'S PORTABLE BARRACK AND FIELD HOSPITAL.

The Society of the Red Cross in Europe has, for several years, given particular attention to the subject of portable field hospitals and other improved appliances for the care of sick and wounded soldiers. Though the more humane method of settling international differences by arbitration is appealing each year with increasing earnestness to the conscience of Christendom, there is still immense field for the ministrations of those who seek the conservation of life in the midst of its military destroyers. Despite the deadliness of modern instruments of warfare, it is conceded that a greater proportion of soldiers die from lack of sufficient care and from exposure than from the immediate effects of the

(*Continued on page* 404.)

Figura 3.45 - Hospitais da Cruz Vermelha. Construção com painéis de madeira, que por serem leves podiam ser transportados por carroças até locais distantes e de difícil acesso. Nova York, 1886. FONTE: BENDER (1973, p. 20-21).

altura do pé-direito da edificação e apenas encaixados um ao outro em obra. A retomada e desenvolvimento destes sistemas ou peças-sistemas apresenta-se como solução promissora para a construção de paredes de vedação, por se tratar de material renovável.

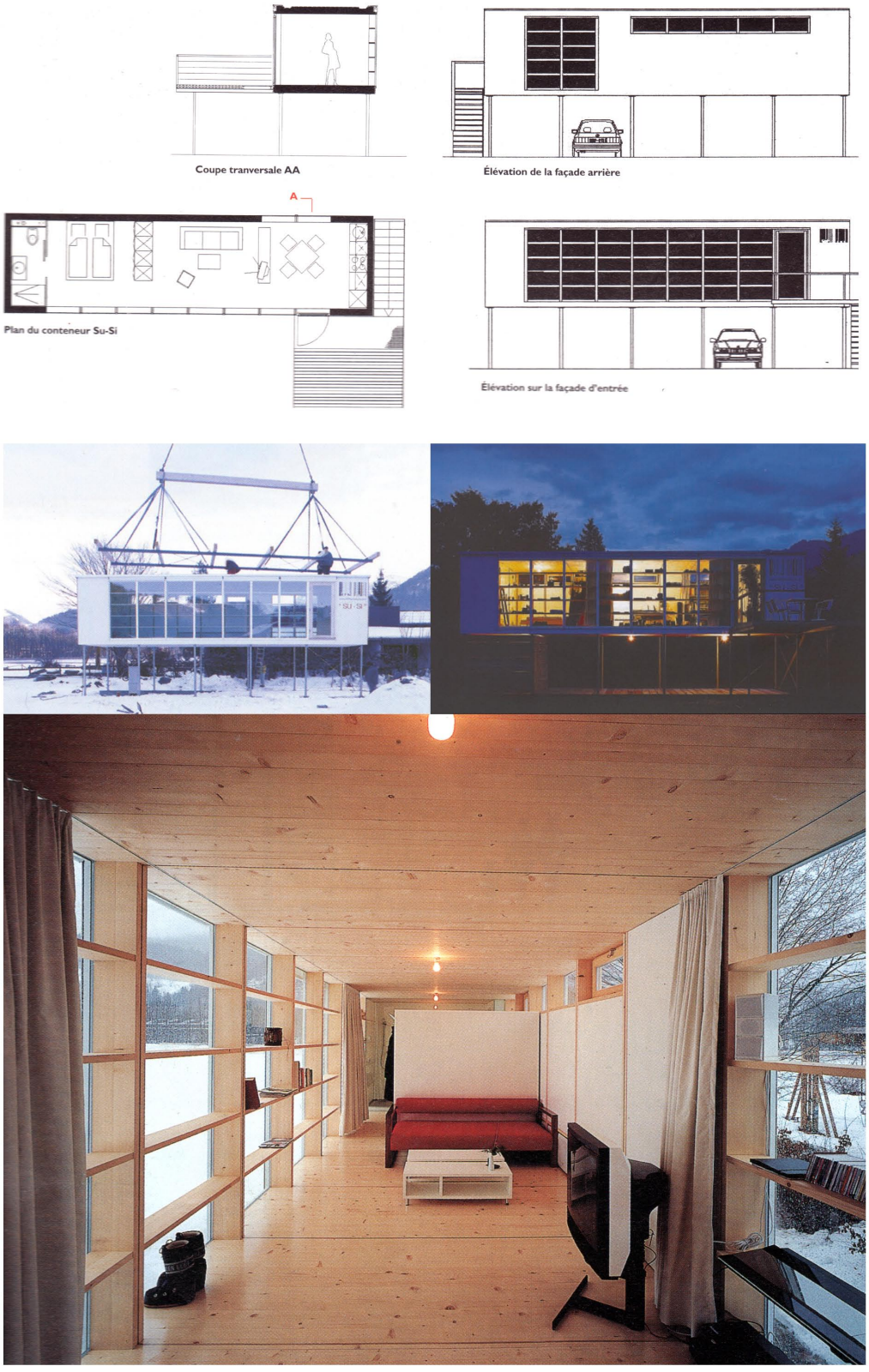


Figura 3.46 - Transporte de casa inteiramente montada na fábrica. Foto cedida por *Sikorsky Aircraft*. FONTE: BENDER (1976, p. 22).

3) Sistema Tridimensional

Quando elementos tridimensionais são produzidos integralmente dentro da indústria e posteriormente são transportados (Figura 3.46) para o canteiro de obras, onde praticamente não sofrem alterações, apenas operações de fixação e encaixe são realizadas. Nos módulos habitacionais transportáveis, Su-Si de 3,50 por 12,50 metros e Fred que é extensível, quando compactado ocupa $3m^3$ para ser transportado (Figuras 3.47a e 3.47b), foram desenvolvidos pelo escritório de arquitetura Kaufmann 96, construídos de madeira para atender as demandas de flexibilidade para habitação e espaços para exposições. Este sistema prevê um processo maior de industrialização que muitas vezes encarece o produto final e, pela dificuldade de transporte dos elementos, é um sistema com uso restrito ou limitado.

No Brasil, a aplicação do sistema tridimensional ocorreu em casos isolados, como na obra do arquiteto Lelé, em que alguns elementos de concreto formavam ao mesmo tempo um cômodo e o *brise soleil*; em presídios, em que as



Figuras 3.47a - Módulos habitacionais transportáveis Su-Si e Fred, Kaufmann 96 Arquitetura. FONTE: L' **Architecture d'aujourd'hui**, n. 328, jun. 2000, p. 62-63.

celas de concreto são produzidas de modo industrial, para aumentar a segurança; em áreas úmidas, módulos de sanitários e cozinhas, produzidos por algumas empresas.

Analisando a pré-fabricação de elementos construtivos, Oliveri (1972) propõe a "fabricação aberta". "Fabricação aberta", ou "sistema pré-fabricado aberto", significa, segundo o autor, a produção de elementos em série, aptos a serem utilizados em qualquer projeto, de qualquer projetista, e executados por empresas de montagem. Este sistema teria flexibilidade planimétrica e volumétrica e os projetos seguiriam uma modulação pré-determinada, "segundo um *objeto modular*, que possibilitaria as mais variadas possibilidades formais e construtivas de uma determinada cultura"; engendrando os mais variados arranjos, mas ao mesmo tempo conferindo unidade ao conjunto arquitetônico.

Um sistema aberto caracteriza-se pela capacidade de interação ou "diálogo construtivo" com outros sistemas existentes no mercado. De acordo com Bruna (2002),

> as características básicas de um sistema aberto são definidas por: peças substituíveis por outras de diferentes origens; peças intercambiáveis, podendo assumir diferentes posições na composição espacial arquitetônica de uma mesma obra; peças combináveis entre si, formando conjuntos múltiplos e maiores; e peças permutáveis por uma peça maior ou por um conjunto de peças maiores.

A possibilidade de expansão e rearranjo dos espaços são características de sistemas construtivos abertos. Estes sistemas destacam a flexibilidade como capacidade de adequação da edificação, ou parte desta, às condições e exigências de seu usuário, aos métodos de produção e aos materiais construtivos disponíveis localmente.

Na arquitetura tradicional japonesa encontramos exemplos que ilustram essa ideia: o módulo – por exemplo, o tatami[32] – é ao mesmo tempo objeto e unidade de medida. O mesmo acontece com os painéis "shoji" e "fusuma". Esses elementos ao mesmo tempo estabelecem a dimensão modular da construção – os últimos no plano vertical (das paredes) e o primeiro no plano horizontal (do piso) – e são objetos que cumprem uma função determinada. O sistema de utilização de *objetos-módulos* pré-fabricados possibilita que a atividade de projeto seja mais rápida e haja flexibilidade dos arranjos volumétricos e configurações espaciais dos edifícios. Posteriormente, alterações necessárias ou reformas, serão descomplicadas.

Na França – que é a pátria dos sistemas pesados –, ao final da primeira Guerra Mundial (1918), com a Lei Loucheur de 1928, estabeleceu-se o primeiro plano público de financiamento de um programa para a construção de 260.000 casas em cinco anos. Esta lei impulsionou o sucessivo movimento francês de industrialização do setor. Le Corbusier contribuiu com o projeto de uma casa a ser construída a seco – *La casa Loucheur* –, que é a

[32] Tatame – esteira de palha de arroz que forra todo o piso das casas japonesas. Diz-se: minha sala tem quatro tatames; funciona como um módulo, uma unidade de medida (91 x 182 cm). Sobre os tatames, costuma-se sentar, deitar, dormir. Um tatame é suficiente para duas pessoas sentadas ou uma pessoa deitada. Constituem, além disso, uma proteção térmica e acústica.



Figuras 3.47b - Módulos habitacionais transportáveis Su-Si e Fred, Kaufmann 96 Arquitetura. FONTE: L' **Architecture d'aujourd'hui**, n. 328, jun. 2000, p. 62-63.

conclusão de experiências anteriores, iniciadas por volta de 1914. Naqueles anos, já estava claro em sua mente que a problemática da habitação estaria resolvida com a adoção de elementos estandardizados, de modo que pudessem ser utilizados em casas distintas em dimensão e distribuição: nasce o Projeto *Dom-ino* (Figura 3.48), em que o princípio elementar é o de estrutura independente da vedação. Pilares e lajes padronizados e capazes de suportar sozinhos todos os esforços, o que permitiria que as vedações – paredes – pudessem ser distribuídas das mais diversas maneiras.

"Architecture or revolution. Revolution can be avoided"[33]

(Le Corbusier)

O prefácio de um livro de Kieran *et al.* (2004), intitulado *Refabricating Architecture How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction*, é iniciado pela provocativa epígrafe acima. Uma revolução pode ser evitada, mas não a arquitetura. De acordo com Kieran *et al.* (2004, p. xi):

> O arquiteto contemporâneo acordou de um sono profundo de 80 anos para descobrir que o sonho nunca aconteceu. Tudo o que parece diferente é o mesmo de fato. Abaixo da casca do novo existe um mundo familiar. A aparência triunfou sobre a substância. A arquitetura ainda leva anos – muitos anos – para ser desenhada e construída. Arquitetura ainda requer recursos fora de qualquer proporção para ter resultados, e suas prerrogativas estão acima dos meios da maioria da humanidade. Qualidade continua seu longo declínio. Poucos materiais são realmente novos, características e processos tornaram-se lugar comum.

O sonho a que se referem os autores é o da industrialização e racionalização da arquitetura, das casas como *máquinas de morar* e de uma consequente revolução social, almejada no século XX. Nada disso se efetivou, nada aconteceu de fato. Segundo os autores – também arquitetos –, os arquitetos *recém-acordados do sonho que jamais aconteceu* comparam o estado de estagnação da arquitetura com os avanços no *design* e fabricação de automóveis, aviões e barcos. Nestas construções, novos materiais e processos são abundantes. Os tempos de fabricação foram diminuindo, bem como o custo de produção e os desperdícios. Nova liberdade e novas feições são identificáveis pelo olhar. Nesses campos, o progresso da engenharia triunfou, ao mesmo tempo em que nas construções a arquitetura continua em acelerado declínio, sinais de um evidente descompasso entre o projeto e as formas materiais de sua expressão, mas antes de mais nada, sinais de um descompasso entre projeto e as formas materiais de sua produção.

A atenção dos arquitetos, notadamente, permanece focada na aparência das coisas, ao mesmo tempo em que o processo mecânico vai muito além da aparência em direção à

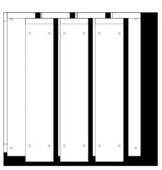
[33] Arquitetura ou revolução. Revolução pode ser evitada.

substância mais profunda do "como fazer as coisas". Para inverter a histórica relação artesanal entre custo e tempo, em uma das mãos, e alcance e qualidade, na outra, é preciso ir muito além da aparência. Para o processo mecânico, o ato do *design* deve considerar o ciclo de vida completo dos produtos. Ao mesmo tempo em que o universo da arquitetura tem crescido cada vez mais cheio de desperdícios, descartáveis e especializações, o processo mecânico floresce na fluida integração dos decisores, dissolvendo, e não reforçando, as fronteiras entre pensadores e fazedores. O mundo quer saber: por que a arquitetura permanece imune à transformação e à evolução? Por que as bases para os construtores da atualidade surgem a partir dos avanços do processo de engenharia, não da arquitetura, ou dos arquitetos?

Há séculos e séculos atrás, tudo que dizia respeito à arquitetura era controlado e articulado pela inteligência de uma única figura, a do mestre construtor. Parte arquiteto, parte construtor, parte engenheiro civil e de produção, parte cientista de materiais, o mestre construtor integrava todos os elementos da arquitetura em uma única mente, coração e mãos. O mais significativo, e também mais problemático, legado do modernismo foi a especialização dos vários elementos do construir, antes dirigidos e harmonizados pelo mestre construtor. É necessário que o homem desenvolva a capacidade de ver a vida em sua totalidade, "em vez de perder-se muito cedo nos canais estreitos da especialização", já reclamava Gropius em 1935, pelo *homem de visão*. Os múltiplos focos no coração da especialização deram origem a uma palavra que vem avançando gradualmente: a *fragmentação*. "Nós aplaudimos os avanços, mas lamentamos a fragmentação que, já não é inevitável e já não tão inutilmente diminuirá a arquitetura" (KIERAN *et al.*, 2004, p. xi).

Hoje, através do gerenciamento das ferramentas de informação, o arquiteto pode uma vez mais se tornar o mestre construtor, integrando as competências e inteligências no centro da arquitetura. O novo mestre construtor modifica a ideia da mente singular do arquiteto, glorificada nas escolas – e em franco declínio na sociedade –, e articula as diferentes figuras para a construção de um novo gênio de inteligência coletiva. "Hoje, o mestre arquiteto é o amálgama entre o cientista de materiais, o engenheiro de produto, o engenheiro de produção, o usuário e o cliente, e cria a arquitetura capaz de ser entendida como arte e como mercadoria ao mesmo tempo, sem que nada se perca das duas" (KIERAN *et al.*, 2004, p. xii). Através do entendimento de que a mercadoria é parceira da arte, a arquitetura passa a ser feita de maneira acessível e sustentável, como os produtos de consumo mais sofisticados disponíveis hoje. Ainda de acordo com Kieran *et al.* (2004, p. xii):

> Todos os complexos esforços humanos, incluindo arquitetura, requerem uma estrutura regulamentar para organizar o caos inerente que subjaz a sua atividade. Nossas estruturas de regulamentação hoje são as ferramentas de gestão de informação, não as idealizadas construções matemáticas da arquitetura clássica. O humanismo moderno é comunicação, não geometria.



As ferramentas de comunicação permitem aos arquitetos e aos seus colaboradores conceber, discutir, explorar e entender cada detalhe antes que se produza algo material efetivamente. O processo é acessível a todos, incluindo o usuário e o cliente. Arquitetos eram, há pouco tempo atrás, limitados a representações fragmentadas e abstratas, como desenhos em seção horizontal ou vertical – para a grande maioria – de ideias físicas. Nós podemos agora, através dos *softwares*, uni-las e torná-las inteligíveis para todos. A compreensão destes compósitos da arquitetura antes de se tornarem substância oferece um entendimento profundo dos elementos da arquitetura que afetam nosso cotidiano. Segundo Kieran *et al.* (2004, p. xii), "Refabricating architecture" conduz, portanto, a um novo humanismo.

O que mudou hoje? Tudo. Produção em massa era o objetivo do século XX. Customização em massa é a realidade recente do século XXI. Nós sempre individualizamos arquitetura para reconhecer diferenças. A customização concorreu para o fim do modo proposto no século XX de produção em massa. Customização em massa é um híbrido. Propõe novos processos de construir usando produção automatizada, mas com a habilidade de que se possa diferenciar cada artefato arquitetônico dos outros que foram fabricados antes e depois. A habilidade em diferenciar para distinguir arquitetura baseada em vista, uso e desenho, é um pré-requisito para o sucesso que tem escapado a nossos predecessores. Com as ferramentas de controle da informação, arquitetos agora sabem que são capazes de visualizar e gerir a fabricação fora de suas vistas, mesmo para uma arquitetura individualizada. Arquitetura agora conta com cerca de cinquenta por cento do custo embutido nos sistemas (Figura 3.49), não em estrutura, paredes e telhado. Evoluções em: diminuição do peso próprio, aumentos de resistência e melhora da *performance* dos materiais oferecem a perspectiva de economia, eficiência no transporte, reutilização e menos desperdício de tudo o que faz parte do processo. O resultado é uma arquitetura mais sustentável. Arquitetos, construtores e clientes colherão os frutos.

São muitas as revoluções na maneira de fazer as coisas. A mudança é quase sempre uma questão de movimento gradual, de uma maneira de fazer e da aparência das coisas que resultam desta maneira de fazer, para outra maneira de fazer e uma nova aparência resultante, e assim por diante. E mudanças no *fazer arquitetônico*, em seus processos invisíveis, estão acontecendo agora, no século XXI. Chegam primeiro de maneiras sutis, e se transformam em exemplos cada vez mais transparentes. De acordo com Kieran *et al.* (2004, p. xiii):

> Existem muitas epifanias no processo da arquitetura, somente uma realização recente de que as coisas não são mais as mesmas ocorreu. As leis econômicas demandam mais continuidade do que descontinuidade do *fazer arquitetônico*, mas a infra-estrutura e a vontade de nos envolvermos já estão aqui entre nós. Acordem arquitetos!

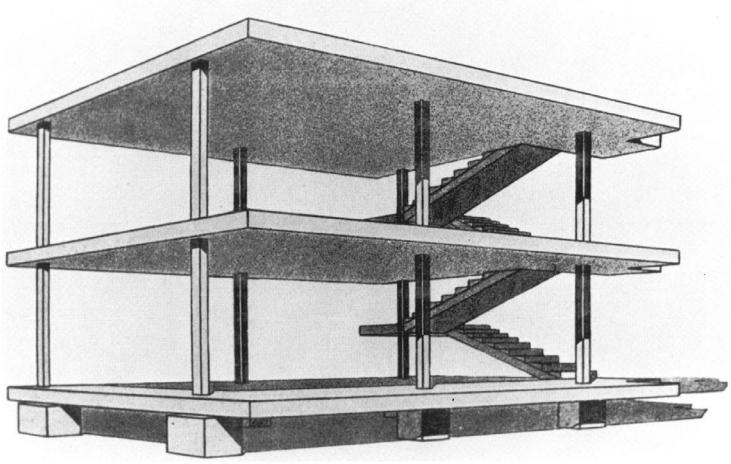
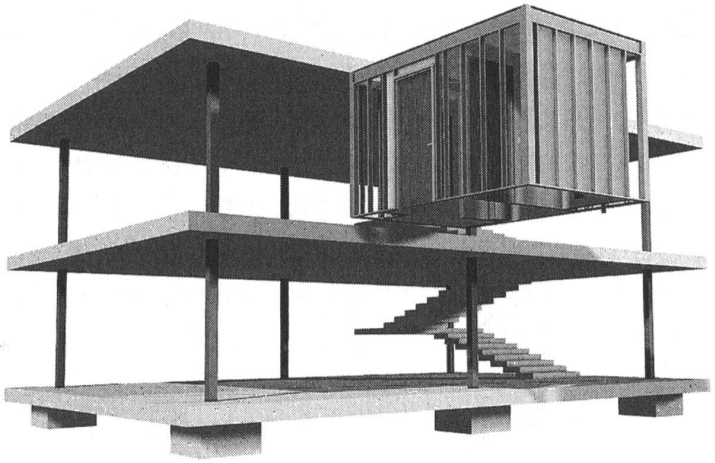


Figura 3.48 - Esqueleto *Dom-ino*, Le Corbusier, 1914-15. FONTE: CURTIS (1987, p. 42).



VS.

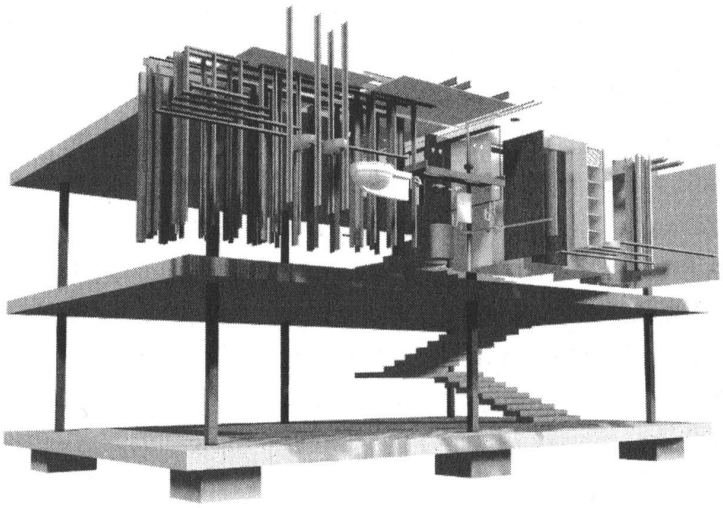
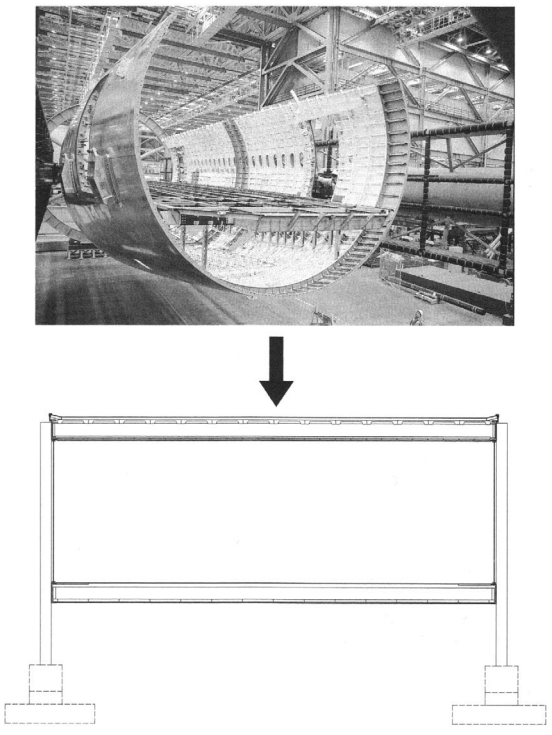


Figura 3.49 - O benefício do *"prepackaging".* O verdadeiro potencial da *Maison Dom-ino* de Le Corbusier como *frame-work* para produção em massa poderia finalmente ser realizado através da reunião de componentes integrados. FONTE: KIERAN (2004, p. 46).

A industrialização na construção é irreversível. De acordo com Sayegh (2005, p. 1):

> o futuro da atividade está diretamente ligado a um aumento da quantidade que pressupõe diminuição de custos, prazo e desperdícios. E isso tudo encontra resposta no emprego de pré-fabricação, que são elementos construtivos produzidos de forma industrial e em larga escala, sempre fora de sua posição definitiva de utilização e com economia de tempo e material.

No Brasil, até a década de noventa, os sistemas pré-fabricados eram comercializados em pacotes com a obra completa, ou seja, se comprava um galpão e não seus componentes. Hoje em dia, o sistema aberto de industrialização, que na Europa é chamado de "segunda geração tecnológica", permite a compra de elementos isolados e com maior valor agregado, como lajes, pilares, painéis e elementos tridimensionais, como banheiros e cozinhas prontos. Essas práticas transformam cada vez mais a obra em um local de montagem de partes pré-fabricadas, ainda que ocorram algumas etapas não industrializadas durante a obra.



A partir do panorama apresentado, um novo paradigma desponta: o método construtivo de fabricação e montagem de aviões a partir de componentes pré-fabricados revolucionou a arquitetura (Figura 3.50), ou melhor, *evolucionou* a arquitetura. Construção pode ser mais simples, fácil, precisa e menos cara. O que Le Corbusier não conseguiu realizar e a construção de aviões conseguiu foi que, para criar uma máquina de morar, você precisa construir uma casa *como se estivesse construindo uma máquina* (KIERAN *et al.*, 2004, p. 172). Portanto, a arquitetura do nosso tempo não apenas tem que ser construída, mas fabricada. E os arquitetos são os únicos profissionais com formação para assumir a responsabilidade pela coordenação do processo, que vai desde a escolha da matéria prima, projeto, produção, até a análise de ciclo de vida do produto – e produto aqui é tanto o

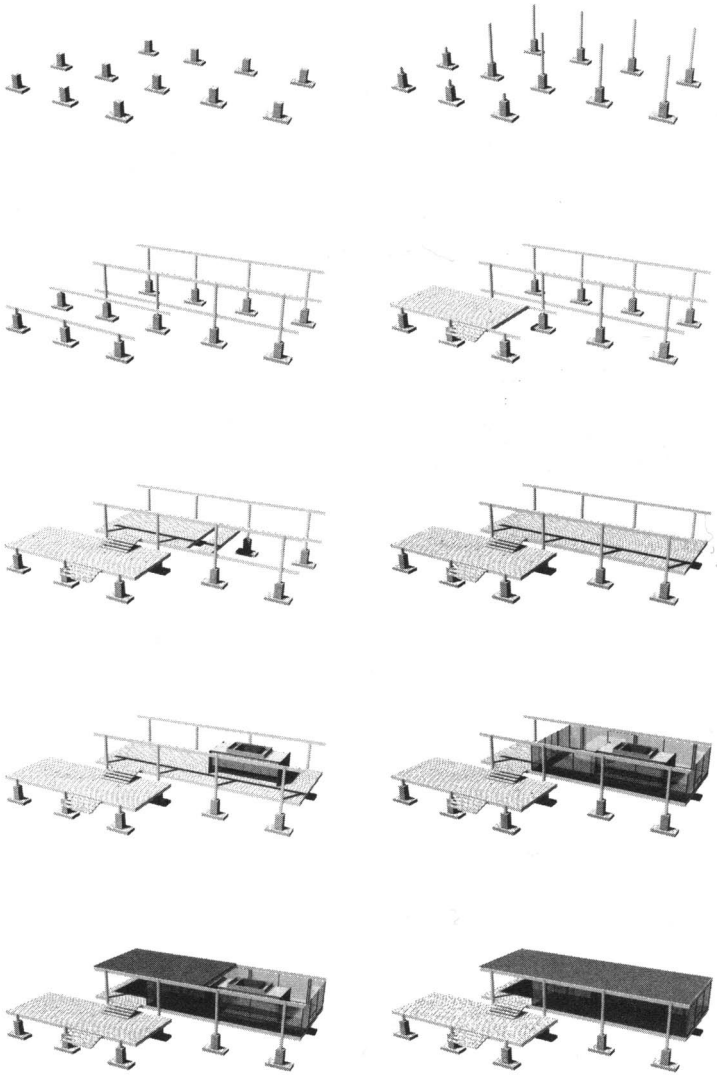


Figura 3.50 - Comparação entre a construção de um *boeing* e a construção da *Farnsworth House* de Mies van der Rohe. FONTE: KIERAN (2004, p. 158, 162 e 172).

componente construtivo quanto o artefato arquitetônico. Caso os arquitetos não assumam sua tarefa, a arquitetura corre o risco de prosseguir em seu universo lento, caro e caótico. Outra possibilidade é que outro profissional tome para si a tarefa e, neste caso, o risco é que não haja mais qualquer possibilidade, ou campo de trabalho para arquitetos. Caso o façam – e esta tese pretende colaborar de maneira positiva para que os arquitetos façam arquitetura – teremos esperança de que a maioria esmagadora das construções que nos cerca poderá se transformar novamente em arquitetura.

3.4 METAPROJETO

O projeto de arquitetura que pretenda à produção industrial racionalizada deve dispor de subsistemas coordenados entre si e de sistemas abertos de fabricação que possam gerar inúmeras soluções a partir de coleções restritas de componentes – os catálogos –, o que viabiliza a economia de escala. Como afirmou Walter Gropius, “Os problemas de projeto, produtivos e econômicos, se conduzem, desde a formação, como nos grandes períodos do passado, de uma unidade indivisível na fusão das atividades artístico-técnicas, tecnológicas e comerciais”.

O pensamento teórico que embasa essa forma sistêmica de projetar é denominado, segundo Sayegh (2005, p. 2), metaprojeto ou *metadesign*. O metaprojeto construtivo organiza e coordena os sistemas e subsistemas e estabelece regras de posição, intercambialidade e interfaces até entre produtos de fornecedores diferentes. Para isso é imperativo que o conceito de modulação, repetição e racionalização balizem a concepção de um projeto arquitetônico desde o início. Projetar nos moldes tradicionais e depois querer transformar parcial ou totalmente a construção em pré-fabricada resulta em perdas de dinheiro, tempo e eficiência. As soluções de pré-fabricação devem nascer junto com o projeto – ou anteriores a ele, no caso do projeto de sistemas e peças-sistema – e precisam ser compatibilizadas com as propostas de especialistas em diversas áreas como instalações prediais, climatização e automação. É dessa maneira que o perfil do arquiteto como coordenador geral do processo se consolida.

Mas, para isso é necessária, também, uma mudança de mentalidade por parte dos arquitetos e essa mudança se dá em vários níveis. A primeira, e talvez a principal, é a alteração da visão de que edificações pré-fabricadas seguem um modelo esquemático que conduz a uma produção em série, resultando em padrões monótonos e repetitivos. O que aconteceu depois da segunda grande Guerra Mundial, por causa da necessidade de reconstrução rápida das cidades europeias, consolidando o emprego extensivo de painéis pesados, pré-fabricados de concreto em empreendimentos habitacionais, não serve de exemplo para a ideia que se pretende defender aqui, pois constitue uma resposta dada numa situação emergencial, portanto válida naquele contexto. Construções de casas-tipo, ou outros tipos de construções em série são rechaçados como método desde o início deste trabalho.

Ao se falar em metaprojeto, algumas pessoas pensam no brinquedo lego. É uma analogia recorrente, porém equivocada. O lego é um sistema fechado por natureza. Analisemos a possibilidade de montar uma casinha utilizando as peças de um lego. Ao acabarem as peças é possível que a criança busque outro brinquedo de montar e finalize a construção? Lamentavelmente isto raramente é possível, pois as peças, geralmente, além de possuírem medidas que não dialogam, também não se conectam facilmente. A natureza metodológica do metaprojeto está, portanto, associada a uma maior interação, a um diálogo

entre os diversos componentes, de catálogos diversos.

Metaprojeto geralmente é descrito como o “planejamento do processo de projeto ou um *projeto do projeto*” (STROETER, 1986, p. 149) ou o *planejamento do projeto* (BITTENCOURT, 1995, p. 15), *projeto sobre o ato de projetar*. Essa descrição, apesar de genérica, sintetiza a ideia de que metaprojeto conduz a um ordenamento do *projetar*, através da apropriação de metodologias adequadas.

Segundo Vidigal (2009):

> é como se organizássemos um modo de projetar específico, uma regra paralela ao ato de projetar. Aliás, o prefixo *meta* (metalinguagem, metadesign, metáfora) pressupõem um certo paralelismo, como se fosse um subtexto que dá origem a uma linguagem qualquer, seja artística ou literária. Em arquitetura, o metaprojeto assume correlações com os sistemas abertos de projetação, modulares ou não e com sistemas tecnológicos que permitam pré-fabricação.

Vale ressaltar que apesar do metaprojeto não estar vinculado a sistemas modulares de projeto, estes são essenciais em se tratando do desenvolvimento de sistemas tecnológicos que permitam a pré-fabricação, o que acaba vinculando uma coisa à outra.

Para explicar o **Metaprojeto Construtivo**, Oliveri (1972, p. 137) estabelece uma relação entre sistemas abertos e *metadesign.* Segundo ele, qualquer tarbalho de projeto corre o risco de estar continuamente em crise, se não estiver preparado para absorver as modificações, ampliações e variações que lhe são impostas. Sempre podem existir motivos para modificações sucessivas: flutuações do mercado, variações no sistema distributivo, desenvolvimentos no campo tecnológico e muitos outros de cunho político ou administrativo. E o método de projeto que prevê a possibilidade de adaptação às mudanças elencadas acima é chamado de *Metadesign* por Van Onch (*apud* OLIVERI, 1972, p. 137). O que se apresenta de maneira estática no desenho é interpretado como “movimento estático” pelo *metadesign*. Portanto, o *metadesign* estuda o movimento dos elementos de um sistema. Concretamente trata de estabelecer as regras segundo as quais os elementos adquirem movimento. Um sistema de projetos aberto é aquele que possui a capacidade intrínseca de mutação e variação em seu resultado, enquanto um sistema fechado não admite mudanças em sua estrutura, e consequentemente os resultados são fixos e definitivos. Um sistema de projeto, por se tratar de uma estrutura reprodutiva, não deve dar lugar a produtos definitivos, deve ser objeto passível de transformações constantes. O desenho, portanto, é um processo evolutivo. Dessa forma, o desenho de um sistema aberto contém funções complexas e contraditórias, os desenvolvimentos futuros são imprevisíveis, e o modo de usar os componentes projetados é fruto da liberdade dos arquitetos e usuários.

Como já foi dito anteriormente, a construção com componentes é algo repleto de



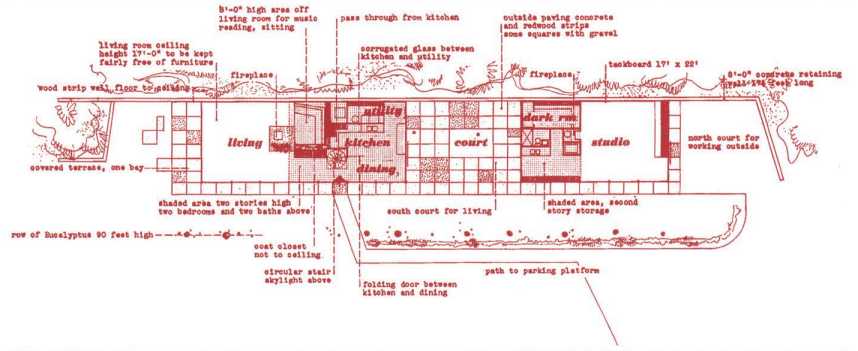




Figura 3.51 - CSH #8, Casa Eames (1945-1949). FONTE: SMITH (2006, p. 22-25).

possibilidades, tantas quantas, ou maiores do que as que existem na construção tradicional. A mudança é relativa à organização e diálogo construtivo que viabilizam projeto e construção de maneira mais fácil e econômica, portanto, não restringe em nada a criatividade. Com inteligência, critério e criatividade é possível construir obras de arte a partir de sistemas ou peças pré-fabricados: um exemplo disto é o programa *Case Study Houses*, em 1945 na cidade de Los Angeles, onde arquitetos conceberam protótipos experimentais de baixo custo, a partir de coleções restritas de peças industrializadas, doadas por indústrias patrocinadoras. As casas, cujas estruturas foram construídas em sua maioria com perfis metálicos (Figura 3.51) ou de madeira (Figura 3.52) padronizados, transformaram-se em ícones da arquitetura e do *american way of life* dos anos cinquenta do século XX. Muitas delas atualmente são casas de atores de Holywood, e quando colocadas a venda atingem valores elevadíssimos.

Os 36 projetos foram concebidos no período pós-segunda Guerra Mundial como protótipos modernos experimentais de baixo custo. John Entenza, que era na época editor de uma revista de vanguarda chamada *Arts & Architecture*, foi um grande motivador do programa, uma vez que as casas eram publicadas pela revista. Entenza via o esforço do *Case Study* como uma maneira de proporcionar ao público e à indústria da construção modelos de baixo custo para habitações segundo o idioma moderno, com base na previsão do crescimento da construção como algo inevitável depois da dramática escassez de casas durante os anos da depressão e da guerra. Usando a revista como veículo, o objetivo de Entenza era o de permitir que os arquitetos conseguissem desenhar e construir casas modernas de baixo custo para os seus clientes, usando materiais doados pela indústria e fabricantes, e de publicar e publicitar extensivamente os seus esforços (SMITH, 2006).

Como os arquitetos que participavam do programa eram convidados pelo próprio Entenza, que tinha um papel de curador, mas também de acordo com suas preferências, o programa foi

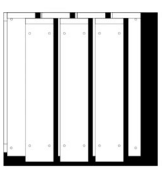






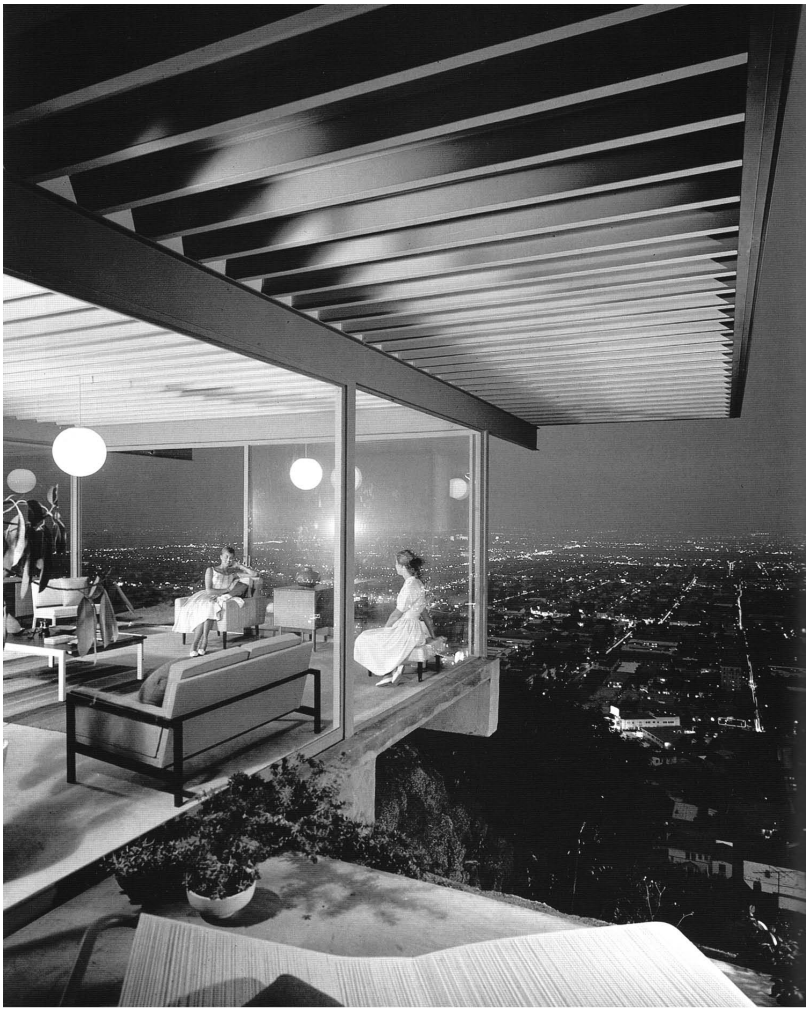
Figura 3.52 - CSH # 23, *"Triad"* (1959-1960). FONTE: SMITH (2006, p. 72-77).

um episódio importante, mas não abarca toda a história do modernismo de Los Angeles do pós-guerra, sem que se possa considerá-lo como o resumo de uma visão americana, e nem mesmo californiana, da concepção de casas modernas de baixo custo. Muitos arquitetos com uma produção importante no período não participaram do programa, como o próprio R. M. Schindler, dentre outros.

As *Case Study Houses* mais conhecidas são casas de aço e vidro como a de Charles e Ray Eames, mostradas a pouco, e Pierre Koenig (Figura 3.53), que se transformaram em ícones da modernidade americana da época. Mas o programa também englobava um considerável número de casas de estrutura (pilar e viga) de madeira, de arquitetos como Richard Neutra (Figura 3.54), e de empresas como a Buff, Straaub & Hensman e Killingsworth, Brady & Smith (SMITH, 2006). Embora menos emblemáticos que as *Case Study Houses* de estrutura de aço, também esses projetos utilizavam seções modulares padronizadas, e foram igualmente concebidos como protótipos para produção em massa.

No Brasil, por exemplo, as obras do arquiteto João Filgueira Lima, o Lelé, elementos pré-fabricados restritos geram inúmeras obras originais; bem como alguns projetos do arquiteto Paulo Mendes da Rocha, com destaque para a casa Gerassi de 1988, que é um exemplo excelente para ilustrar a ideia apresentada no início desta tese de que a criação de sistemas é uma etapa demorada, a etapa de projeto, que usufrui dos sistemas é mais rápida do que se não usufruísse dos sistemas, mas o que se torna realmente rápida e eficiente é a obra, a casa Gerassi teve a sua estrutura montada em 8 horas e o restante da obra em 2 meses. Mas o projeto é datado como de 1987-88, o que demonstra que a etapa mental leva mais tempo, o que é bem razoável e compreensível, dadas as complexidades inerentes ao bom projeto de arquitetura.

Outro ponto a ser repensado é que a escolha de uma técnica de construção, seja ela convencional, de pré-fabricação ou de qualquer sistema de industrialização, não pode ser encarada como uma improvisação para a solução



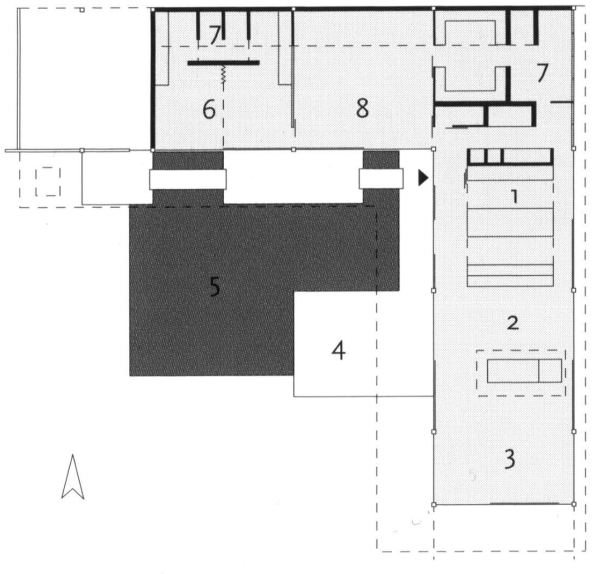


Figura 3.53 - CSH # 22, Casa Stahl (1959-1960). FONTE: SMITH (2006, p. 68-71).



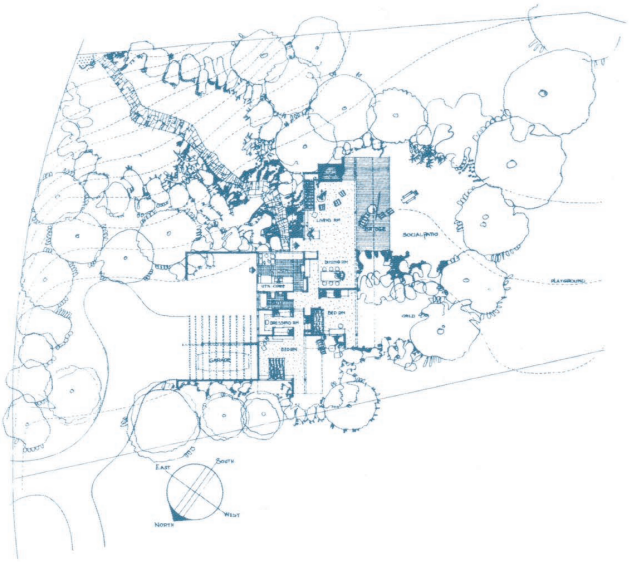




Figura 3.54 - CSH # 20, Casa Bailey (1947-1948). FONTE: SMITH (2006, p. 42-45).

de eventuais problemas. Ao contrário, ela deve ocorrer no início do processo de criação em harmonia com o partido adotado e levando em conta todos os valores que caracterizam uma obra de arquitetura (SAYEGH, 2005, p. 3). Com o conhecimento adequado, o arquiteto tem condições de gerenciar e conduzir este processo junto a outros profissionais. Deste modo, pode-se concluir que um projeto de arquitetura que emprega recursos industriais deve, antes, dispor de um projeto teórico, crítico, organizativo das diversas partes e das possíveis combinações e associações dos componentes existentes localmente e, depois disso, partir para o desenho de algo particular e único. Assim, organizar e catalogar as possibilidades e com isso desenvolver um metaprojeto que sirva a todos os objetivos de projeto é um passo natural do desenvolvimento industrial da construção.

3.4.1 Proposta para a solução do problema da pré-fabricação aberta através do metaprojeto

Os sistemas atuais de construções em madeira são por regra geral sistemas abertos. Oferecem uma grande flexibilidade no que se refere ao uso individualizado e também em combinação com outros sistemas. São concebidos como produtos e podem ser considerados *peças-sistema*[34], desenhados para utilização como parede, piso ou cobertura.

Esse trabalho, portanto, não teria sentido se não estivesse relacionado a uma proposta de fabricação aberta e aos instrumentos para promovê-la. Por onde começar? Segundo Oliveri (1972, p. 127), “Investigando uma metodologia que possibilite a realização de elementos adaptáveis às mudanças qualitativas, quantitativas, psicológicas, físicas e sociais dos usuários, que tenham uma relação com o modo de viver e a personalidade do indivíduo”.

É necessário que se promova, na arquitetura, o desenvolvimento de procedimentos teórico-metodológicos mais sólidos e, portanto, mais científicos. No que diz respeito à atividade projetual, isso implica que saibamos distanciar-nos da dimensão exclusivamente subjetiva, da visão da criatividade como uma “caixa preta” (PIÑÓN, 2006) e do paradigma do “arquiteto gênio”, para aproximar-nos de processos mais racionais, em que, uma vez identificados os objetivos, conhecendo as variáveis em jogo e possuindo um domínio maior sobre elas, o arquiteto possa determinar as direções a percorrer e os resultados a obter, conscientes e fundamentados. Segundo Vidigal (2009):

> através da utilização de metaprojeto, particularmente o *construtivo*, desenvolvem-se métodos próprios no exercício de cada arquiteto. Ou seja, a partir do uso do metaprojeto o arquiteto percebe novas maneiras de abordar o problema projetual, potencializando o desenvolvimento de uma metodologia própria de exercício da arquitetura em cada indivíduo. Com

[34] GROHE, Gerd. “El futuro de la construcción con madera”. **Revista Tectônica 13:** monografias de arquitetura, tecnologia y construcción. Madera (II). Jul. 2001.

> isso, o projeto passa a adquirir uma direção sistêmica. Então, cada arquiteto começa a perceber como organizar o seu trabalho, a sua abordagem pessoal, o seu método.

Com isso podemos retomar exemplos citados no início deste capítulo: Pode-se dizer que Isozaki, Schindler e Corbusier utilizavam-se de diversas formas de metaprojeto para desenvolver o seu trabalho. Estavam preocupados com a racionalização da construção, utilizando para isso elementos pré-fabricados e retícula tridimensional para projetar. Mies van der Rohe, cujo trabalho foi citado várias vezes durante o encadeamento das ideias discutidas nesta tese, também pensou e desenvolveu sua arquitetura como um metaprojeto; de maneira muito refinada conseguia produzir arquitetura de qualidade, sem começar cada novo projeto da estaca zero: os perfis metálicos eram pré-fabricados e todos os elementos dispostos dentro de uma malha projetual e projetados de maneira a serem produzidos em série. Richard Neutra, por sua vez, não projetava elementos para serem pré-fabricados, ele os escolhia dos catálogos das indústrias.

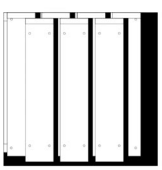
O metaprojeto fornece ferramentas para uso diário – ferramentas que podem ser apreendidas e utilizadas de uma maneira sistematizada e por qualquer profissional interessado em melhorar sua própria prática do projeto arquitetônico e tornar mais racional tanto o projeto quanto a execução das obras – principalmente os ***modelos de categorias e o uso de retícula projetual*** (OLIVERI, 1972, p. 128).

3.4.1.1 Modelos de categorias

Pensemos o edifício decomposto em categorias de elementos, de onde cada uma delas está unida às demais por relações de reciprocidade e onde seja necessário que cumpram certas condições, de maneira que se possa padronizar cada categoria com o objetivo de poder aplicar a teoria das três liberdades (OLIVERI, 1972, p. 128). Por exemplo, a estrutura portante vertical e os elementos do piso devem atender à condição de poder gerar um edifício em que a estrutura vertical se execute a-) com pilares; b-) com paredes; e c-) com pilares e paredes ao mesmo tempo (Figura 3.55).

No caso de um edifício com pilares, (Figura 3.56), a mesma teoria implica uma posterior verificação: a posição dos pilares no interior da retícula estrutural deve garantir que as paredes de fechamento possam ser: a-) totalmente exteriores aos pilares; b-) compreendidas entre pilares; e c-) totalmente interiores aos pilares.

A utilização de uma retícula modular unificada cria novas situações e possibilidades: conceber um edifício como soma de elementos modulados significa dar ao edifício a



possibilidade de adaptar-se – em todas as direções – a uma multiplicidade de mudanças e circunstâncias (Figura 3.57).

3.4.1.2 Elaboração de uma metodologia sobre a teoria das três liberdades

O princípio contido na teoria das três liberdades (OLIVERI, 1972, p. 132) contém três ordens de exigências: distributivas, produtivas e formais.

1. Liberdade de adequar os edifícios às mudanças (flexibilidade de uso);

2. Liberdade na incorporação da indústria no ciclo produtivo da construção, sem que haja a necessidade de acordos preventivos entre produtores (fabricação aberta);

3. Liberdade na configuração espacial do edifício (liberdade de forma).

A primeira das liberdades já não consiste apenas em fornecer condições para que o espaço adapte-se às idiossincrasias dos usuários, mas, acima de tudo, consiste em impedir a obsolescência tipológica da edificação: que a casa de hoje possa se transformar, por exemplo, na oficina amanhã, a partir de adaptações simples e não onerosas.

A respeito da liberdade de incorporação da indústria no ciclo produtivo, as *coordenações dimensional e modular* são a chave mestra, mas não através do estudo de medidas preferenciais, como se costuma fazer, que seria o seguinte: como exemplo, a aplicação desta teoria à produção – em painéis de fachada –, uma série *n* de alturas preferenciais, unidas a uma série *m* de longitudes preferenciais, conjuntamente, dão lugar a *m x n* componentes de dimensões diferentes. E por exigência de mercado, soma-se a variação dimensional à variação de modelos ou acabamentos, dando origem a *p* modelos. Portanto agora temos *m x n x p*.

Resumindo, cada uma das categorias dos elementos

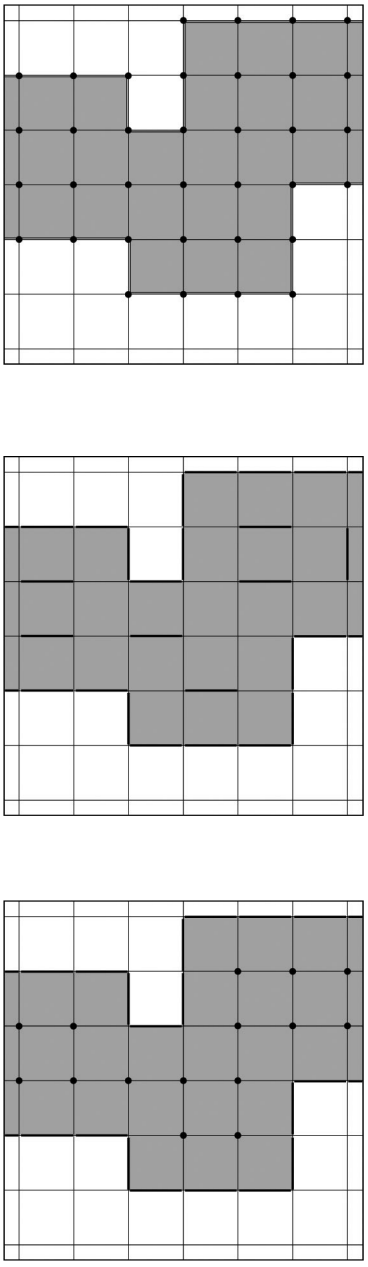


Figura 3.55 - Categorias de elementos: estrutura vertical a-) com pilares; b-) com paredes; e c-) com pilares e paredes ao mesmo tempo. FONTE: Desenho da Autora, adaptado de OLIVERI (1972).

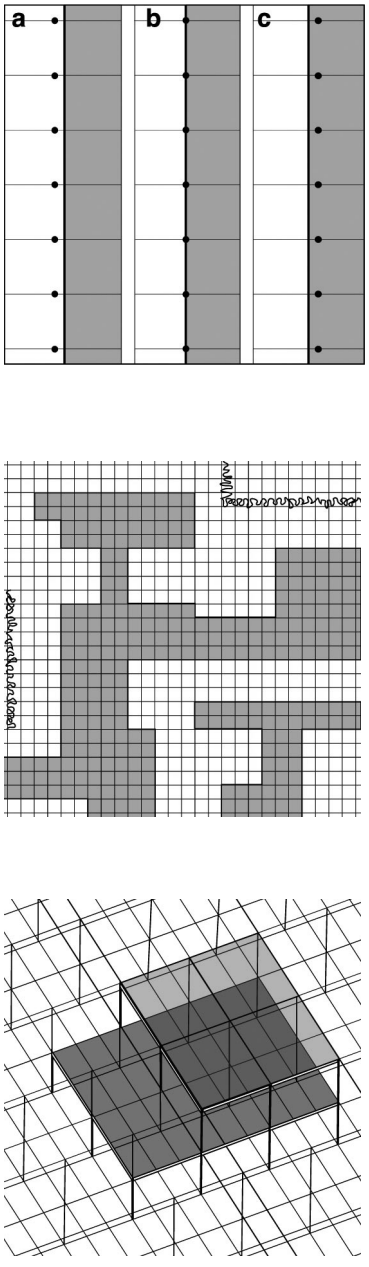


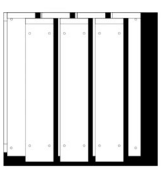
Figura 3.56 - Paredes de fechamento: a-) totalmente exteriores aos pilares; b-) compreendidas entre pilares; e c-) totalmente interiores aos pilares. FONTE: Desenho da Autora, adaptado de OLIVERI (1972).

Figura 3.57 - Retícula modular unificada. Fonte: Desenho da Autora, adaptado de OLIVERI (1972).

e com apenas três possibilidades de variações em altura e outras três em largura, e admitindo que seria produzido apenas um modelo (que é muito pouco), implica nove dimensões diferentes de componentes. Por outro lado, no caso de painéis de fachada, se necessita de aproximadamente nove tipos de componentes para satisfazer as necessidades compositivas mais elementares: 1-) painel cego interno; 2-) painel cego externo; 3-) painel com janela pequena; 4-) painel com janela grande; 5-) painel porta; 6-) painéis de cantos internos; 7-) painéis de cantos externos; 8-) painéis para varanda; e 9-) painéis diversos que multiplicados pelas 9 dimensões originam 81 tipos diferentes de elementos para fachada. E se os modelos, em vez de um forem três, combináveis entre si, para que haja um mínimo de modelos a escolher, seria necessária uma gama de 240 componentes. A produção, armazenagem e distribuição tornam-se complicadas e onerosas. Aí está o motivo fundamental da impossibilidade de industrialização de painéis assim concebidos.

Por outro lado, Oliveri (1972, p. 132) propõe que se estabeleça uma só medida modular suficientemente grande e adaptável a nível nacional (na antiga casa japonesa era o Ken), de tal maneira que, para a categoria de painéis de fachada, o número de elementos se reduziria ao dos tipos, ou seja, nove. E no caso de os modelos serem três, como no exemplo anterior, o número de elementos para se produzir, armazenar e distribuir seriam 27, ao invés dos 240 anteriores. Mas, neste ponto, o autor esbarra na terceira liberdade, que é a liberdade na configuração espacial do edifício ou liberdade de forma.

Refletindo sobre o assunto e observando trabalhos anteriores, que abordaram o tema das duas maneiras expostas acima, conclue-se que tanto o uso de medidas preferenciais, que geram um número muito grande de elementos para cada categoria de uso, quanto o estabelecimento de uma medida modular grande não representam a solução para o problema da industrialização de componentes construtivos.



A *Lobolly House* (Figura 3.58) representa uma tentativa de integração entre projeto e produção dos componentes. O projeto controlado, dirigido, compatibilizado e integrado pelo escritório de arquitetura KIERAN & TIMBERLAKE. O objetivo deste trabalho foi atingir a perfeição construtiva, em menos tempo, com mais colaboração e um número menor de erros.



O projeto foi todo construído com peças e componentes pré-fabricados, os perfis de alumínio são produzidos pela Bosh, os painéis de contraventamento são de OSB, os banheiros e a cozinha são módulos tridimensionais que chegaram prontos na obra. E as tábuas de madeira da elevação obedecem às medidas padronizadas.

É preciso que se desenvolvam e forneçam os componentes tecnológicos sem forçar ou impor soluções. A medida modular, ou “grande módulo”, proposta por Oliveri foi testada nas últimas décadas e representa um bom instrumento para usos isolados, mas não para o mercado aberto, pois além de limitar as opções de configuração espacial dos edifícios,

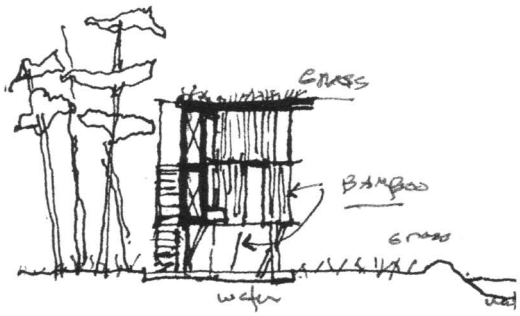




Figura 3.58 - *Lobolly house*, fotos da casa sendo construída e corte da fachada de duas camadas. FONTE: KIERAN (2004, p. 95-96 e 107).

apresenta problemas com transporte e armazenamento. Como já foi dito, o importante é a possibilidade de individualizar inerente a um “sistema”, isto é, de operar com poucas variáveis, ligadas entre si, para obter resultados de diversas matizes. A lógica e tectônica dos projetos contemporâneos são tão múltiplas, variadas e complexas quantos e como forem os



Figura 3.58 - *Lobolly house*, fotos da casa sendo construída e corte da fachada de duas camadas. FONTE: KIERAN (2004, p. 95-96 e 107).

sistemas pelas quais se organizam. É preciso que elementos, peças e componentes menores facilitem o projeto, uma vez que, apesar de variados, possam ser integrados em retículas projetuais apropriadas, e sejam os sistemas suficientemente abertos e independentes para que se possa trabalhar em alturas e larguras variadas e misturando técnicas, materiais e produtos diferentes, de acordo com as necessidades e aspirações de cada projeto.

3.5 RESUMO / CONCLUSÕES CAPÍTULO 3

3.5.1 Algumas reflexões e apontamentos

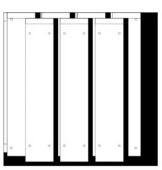
Uma breve revisão histórica revela que sempre houve a preocupação em encontrar metodologias de projeto mais eficientes, e como projetar implica em escolher previamente materiais e estes têm tamanhos (longitudes, alturas e espessuras), qualquer tentativa de racionalizar o projeto arquitetônico estará inevitavelmente atrelada à procura por medidas e mais do que isto, relação entre medidas.

Sobre coordenação modular, mais do que entender o módulo de 10 cm como uma panaceia capaz de resolver os problemas da arquitetura, tampouco como fator restritivo no projeto, temos que relacioná-lo a grelhas de projeto de 90x90, 100x100, 110x110, 120x120 cm e até 130x130 cm, que são comprovadamente muito eficientes para a conformação dos espaços arquitetônicos privados e públicos, e, portanto, sistemas, peças-sistema, componentes e elementos construtivos que tiverem suas medidas (dimensões exatas e tolerâncias) relacionadas a estas grelhas serão muito mais eficientes e econômicos.

Corbusier e Schindler determinaram os seus números preferenciais com base em sistemas escolhidos e previamente discutidos neste trabalho, sem levar em conta a coordenação modular decimétrica. Este trabalho de tese proporá os componentes levando em conta a coordenação modular para facilitar a produção e a conexão com elementos de outros sistemas, mas estará mais comprometido com a possibilidade de utilização de diferentes grelhas de projeto arquitetônico com um número reduzido de componentes, como será demonstrado no capítulo V.

A noção de construção com componentes envolve, sem dúvida, a associação de elementos construtivos e a eliminação dos cortes e ajustes na obra, ou do emprego de materiais com dimensões indeterminadas, como as argamassas. Mas a construção com componentes representa mais do que isso. Ela implica, para o arquiteto, na liberdade de aproveitar a seu gosto tantos componentes quantos forem necessários e das mais variadas origens no projeto. Um sistema aberto constitui a melhor alternativa para a construção com componentes, mas as escolhas abertas ainda são limitadas pelo sistema e pelo uso restrito de componentes obtidos de grupos de fornecedores, que muitas das vezes não dialogam entre si.

Existe industrialização quando se supera o erro incontrolado, típico do artesanal, para chegar ao estudo sistemático da montagem e das tolerâncias na elaboração. Em construção, isto equivale a dizer: existe a construção industrializada quando o projeto se transforma no vínculo entre todos os componentes da edificação e de sua montagem, o que requererá que



o produto final não seja diferente do projetado.

O uso de sistemas modulares pré-fabricados leves, que não exijam gruas e outros equipamentos pesados para apoio à construção, pode conduzir a uma redução significativa dos impactos ambientais. A redução do peso próprio que uma construção de madeira permite é mais um fator que deve ser levado em consideração na hora da escolha.

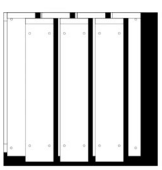
O que se vislumbra aqui são as bases para uma reorganização da ordem construtiva. Apesar de aparentemente simples, isso envolve muita coisa, não apenas a construção propriamente dita, mas todo o processo, que necessita ser progressivamente atualizado, desde o projeto dos sistemas – e o que se apresenta mais promissor no panorama contemporâneo é o projeto de peças-sistema, num esquema aberto – até a obra pronta e habitada.

As vantagens resultantes da pré-fabricação de componentes e elementos construtivos residem em: 1-) melhor qualidade do material construtivo: *performance* plástica: acabamento, *design*; *performance* funcional: ambiental, acústica, estrutural, juntas ou interfaces de preferência secas; 2-) melhor qualidade da obra e dos acabamentos; e 3-) racionalização dos trabalhos que resulta em: economia de tempo e recursos e solução dos problemas atuais na construção – ordenação e acabamento. O arquiteto é o único profissional com formação para gerenciar e conduzir este processo junto a outros profissionais.

É preciso que se desenvolva a prática de um projeto teórico, crítico e organizativo das possíveis combinações e associações dos componentes existentes e também encarar a possibilidade de interagir com a indústria, propondo novos componentes que agreguem qualidade ao projeto e à construção. Enfim, organizar e catalogar as possibilidades e com isso desenvolver um metaprojeto que colabore de maneira positiva com todos os objetivos de projeto. Este é o passo natural do desenvolvimento industrial da construção.

CAPÍTULO 4

MADEIRA E MATERIALIDADE



4 MADEIRA E MATERIALIDADE

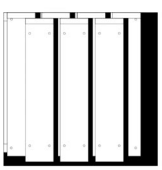
No presente capítulo é apresentado em primeiro lugar a madeira como material renovável e portanto mais sustentável do que os materiais usualmente utilizados na construção civil brasileira, como concreto armado e tijolos; em segundo lugar, apresenta-se a relação entre estrutura e vedação em sistemas construtivos de madeira e diferentes tecnologias empregadas em paredes de vedação e, por fim, reflete-se sobre *"o projetar" o espaço e a construção de madeira,* apresentando as propriedades da madeira a serem consideradas num projeto de arquitetura.

4.1 MADEIRA, MATERIAL RENOVÁVEL

A humanidade está enfrentando a queda de grandes paradigmas, dentre os quais podemos destacar dois, cujo entendimento é importante dentro do contexto desta pesquisa. O primeiro diz respeito ao modelo de inesgotabilidade dos recursos naturais, sobre o qual nossa sociedade e nossas mentes foram construídas e também sobre o qual se calcou nossa postura predatória e poluidora. O segundo paradigma é o modelo de hegemonia do homem sobre todas as coisas do universo. Apenas nas últimas décadas do século vinte é que estes modelos foram questionados, e só agora, no início do século vinte e um, que nós estamos finalmente convencidos de que estes paradigmas estavam incorretos, de que recursos minerais como a água, o calcário e os metais são finitos e que o homem ocupa não o centro do universo, mas apenas um ponto na vasta e variada teia, e que por ser vasta e variada nos mantém todos vivos (BERRIEL, 2002, p. 83).

O momento é crítico, pois sabemos que precisamos mudar mas não sabemos ainda exatamente como. Os problemas todos tornaram-se por demais complexos para nossas mentes treinadas para resolver tarefas específicas, fruto de uma setorização do conhecimento e do desconhecimento progressivo da totalidade da vida. A mudança já está acontecendo, mas levará anos para que padrões tão enraizados, tão profundamente entranhados dentro de todos nós, como o hábito de nos livrarmos com descaso do lixo sem pensar para onde vai os invólucros coloridos de nosso consumismo voraz, possam ser modificados. É preciso que haja mudança de consciência e de atitude. É preciso compreender que a postura predatória do homem não é viável por muito mais tempo.

O estudo da madeira como material para construção vem de encontro com a necessidade de pensar de maneira mais sustentável. A madeira é um material renovável. Além disto, durante o processo de produção, as florestas beneficiam a fauna, o ar, os rios, o mar e, consequentemente, beneficiam a vida humana. O ciclo de vida de uma árvore é muito mais parecido com o nosso do que os longos ciclos que geram outros materiais de construção como, por exemplo, os metais e



a argila.

Segundo INO (*Entrevista*, 2001), se cada família plantar 10 árvores, que em 25 anos produzirão aproximadamente 10m^3, estas são suficientes para a construção de uma casa. E no momento que a casa estiver sendo construída, plantarem mais dez árvores, a cada 25 anos esta família substituirá a casa por uma nova casa, sem poluir, sem degradar e, ao mesmo tempo, propiciando o crescimento de florestas que manterão o equilíbrio do planeta. Resolvem-se problemas de *déficit* habitacional e tantos outros. A madeira, além de recurso renovável, é, posteriormente, engolida pela terra sem deixar resquícios ou escórias.

Refletindo sobre a célebre frase do químico francês Lavoisier **"*Nada se cria, nada se perde, tudo se transforma*"** concluiremos que tudo o que está no Planeta Terra hoje está aqui há milhões de anos sofrendo transformações constantes – algumas inevitáveis e outras evitáveis. E se estamos enfrentando sérios problemas com excesso de lixo, poluição inconsequente dos recursos hídricos, destruição criminosa das florestas nativas e a demanda habitacional para milhares de pessoas que vivem nas ruas ou em condições inadequadas, chega-se à conclusão que o cerne dos problemas atuais só pode estar diretamente ligado a falhas de organização. É preciso ter consciência de que a pobreza decorre, sobretudo, da falta de organização.

Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente (CMMAD) publicou uma "agenda global para mudança", mais conhecida como Relatório Brundtland, no qual pode ser encontrada pela primeira vez a definição sistematizada do termo desenvolvimento sustentável: "desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades" (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 2001).

A sustentabilidade foi definida como sendo

> a capacidade de se produzir e a de se consumir de tal forma que não se ponha em risco a capacidade de gerações futuras de satisfazerem suas necessidades. A produção sustentada é a utilização e a extração de componentes de matérias-primas de tal forma que nada seja desperdiçado, e que tudo seja utilizado (PAULI, 1998, p. 48).

Desenvolvimento sustentável é, portanto, o crescimento social e econômico que produz alimento, mas não produz resíduo, porque resíduo faz parte de uma maneira de pensar linear, cartesiana, em que considera-se para análise apenas parte do processo, sem enxergar o antes e o depois, o que não torna viável a vida humana na terra em condições satisfatórias.

De acordo com a STCP (2002, p. 6)[1], o mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), ou *Clean Development Mechanism* (CDM), é um dos instrumentos criados pelo protocolo de Kyoto através do qual os países industrializados signatários pretendem atingir metas de

[1] Informativo STCP, publicação da STCP Engenharia de Projetos Ltda, n. 6, 2002.

redução de emissões de gases de efeito estufa. Este mecanismo prevê a compensação destes gases através de projetos implementados em países em desenvolvimento, como o Brasil. Para o setor privado, especialmente para indústrias e empresas do setor florestal, os projetos de MDL surgem como ótima oportunidade de incremento na receita. A viabilidade de projetos (através do financiamento pela venda dos créditos de emissão reduzida) pode ocorrer, por exemplo, a partir da recuperação de áreas degradadas e reflorestamentos, bem como com a implementação de novas tecnologias industriais menos danosas ao meio ambiente.

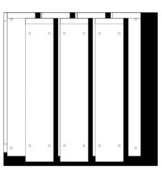
Segundo YEANG[2], citado por GREVEN *et al.*, (2007, p. 12), que faz um balanço dos *inputs* (insumos) e *outputs* (produtos) da construção civil, 40% das matérias primas (por peso) do mundo são usadas na construção de edificações a cada ano; 36% a 45% do *input* de energia de uma nação é usado nas edificações e 20% a 26% do lixo de aterros vem das construções.

Com a colonização, introduziu-se no Brasil as construções com pedra e com barro, as taipas de pilão e de sopapo ou pau-a-pique. A madeira, desde então, foi usada nas tramas do pau-a-pique, como estrutura dos telhados, nas esquadrias, pisos, forros, escadas. Raramente a madeira foi utilizada como estrutura ou parede, ou seja, historicamente foi considerada complemento e não elemento principal da construção. Mais tarde, no século XX, seria utilizada como forma e escora para o concreto armado, uso que se prolonga até a atualidade. Tradição arquitetônica com madeira, como a que ocorreu nas *casas de araucária* (IMAGUIRE, 1993), nas casas de peroba rosa do norte do Paraná (ZANI, 1989) ou mesmo nas casas encontradas em Santa Catarina e Rio Grande do Sul, é caso isolado dos estados do Sul.

Podemos citar vários exemplos do emprego da madeira no Brasil, dentro de uma produção erudita, como, por exemplo, as obras modernistas: o Park Hotel, de 1944, em Friburgo, Rio de Janeiro, projeto de Lúcio Costa; a casa de campo do embaixador Accioly, de 1950, em Petrópolis, Rio de Janeiro, projeto de Francisco Bolonha; e a encantadora Casa de pau-a-pique, de 1949, em Nova Friburgo, Rio de Janeiro, projeto de Carlos Frederico Ferreira. Tais obras constituíram uma pausa na arquitetura de concreto. Foi a partir dessa mesma época que a madeira virou forma de concreto e tábua na favela. Mas sempre houve quem, a despeito de modismos ou tendências, fizesse uma opção pela madeira, como, por exemplo, os arquitetos Zanine Caldas, Sérgio Rodrigues e Severiano Porto, entre outros, que adotaram a madeira como material principal de suas obras, que somam sistemas estruturais bem elaborados, plasticidade e uma incontestável brasilidade.

A história do concreto armado no Brasil constitui uma rara instância de aprimoramento tecnológico original em um país subdesenvolvido [leia-se: em desenvolvimento] de passado colonial (FICHER, 1994, p. 62). Nas primeiras décadas do século XX, cidades que apresentavam acelerado crescimento demográfico, como São Paulo e Rio de Janeiro, demonstravam os

[2] YEANG, K. *Proyectar com la natureza: bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. Barcelona, GG, 1999.



primeiros sinais da tendência à verticalização de suas construções. Apesar das edificações mais altas serem realizadas inicialmente com estrutura metálica, em geral construídas e executadas na Europa – como os edifícios construídos entre 1904 e 1910 na Avenida Central do Rio de Janeiro –, as dificuldades para a importação de produtos industrializados estrangeiros durante a segunda Guerra Mundial impuseram uma política de substituição de materiais estrangeiros por nacionais.

O concreto armado possui características que, no Brasil, o tornaram viável: a possibilidade de construir com projetos e materiais nacionais. É um sistema construtivo em que se fundem tarefas artesanais e o emprego de maquinaria; portanto, sua aceitação era favorecida por uma organização social em que mão de obra é um fator de produção barato e pela existência de uma fabricação local de cimento Portland.

Tal tradição teria duas consequências importantes a longo prazo. Por um lado a transformação do concreto armado em sistema construtivo popular, empregado empiricamente em todo tipo de obra de pequena monta (FICHER, 1994, p. 63), sem exigir recurso a cálculos técnicos especiais. E essa prática perdura até hoje, em qualquer loteamento popular pode-se observar no Brasil o emprego do concreto armado para construir pilares, vigas e para preencher as lajes pré-moldadas, tudo feito pelos próprios moradores, sem a necessidade de cálculos e ou de conhecimento técnico apurado. Por outro lado, sua presença e prestígio iriam impedir o desenvolvimento de tecnologia para a aplicação de outros sistemas estruturais, como o aço e a madeira.

Com a organização da siderurgia nacional em meados da década de 1940, um relativo interesse pelo emprego do aço propiciou o aparecimento de quadros técnicos, em geral com formação americana, especializados em cálculo de estruturas metálicas. Também foi significativa a influência de calculistas estrangeiros radicados no Brasil, como o russo Hermann Schulte, professor da escola de Engenharia Mackenzie (FICHER, 1994, p. 63), que contribuiu para a formação de uma geração de projetistas de estruturas metálicas em São Paulo. Mas esta capacitação não seria suficiente para superar outros problemas de ordem econômica e técnica. Dentre estes, os conflitos de interesse entre as firmas produtoras de estruturas de aço para a construção civil e os cartéis do cimento, politicamente mais fortes, e o fato destas firmas serem de capital intensivo, em um país em que os custos com mão de obra continuam sendo baixos.

Além das questões políticas e econômicas determinantes do monopólio do concreto armado, o que se precisa hoje é estabelecer as bases para uma discussão da introdução mais efetiva da madeira em peças e elementos construtivos em nosso país. O concreto armado é uma tecnologia barata pois o cimento é produzido em larga escala. Mas, a noção de barato e caro hoje adquire um novo componente em sua composição que é o custo ambiental de uma determinada tecnologia. O que era barato há algumas décadas, hoje é caro ambientalmente e num futuro próximo pode ser inexistente. A madeira, sólida ou engenheirada, neste cenário,

surge como alternativa de material para construção renovável. As inúmeras vantagens comparativas da madeira, em relação a outros materiais de construção, foram apresentadas no capítulo 1 deste trabalho, no qual também foi explicitado que o objetivo deste trabalho não é discutir sustentabilidade, uma vez que o assunto, além de muito extenso, já foi discutido amplamente em trabalhos anteriores. Mas, algumas questões precisam ser explicitadas neste subitem para justificar a defesa da madeira como material apropriado para a arquitetura do século XXI e, portanto, a necessidade do desenvolvimento de um *projetar com madeira*.

Segundo SMA[3] (*apud* BARBOSA, 2000, p. 33), as principais atividades minerarias são da classe II, destinada à construção civil (areia, argila e brita), causando graves problemas, principalmente às várzeas de rios, mananciais, fauna e flora; o assoreamento entre outros. Além disso, as jazidas de calcário estão cada vez mais escassas. Outro fator agravante à degradação do meio ambiente – causado pela indústria da construção civil – é a geração de entulhos. O desperdício de material e energia seria suficiente para prover a construção de grande número de residências de interesse social, por exemplo.

Dentro deste panorama de degradação do meio ambiente, é necessário o estudo de materiais aptos para construção que causem menor impacto ao meio ambiente, reduzindo o uso de energia fóssil nos diversos setores da construção civil, procurando alternativas que utilizem recursos energéticos não esgotáveis, como a biomassa, a energia solar e eólica. Um dos caminhos é o uso de materiais renováveis, um deles a madeira de reflorestamento e/ou de manejos sustentáveis, que, em comparação ao aço e ao concreto, representa uma alternativa mais viável do ponto de vista ambiental.

A madeira ainda representa um importante papel no estoque de carbono, e, por requerer menor consumo energético em seu processamento, contribui para reduzir a emissão de gases que causam o efeito estufa (CO2) – indicador importante para classificação dos materiais em relação ao impacto no meio ambiente.

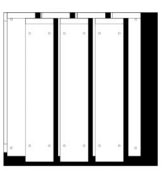
Material	Consumo Energia	Emissão de CO2	Poluição do Ar	Poluição da Água	Resíduos Sólidos	Impacto Ambiental
Madeira*	X	X	X	X	X	x
Aço*	2,4x	1,45x	1,42x	120x	1,36x	1,16x
Concreto*	1,7x	1,81x	1,67x	1,9x	1,96x	1,97x

TABELA 4.1- COMPARAÇÃO DE TRÊS EDIFÍCIOS EM MADEIRA, AÇO E CONCRETO. FONTE: BARBOSA *et al*. (2000).

* Piso e painéis de compensado; ossatura de madeira e estrutura principal em laminado colado.
* Piso e cobertura: aço galvanizado; piso de concreto com malha de aço; estrutura principal em aço.
* Piso e cobertura: moldes *in loco* de placas de concreto; painéis pré-moldados.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de reutilização ou reciclagem do material no final do processo de produção ou mesmo em cada uma das etapas da cadeia produtiva,

[3] SMA (1998a) – Secretaria do Meio Ambiente, Aspectos Ambientais Urbanos dos Municípios do Estado de São Paulo, Seminário Internacional – Cidades Sustentáveis, Abr., 39p.



resultando em menor quantidade de resíduos sólidos produzidos.

Os edifícios consomem grande quantidade de material e energia durante todo o processo de construção. Segundo Barbosa *et al.* (2000, p. 38), na quantificação do consumo de energia nas construções, em geral, era considerado somente o processo básico da produção dos materiais e dos componentes construtivos e o uso do edifício (aquecimento, refrigeração e iluminação). Porém, em recentes pesquisas, revela-se a importância de quantificar a energia embutida no material desde a extração, transformação da matéria prima até o componente acabado, uso e demolição. Classificando assim os materiais de menores gastos energéticos dentro de um processo cíclico de produção.

Segundo Winter[4] (*apud* BARBOSA *et al*., 2000, p. 42), usando a madeira para construção economiza-se em duas etapas a quantidade de energia: uma na formação da matéria prima que se faz através da absorção da energia solar (fotossíntese); e a outra com o consumo de energia necessária para a usinagem da madeira. Apresenta ainda vantagem em relação ao consumo de energia para o processamento e montagem da construção e, sobretudo, quanto ao aproveitamento de seus resíduos como energia calorífica.

Como indicador de qualidade e de transformação do meio ambiente, pode-se considerar a emissão de gases, como CO_2, o principal responsável pelo efeito estufa e elevação da temperatura da terra. Uma das maneiras de reduzir as emissões de CO_2 e ainda retirar da atmosfera o excedente já liberado é plantando árvores. Para seu crescimento as árvores absorvem CO_2 do meio ambiente e fixam carbono para formação de matéria orgânica. A árvore é um agente de estocagem de carbono e este estoque pode ser prolongado utilizando a madeira como matéria prima para construção.

No fim de seu ciclo de vida a madeira ainda pode ser utilizada para fins energéticos. Neste caso, é liberado CO_2 na mesma quantidade que o absorvido na fotossíntese, e exatamente na mesma proporção que na decomposição natural da árvore na floresta. Portanto, a matéria prima



Figura 4.1 - Instituto do Mundo Árabe. Diafragmas em todas as paredes externas do edifício controlam a entrada de luz. Quando há mais luz exterior, os diafragmas se contraem diminuindo a entrada; por sua vez, quando há menos luz exterior eles se abrem. FONTE: Fotos da Autora. Paris, França, 2004.



[4] WINTER, Wolfgang (1998). Economical and Ecological aspects of Multistory timber building in Europe. In:5th World Conference of Timber Engineering, August 17-20, VI, Montreaux, Switzerlnd, 664-668p.

MADEIRA é neutra do ponto de vista de emissão de CO_2 (BARBOSA, 2000).

Incentivando os reflorestamentos e manejos florestais adequados a cada região e o uso desta matéria prima para produção de componentes para construção, a madeira representa ainda uma alternativa para solucionar problemas habitacionais, gerando trabalho e renda. Possibilitará a promoção de um maior desenvolvimento à região, além de reafirmar sua importância rumo à concretização dos conceitos de sustentabilidade.

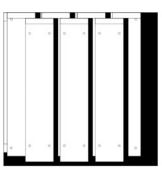
Com relação à economia de energia, a primeira etapa é a de produção dos edifícios e a segunda é como eles se comportam depois de prontos. Há muitas formas de melhorar a eficiência energética dos edifícios. Uma grande parte da responsabilidade em não desperdiçar energia cabe aos ocupantes, mas é aos projetistas que concebem o edifício que compete dotar este com o máximo possível de qualidades e recursos que permitam a gestão das energias disponíveis da forma mais racional.

Segundo Mendonça *et al.* (2000):

> a maximização das potencialidades associadas a um correto estudo da envolvente dos edifícios, com a otimização dos ganhos Solares no inverno e minimização destes no verão, permite atingir níveis de conforto aceitáveis durante todo o ano, reduzindo, e, em algumas situações, eliminando na totalidade, o recurso a sistemas mecânicos de controle ambiental.

Segundo Bradshaw (1993), a necessidade atual de poupar energia trouxe uma reavaliação do papel da envolvente, começando a ser entendido como um limite dinâmico, onde interagem as energias naturais exteriores e o ambiente interior. As “peles” dos edifícios terão de ganhar inteligência, não apenas uma inteligência complexa pela introdução de sistemas mecânicos, como sucede na fachada do “Instituto do Mundo Árabe” (Figura 4.1), de certa forma incompatível com a intenção de sustentabilidade e de redução de peso da envolvente exterior (MENDONÇA *et al*., 2000); mas uma inteligência que leve a maior simplificação e a maior eficiência.

É o mesmo que se pensar em uma janela; quanto maior o número de folhas, uma de vidro, uma persiana, outra ainda, totalmente escura e se, além disso, ainda houver cortinas do lado de dentro, mais flexibilidade e controle haverá. Análogo à janela, o edifício deverá oferecer flexibilidade, paredes que se abrem como janelas e se fecham completamente quando for preciso (Figura 4.2). A luz, que deve entrar em algumas situações pelo teto, outras pelas paredes, para colaborar com as atividades ali praticadas, sem ofuscar. O Universo não

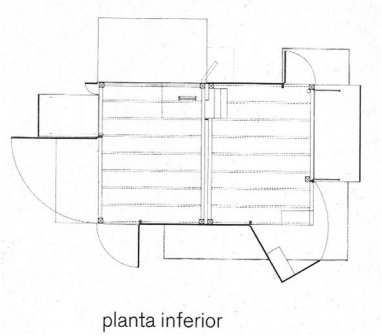


é estático, move-se continuamente. O Sol segue sua rota, move-se o dia todo, o ano todo. Uma casa deve ser capaz de interagir com o meio continuamente, captar aquilo que a "alimenta" e se proteger daquilo que lhe é hostil.

A sustentabilidade na construção, tal como em outras áreas, assenta basicamente numa estratégia que pode ser subdividida em três pontos de intervenção: a reciclagem, a reutilização e a redução. Segundo Mendonça *et al.* (2000), a redução do peso dos materiais de construção e dos sistemas construtivos pode, de fato, ter uma grande influência em construir edifícios mais sustentáveis, se se puderem salvaguardar os aspectos de segurança (estrutural e resistência ao fogo) e muito especialmente os comportamentos térmico e acústico. A partir de certas seções, a madeira tem um comportamento previsível num incêndio. Não revestido, o aço, por exemplo, teme mais ao fogo do que a madeira.

De acordo com Weidermann (1998, p. 10), "um fator primordial para a fabricação de móveis ou a construção de estruturas é o baixo peso da madeira. Para uma umidade de 20%, enquanto uma madeira resinosa tem uma densidade[5] (massa volumétrica) em torno de 600kg/m³, o concreto tem 2500kg/m³ e o aço, 7800kg/m³, ou seja, aquele quatro vezes e este aproximadamente treze vezes mais elevada", o que implica um peso muito superior da edificação e acarreta maiores gastos com transporte e fundações, consequentemente gerando maior impacto ambiental.

Cada vez mais podemos observar projetos e obras de madeira no Brasil, sobretudo na primeira década do século XXI, mas, apesar de bons projetos, as obras ainda são caras e acessíveis a uma parcela pequena da população. É preciso que haja uma reorganização da ordem construtiva, otimizando e racionalizando não apenas o uso da matéria prima, mas a agilidade dos projetos, o que pode ser alcançado através do projeto de peças-sistema, num esquema aberto, que viabilizará a economia de escala, a agilidade dos projetos e a qualidade arquitetônica das obras com madeira, tornando este material renovável acessível e plenamente utilizado no Brasil.



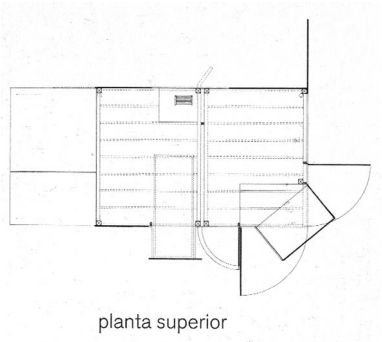




Figura 4.2 - Casa GucklHupf. Áustria, 1993. FONTE: BRAGHIERI (2005).

[5] A densidade de um determinado material é dada pela relação entre a massa de certo volume de um corpo e a do mesmo volume de água.

4.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS – UM PANORAMA INTERNACIONAL

Segundo o Comité Nacional pour Développement du Bois (1997), em países como EUA, Canadá e Suécia, mais de 90% das habitações são construídas em madeira, no Japão, 58%, e na Alemanha, 25%. Ainda, segundo o mesmo Comitê, a construção em madeira se divide em quatro categorias (Figura 4.3):

a) Técnicas de Elementos Unitários – Privilegia a construção *in loco*, a partir de pilares e vigas de dimensões padronizadas. A estrutura de madeira é edificada a partir de uma trama de 30 a 60 cm contraventada por painéis ou por diagonais de madeira. O revestimento externo pode ser executado com vários materiais: madeira, reboco, ladrilho, etc.;

b) Construção por Painéis – Esta forma de construção pode ser do tipo fechado, se a pré-fabricação se restringe à oficina, ou aberto, se revestimentos externos e internos e os outros materiais que compõem as paredes são incorporados em canteiro;

c) Construção Tridimensional – Composta por painéis agrupados em oficina, formando um elemento tridimensional que é transportado inteiro até o canteiro de obras, onde é apenas fixado ao local definitivo;

d) Entramado – Sistema composto por pilares (altura do andar ou toda altura), sobre os quais as vigas se apoiam recebendo diferentes cargas.

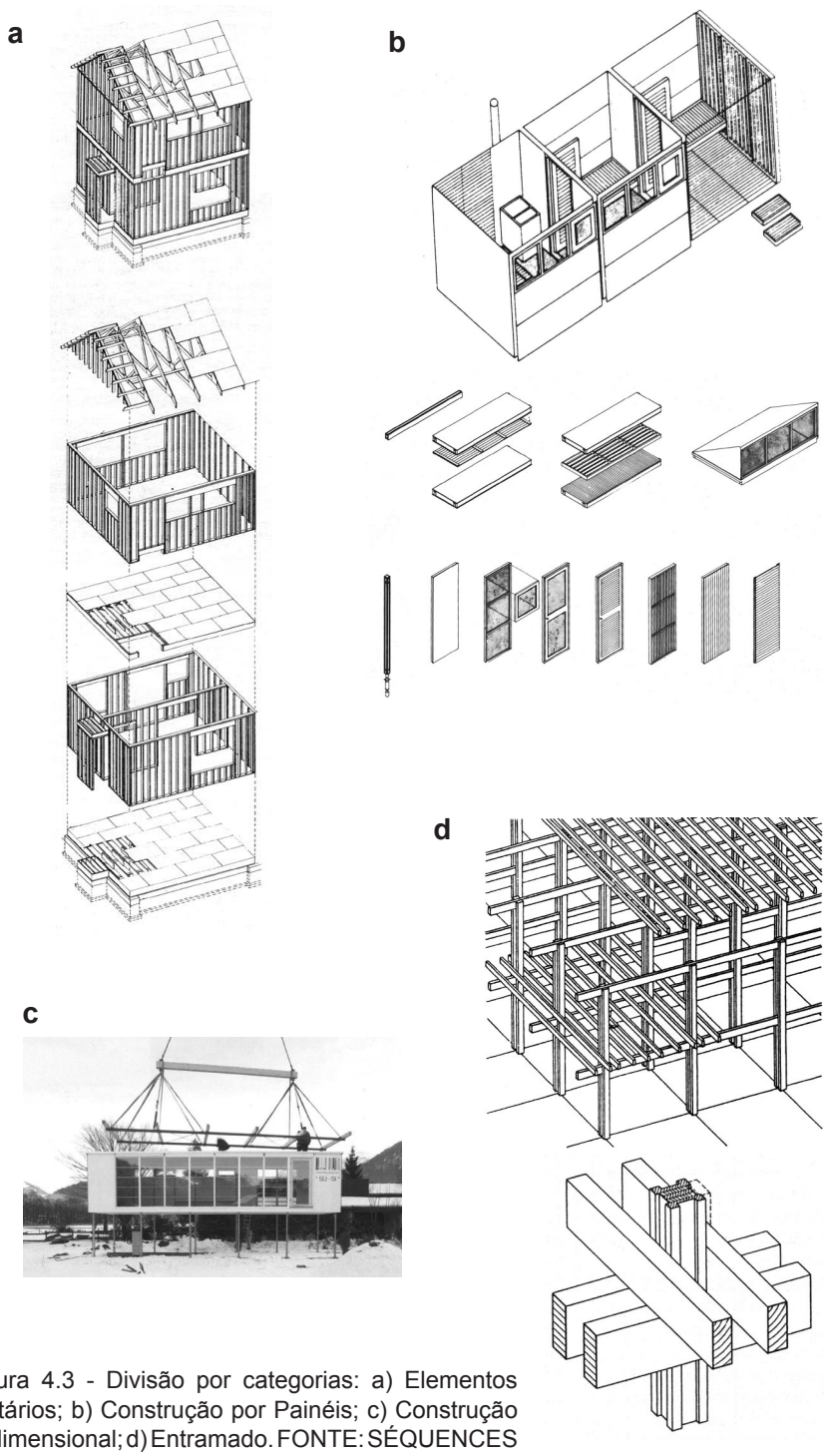


Figura 4.3 - Divisão por categorias: a) Elementos Unitários; b) Construção por Painéis; c) Construção Tridimensional; d) Entramado. FONTE: SÉQUENCES bois (1997).

4.3 ESTRUTURA E VEDAÇÃO

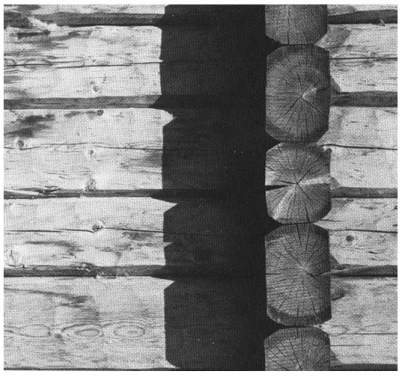
Retomando mais uma vez o princípio básico que caracteriza o pensar a arquitetura de madeira, que é a sua fragmentação em partes, passíveis de serem unidas e articuladas entre si, formando componentes e estruturas, encontramos outra questão importante: a relação entre estrutura e vedação nos projetos e construções de madeira.

Trata-se de uma questão fundamental, ao se escolher um sistema construtivo – seja ele constituído por elementos de madeira ou não –, a definição ou concepção do funcionamento da estrutura e de sua relação – de dependência ou independência – com os elementos de vedação.

> 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 edificação: seus agentes e meios produtivos. Acredita-se que além da formação inadequada e do desconhecimento técnico construtivo em madeira, uma das maiores dificuldades para a concepção encontra-se exatamente na capacidade (habilidade) de desmaterializar o edifício, mas sem deixar de tratá-lo como um sistema, no qual todas as partes interagem (BITTENCOURT, 1995, p. 7).

A estrutura de uma edificação é o conjunto de elementos responsáveis por sua sustentação, ou seja, a sustentação de seu peso próprio e de todas as cargas ocasionais ou permanentes. Ela é composta por elementos (vigas, pilares, etc.) que formam o caminho pelo qual percorrem as forças, desde a cobertura até o solo. Os elementos de vedação, por sua vez, são aqueles que “vedam” os vãos entre um e outro elemento da estrutura, que são compostos essencialmente por paredes e aberturas – sejam paredes cegas externas ou internas, portas e janelas ou a composição contendo todos esses elementos num único conjunto, ou seja, uma edificação.

O legado modernista é fortemente calcado pela ideia de “estrutura independente” ou “estrutura independente da vedação”. Isto se deve ao fato de que o advento do concreto armado, no final do século XIX, possibilitou que se tivesse, pela primeira vez, estruturas independentes, ou seja, as lajes ou coberturas não precisariam mais se apoiar sobre espessas paredes de alvenaria ou pedra. Ao invés disto, passariam a “equilibrar-se sobre” delgados pilares. As paredes estavam, por assim dizer, livres. O entusiasmo é justificável, portanto: as estruturas independentes, hoje muito comuns, na época significavam o domínio de uma nova tecnologia.





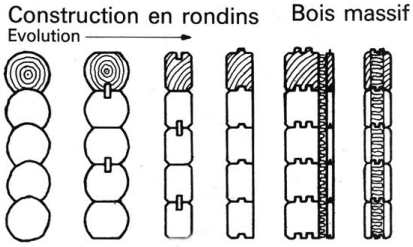


Figura 4.4 - Construções com troncos. Detalhes dos cantos. FONTE: PRACHT (1981, p. 10).

Le Corbusier encontrou, em viagem ao Japão, uma arquitetura leve, com estrutura de madeira em que a vedação era feita com painéis independentes de papel arroz. Seria essa uma das origens do conceito *estrutura independente* ou *planta livre*?

> As maneiras de enxergar a vida e suas facetas apresentam diferenças marcantes, do ocidente para o oriente: enquanto no ocidente a madeira se destina a resolver aspectos de menor relevo nas construções e, o definitivo, o permanente se faz em pedra ou concreto, o Oriente, ciente da transitoriedade das coisas humanas, faz construções integralmente em madeira (IMAGUIRE JR., 1994).

Por contraditório que possa parecer, as construções de madeira e taipa mostraram-se duráveis ao atravessarem os séculos, apesar dos descuidos frequentes. São exemplos de requinte construtivo, racionalidade e expressão arquitetônica. As construções milenares do Japão, China e dos países nórdicos são o resultado de práticas que, através de detalhes e soluções construtivas, desenvolveram princípios que garantiram sua durabilidade.

Os japoneses utilizam a madeira de um modo peculiar, encaixes primorosos garantem beleza e desempenho estrutural incomparáveis que, somados à sistematização e organização do processo modular, são exemplos de arquitetura transformada em poesia, em música orquestrada. E mais: os japoneses perceberam desde há muito tempo a necessidade de um sistema sustentável de vida, o que pode ser observado pelo antigo hábito de se plantar uma árvore, na ocasião do nascimento de um filho, árvore que servirá para construir sua casa no futuro.

Nas casas de madeira em geral – com exceção das casas de tronco (Figura 4.4) – pode-se dissociar estrutura de vedação. No sistema *balloon frame*, sistema plataforma ou

mesmo no caso de painéis estruturais, existe a dissociação entre os montantes que estruturam a edificação e a pele – composta por chapas ou tábuas ou ainda a associação entre ambas –, que recobre e contraventa a edificação.

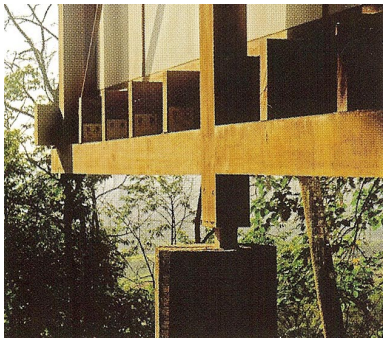


Figura 4.5 - Exemplo de sistema pilar-viga com madeira maciça. FONTE: AFLALO (2005, p. 64-69).

4.3.1 Sistemas dissociados – viga-pilar

Em edificações de madeira, é interessante manter o princípio da estrutura independente, uma vez que ele permite que se altere, a qualquer tempo, a posição das paredes, engendrando novos arranjos espaciais. Mas há uma limitação importante a respeito desse sistema. O fato dos vãos serem vencidos apenas com os pilares e vigas, através de pilares distantes entre si e de a estrutura ter que funcionar, ou seja, ser posta em carga sem o auxílio das vedações, requer que pilares e vigas tenham seções transversais maiores, o que geralmente se torna dispendioso, além de que a oferta de madeiras com grandes bitolas se torna cada vez mais rara (Figura 4.5 / Figura 4.6). Uma solução para isso são as seções compostas, os pilares e vigas laminados colados e outras soluções que utilizem a madeira engenheirada e que tornam os tamanhos das seções de madeira praticamente ilimitados.

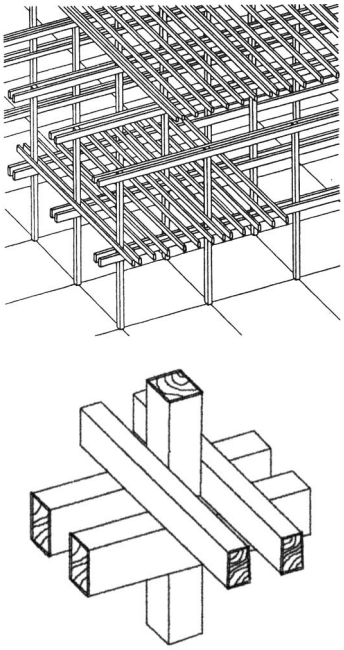


Figura 4.6 Exemplo de vigas apoiadas sobre pilares em uma construção de dois andares. FONTE: GÖTZ (1987, p. 178-180).

4.3.2 Sistemas integrados – *balloon frame* e plataforma (entramados)

O sistema construtivo entramado é muito utilizado na América do Norte. São considerados subdivisões desse sistema o “sistema balão”, ou *balloon frame*, e o sistema plataforma. As partes estruturais são compostas de delgadas peças de madeira serrada e de seção padronizada de 2” x 4” (5 cm x 10 cm) como medida de base. A particularidade dessa construção reside nos pequenos espaços entre os eixos dos montantes das paredes (50 a 60 cm) e dos barrotes (vigas) principais do soalho. A ligação entre pilares e vigas é realizada por meio de pregos. Os montantes recebem um revestimento – geralmente chapas de compensado ou OSB – sobre um ou



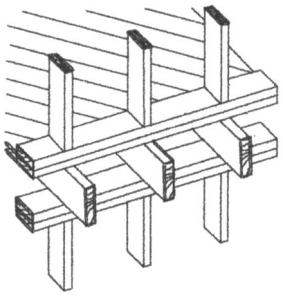


Figura 4.9 - Detalhe dos nós no sistema plataforma. Fonte: GÖTZ (1987, p. 178-180).

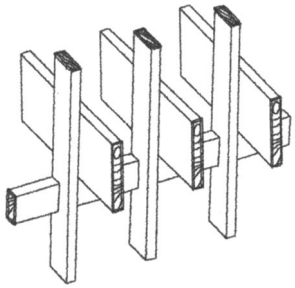
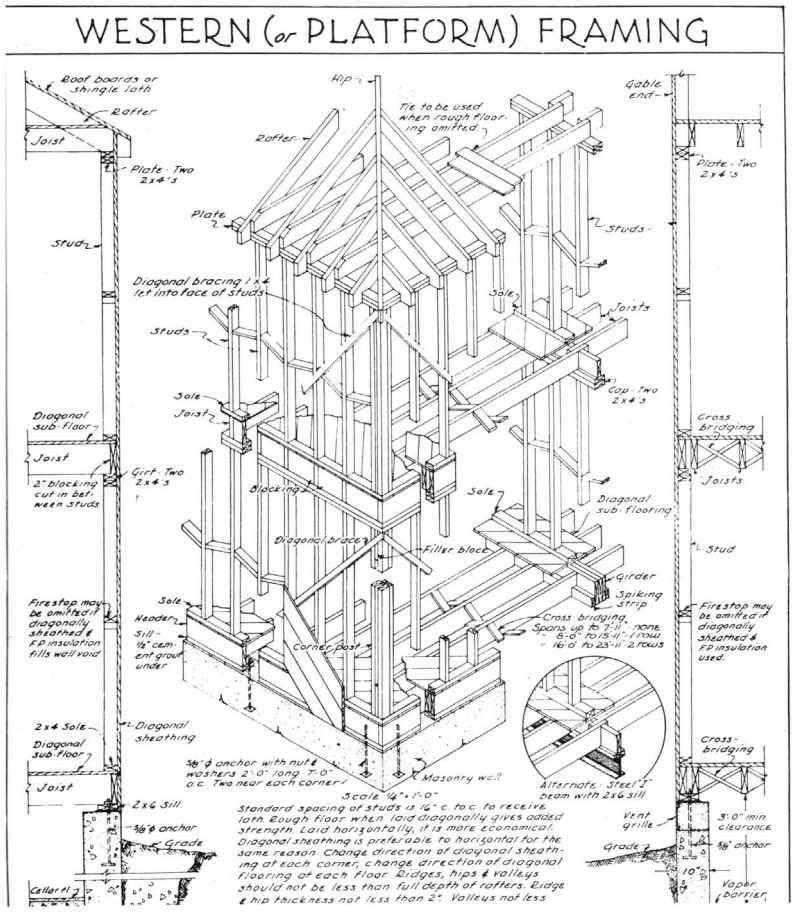


Figura 4.8 - Detalhe dos nós no sistema *balloon frame*. FONTE: GÖTZ (1987, p. 178-180).



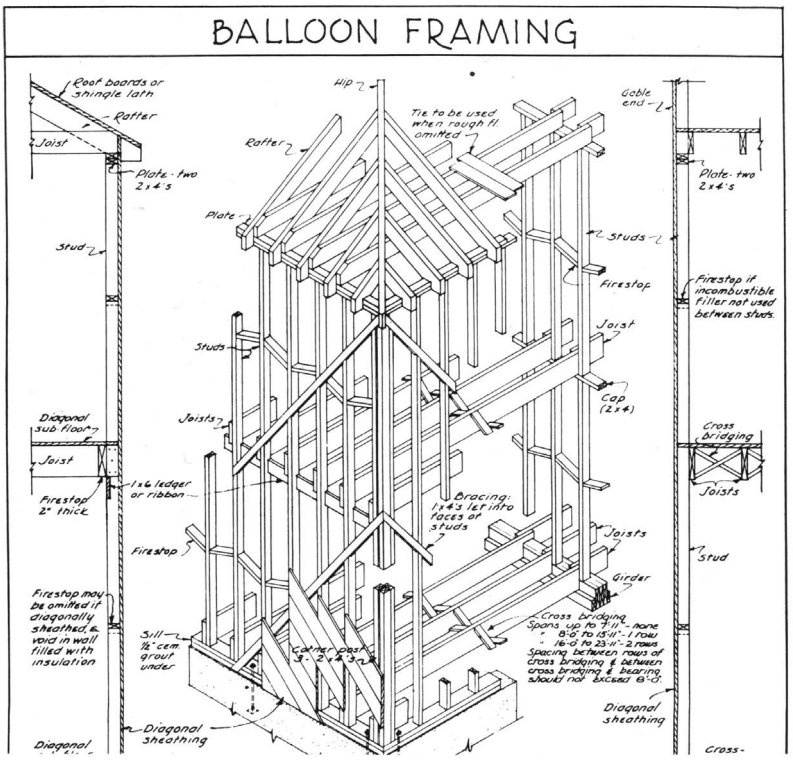
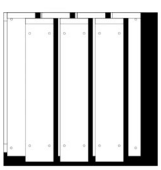


Figura 4.7 - Sistema *Balloon frame* e sistema Plataforma. FONTE: BENDER (1976, p. 89).



dois lados, o que permite, além de apoiar as forças verticais, conseguir ao mesmo tempo uma rigidez suficiente para transmissão das forças horizontais. Portanto, nos entramados (Figura 4.7) a estrutura e a vedação trabalham juntos. As cargas são distribuídas através dos montantes e soleiras, e a "pele" atua no conjunto estrutural resistindo às forças horizontais, ou seja, contraventando todo o conjunto. Esse tipo de construção constitui uma transição entre a construção tradicional de madeira e a construção com painéis (BERRIEL, 2002, p. 32).

No sistema "balão", ou *Balloon Frame* (Figura 4.8), os montantes das paredes são contínuos de um andar para o outro. Consiste basicamente de uma estrutura disposta de maneira a formar um diafragma de parede com altura de dois pavimentos. Para isso, os montantes verticais e batentes das paredes externas e de algumas divisórias internas são contínuos, com pé-direito duplo, desde a fundação até as peças horizontais superiores, que ficam abaixo da estrutura do telhado. Os elementos horizontais, por sua vez, ocupando o lugar das soleiras no sistema plataforma, são entalhados nos montantes, funcionando como cinta horizontal da construção. As vigas secundárias repousam sobre esses elementos e são pregadas lateralmente contra os montantes.

Na construção plataforma (Figura 4.9) utilizam-se elementos contínuos, com comprimentos iguais ao pé-direito de um pavimento apenas. Sobre os montantes apoiam-se soleiras estruturais. Nesta soleira se apoiam as vigas secundárias, sobre cujo revestimento contínuo (réguas do piso) é colocada uma nova soleira ou plataforma. O conjunto estrutural desse sistema é o resultado de uma combinação entre estrutura (fundação, painéis estruturais de parede e piso e estrutura de telhado) e estrutura complementar (vedações horizontais de assoalhos e forros e verticais do fechamento das paredes).

A construção de entramado de madeira pode ser feita em uma ou várias etapas. Essas construções são compostas habitualmente de madeira maciça. As seções e as juntas são calculadas enquanto sistemas estáticos simples. Numa construção de entramado de madeira, o comprimento dos elementos varia entre 2,0 e 6,0 m.

Os dois sistemas permitem a execução de paredes duplas, o que aumenta o conforto térmico e acústico. A principal vantagem inerente a este sistema é a possibilidade de executar a estrutura das construções com seções delgadas de madeira. E a principal desvantagem é o fato da estrutura e vedação estarem juntas, o que torna as construções um pouco menos afeitas às modificações e reformas do que as construções executadas com o sistema pilar-viga.

4.4 TECNOLOGIAS EMPREGADAS EM PAREDES DE VEDAÇÃO NAS CONSTRUÇÕES BRASILEIRAS

Neste subitem serão apresentados três sistemas construtivos empregados no Brasil para construir paredes de madeira, cujo entendimento será importante para o desenvolvimento das peças-sistema propostas no capítulo 5 desta tese. O objetivo não é abarcar todos os sitemas construtivos pré-fabricados ou industrializados, o que já foi realizado em outros trabalhos como o de Batista (2007, p. 148-157). Os sistemas escolhidos serão, de alguma maneira, apropriados pelo projeto e, portanto, têm qualidades e limitações que serão analisadas a seguir.

4.4.1 Sistema de tábuas e mata-juntas

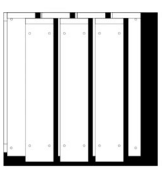
Lúcio Costa (1920-1980), um dos pioneiros a se preocupar com o ***"fazer popular"***, sempre chamou a atenção para a importância de se demonstrar e reconhecer, no conjunto das construções julgadas sem importância, méritos e qualidades que as equiparem às obras consagradas de grandes arquitetos.

Numa das pioneiras análises acerca dos problemas afetos à historiografia da arquitetura brasileira, Lúcio Costa (1975, p.95-98) aconselha que os estudiosos sejam orientados de modo a

> ter primeiro em vista, além das imposições dos meios ***físico e social***, considerados no seu sentido mais amplo, ***o programa***, isto é, quais as finalidades e as necessidades de natureza funcional; em seguida, ***a técnica***, quer dizer, os materiais e o sistema de construção adotados; depois ***o partido***, ou seja, de que maneira, com a utilização dessa técnica, foram traduzidas em termos de arquitetura, as determinações daquele programa; finalmente a ***comodulação*** e a ***modenatura***, entendendo-se por isto as qualidades plásticas do monumento.

Propõe-se aqui um *passeio* pelas casas de "tábua e mata-junta". Resgatando assim alguns fragmentos desta produção do "fazer popular".

Nas casas de tábuas e mata-juntas do Paraná, o conjunto estrutural (Figura 4.10) é a parte portante, formada pelos quadros inferior e superior, interligados através dos esteios (ou pilares) à estrutura do telhado e às estruturas complementares, tais como vedações horizontais (assoalhos e forros) e verticais (tábua e mata-junta).



A - Parte portante
quadro inferior;
quadro superior;
esteios.

A parte portante é formada por um esquema estrutural horizontal/vertical, composto pelo quadro inferior e superior interligados pelos esteios.

O quadro inferior, ou quadro “de baixo”, é formado por um sistema bidirecional, composto por vigas prismáticas e constantes, sendo que as vigas mestras do centro e das extremidades recebem perpendicularmente as vigas do assoalho, chamadas barrotes. As vigas mestras dos centros e das extremidades se encarregam então de transferir estes esforços para os pilaretes de alvenaria ou uniformemente para os baldrames de alvenaria. É a partir do quadro inferior que se monta o superior e a estrutura do telhado.

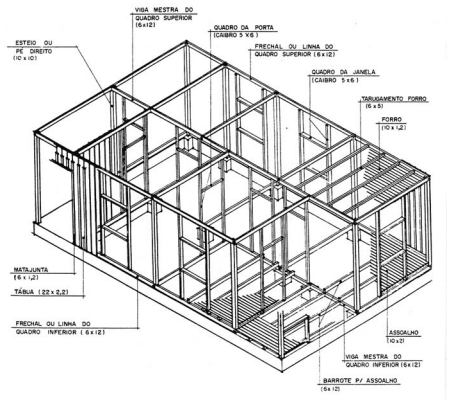
O quadro superior, ou quadro “de cima”, apresenta a mesma configuração formal do quadro inferior. Nele as vigas mestras recebem as cargas da cobertura, e se encarregam de transferir estes esforços para os esteios, também chamados de pé-direito, ou uniformemente pelas paredes de tábua e mata-junta.

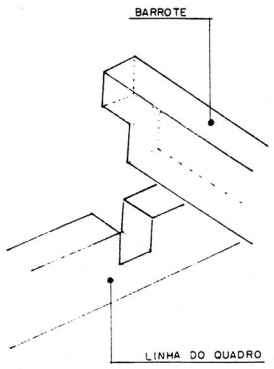
Os esteios (pilares) são peças de seção quadrada, geralmente 10x10 cm, que são encaixados no quadro inferior e apoiados nos pilaretes de alvenaria ou toco de tora de madeira, e recebem o quadro superior, que se encaixa sobre os mesmos (Figura 4.11).

B - Estrutura da cobertura, tesoura e seus componentes (Figura 4.12).

Os telhados surgem com as mais diversas soluções volumétricas, que se originam a partir do quadro inferior da casa. Entretanto, apesar da diversidade de soluções formais, Zani (1989) observa que eles obedecem a uma única regra construtiva, ou seja, adotam a mesma solução estrutural e o mesmo processo de montagem.

A solução estrutural adotada pelos carpinteiros é





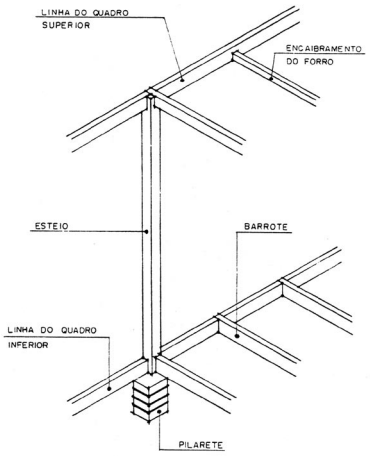


Figura 4.10 - Conjunto estrutural da casa de madeira do Paraná. FONTE: ZANI (1989, p. 217 e 219).

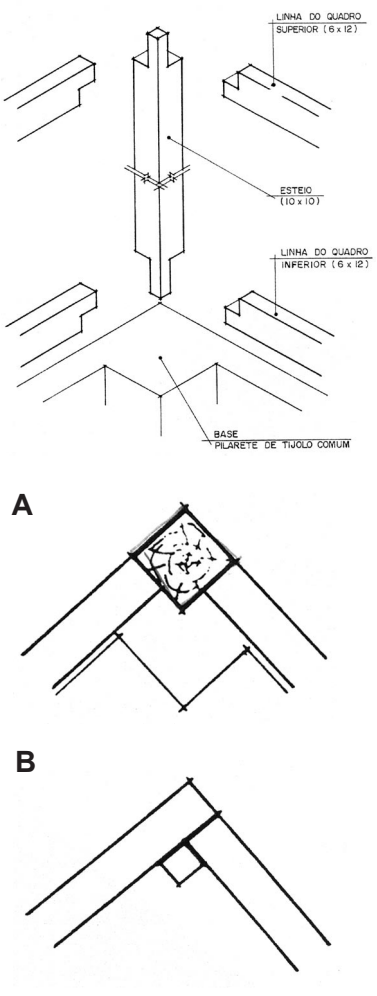


Figura 4.11 - Ligações do esteio com os quadros inferior e superior. A- planta quadro inferior; e B- planta quadro superior. FONTE: ZANI (,1989, p. 217 e 219.).

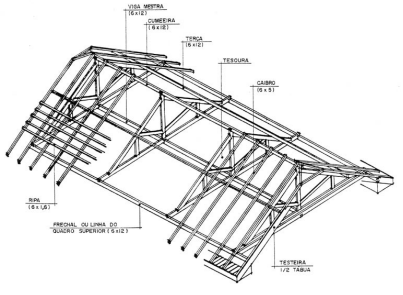


Figura 4.12 - Conjunto estrutural da cobertura. Fonte: ZANI (1989, p. 217 e 219).

constituída por tesouras e sobre estas a trama de terças, caibros e ripas, onde finalmente se apoiam as telhas, geralmente de barro.

C - Estruturas Complementares

vedações verticais – tábua e mata-junta;
vedações horizontais – assoalhos e forros;
tramas e sambladuras.

O sistema tábua e mata-junta foi o mais utilizado em toda a região, tanto do norte do Paraná, incluindo Londrina, onde a madeira foi largamente utilizada entre as décadas de 1940 e 1950, enquanto em Curitiba, principalmente durante as décadas de 1910 e 1930.

Composto por tábuas de 22 x 2,2 cm pregadas na vertical (Figura 4.13) nos quadros inferior e superior, tendo juntas entre elas de 1 cm, que posteriormente são cobertas do lado interno e externo com réguas de 6 x 1,2 cm chamadas de mata-junta.

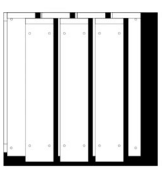
As emendas ou encaixes das vigas de madeira são feitas através de sambladuras de diversos tipos, conforme a origem de cada carpinteiro.

4.4.1.1 Técnica Construtiva da Casa de Madeira

Segundo Zani (1989), “para caracterizar a técnica construtiva da casa de madeira, ou seja, “o saber fazer”, faz-se necessário conhecer o material, os procedimentos e as ferramentas e utensílios utilizados pelos carpinteiros que as construíram”.

A - Componentes materiais

A casa de madeira maciça de tabuado vertical possui um número de componentes de peças que por serem repetidas e cortadas sempre com as mesmas dimensões podem ser sistematizadas. A madeira utilizada nas casas construídas em Curitiba foi basicamente o pinheiro do Paraná ou *araucária angustifolia*, em Londrina e região foi



utilizada a peroba rosa, *aspidosperma poluneuron*, ambas árvores encontradas nas regiões respectivamente e utilizadas até a exaustão, ou seja, até que as reservas se exaurissem com as políticas extrativistas e a casa de madeira se tornasse quase tão cara quanto a de alvenaria.

Como elementos de fixação eram utilizados pregos. As telhas são de argila tipo francesa, as portas e janelas apresentavam medidas padrão, mas soluções variadas e rico acabamento, e as instalações elétricas e hidráulicas aparente.

Segundo Imaguire (1993, p. 47 e 62), toda a estrutura da casa de araucária, na região de Curitiba, era feita com peças de seção 10 x 10 cm. O quadro inferior, os esteios e as vigas do quadro superior tinham as mesmas medidas, e a madeira utilizada era o pinho, dito “de primeira”, sem nós ou rachaduras. Para as tesouras eram utilizadas madeiras com seção 5 x 10 cm, as tábuas de vedação tinham 2,5 x 30 cm, as ripas do telhado, 2,5 x 5,0 cm, e as mata-juntas, 1,2 x 5,0 cm.

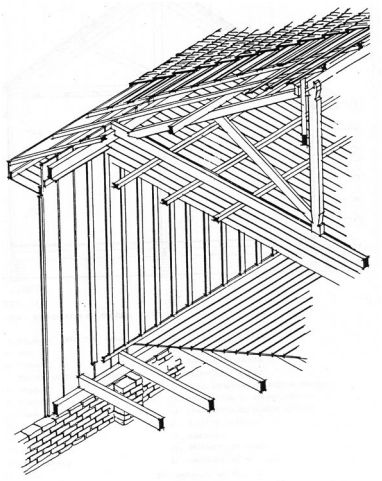


Figura 4.13 - Estruturas complementares, vedações verticais e horizontais. FONTE: ZANI (1989, p. 217 e 219).

Zani (1989, p. 259) descreve, para as casas de madeira de Londrina, a utilização de um número mais variado de seções de madeira. A diferença fundamental está entre as peças do conjunto estrutural, em que nos quadros inferior e superior eram utilizadas vigas com 6 x 12 cm ou 6 x 16 cm e os esteios tinham 10 x 10 cm ou 12 x 12 cm.

Sobre a utilização deste sistema construtivo em projetos contemporâneos são muitas as possibilidades. Trata-se – as tábuas e mata-juntas – de um esquema flexível que permite evoluções e releituras (Figura 4.14). Atualmente, com a disponibilidade de madeiras de seção mais reduzida, ficaria difícil e oneroso extrair tábuas de 30 cm de largura, bem como comprimentos iguais ou superiores a 250 cm. Por isso, torna-se necessário projetar elementos constituídos por peças menores de madeira. As tábuas podem ter 20, 10 e até 8 cm de largura, mas, dependendo da espécie utilizada, não poderão ter comprimentos superiores a 100 cm, sob o risco de empenarem, encanoarem ou racharem. Os montantes, por

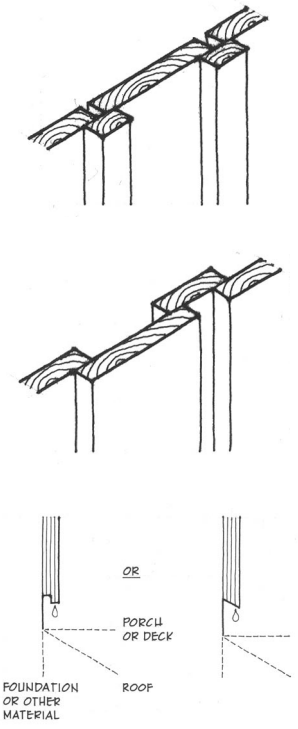


Figura 4.14 - Exemplos de tábuas e mata-juntas e detalhes. Residência Schaitza, Curitiba, 2005. FONTE: Projeto e fotografias da Autora.





sua vez, deverão ter seção reduzida, não mais os 10 x 10 cm, nem os 12 x 12 cm, mas peças de 3 x 10 ou 4 x 10 cm. O interessante seria utilizar as tábuas e mata-juntas por toda sua expressão arquitetônica e funcionalidade técnica com relação às águas das chuvas e, ao mesmo tempo, resolver as questões de isolamento térmico.

4.4.2 Sistema Plataforma

O Sistema plataforma, já descrito no subitem 2.3.4 (Figura 4.15), é um sistema leve,

> seu sistema estrutural está baseado na ação conjunta da trama de peças de madeira de pequenas dimensões (normalmente da espécie pinus) com as chapas de fechamento (ex: OSB, compensado de madeira, etc), que são unidas por meio de uma série de pregos com espaçamentos de aproximadamente 15 cm nas arestas periféricas das chapas e 30 cm na sua fixação aos montantes internos da ossatura (VELLOSO *et al.* 2008).

O sistema plataforma é um dos sistemas de madeira mais difundido no mundo

todo. Os elementos e/ou componentes já chegam prontos ao canteiro de obras (Figura 4.16). A vantagem deste sistema é a rapidez da execução no canteiro de obras e rigor construtivo – pois a pré-fabricação diminui a variabilidade dimensional das peças que compõem a edificação. O preenchimento das estruturas de ossatura de madeira com os elementos de preenchimento parcial ou totalmente pré-fabricados exige um sistema modular que influencia a concepção da edificação.

Segundo Batista (2007, p. 168), "o sistema plataforma é o que oferece maior possibilidade criativa e de projeto [...]. Este sistema é aberto, como a casa de araucária, sua modulação é linear" (baseado no tamanho da placa de OSB ou chapa compensada) mas esta tecnologia é ainda desconhecida e pouco explorada pelos projetistas e arquitetos brasileiros. Sobre isso, afirma Bittencourt (1985, p. 8) que

> nos Estados Unidos são encontrados os melhores exemplos de como esta técnica construtiva é flexível, ou seja, nela quase tudo é permissível. Da Disneylândia às mansões californianas, é preciso um conhecimento apurado para distinguir atrás das construções os sistemas construtivos em madeira.



Figura 4.15 - Projeto Stella-UFSC – BRASIL. Etapas de montagem de Sistema Construtivo Plataforma. Florianópolis: UFSC, 2006. FONTE: BATISTA (2006, p. 156).

Sobre o sistema plataforma, a maior vantagem é o fato de utilizar peças de madeira de seção reduzida, geralmente 4 x 9 cm. Dependendo da madeira disponível, o maior empecilho é quanto à utilização de peças longas, com comprimentos iguais à altura do pé-direito. Uma solução para este problema seria criar uma linha de vigas intermediária, por exemplo, à meia altura nas paredes, o que reduziria os comprimentos das peças pela metade. Um problema deste sistema é um certo engessamento da posição das paredes, uma vez que estrutura e vedação trabalham juntas, e os montantes não são alterados de posição tão facilmente. Uma alternativa para este problema seria o desenvolvimento de peças-sistema que utilizassem o princípio estrutural do sistema plataforma, mas segmentado em partes ou componentes.

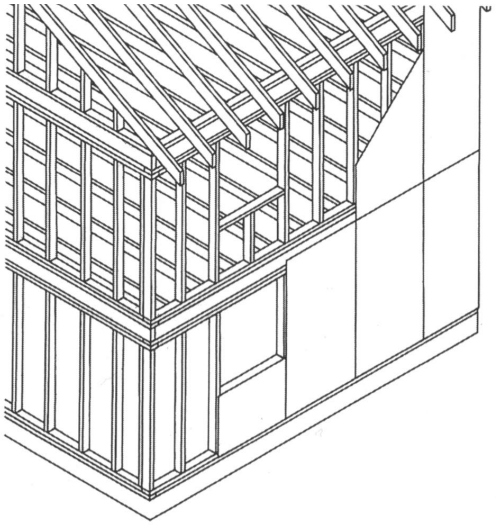


Figura 4.16 - Estrutura de madeira maciça e pele de chapas de madeira engenheirada. Fonte: **Revista Tectônica 13:** monografias de arquitetura, tecnologia y construcción. Madera (II). Jul. 2001, p. 16.

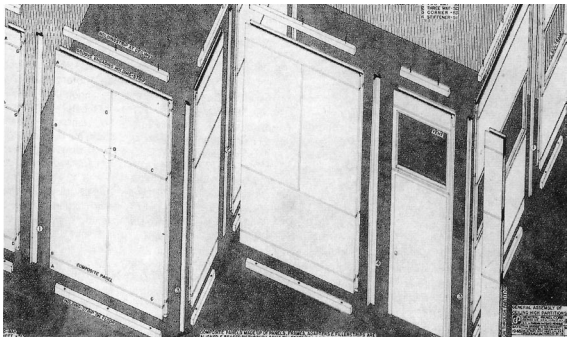


Figura 4.17 - Nos anos 1940, Konrad Washmann e Walter Gropius desenvolveram um sistema modular baseado em componentes painelizados e padronizados, que funcionavam como teto, piso ou parede. FONTE: **Revista Tectônica 13:** monografias de arquitetura, tecnologia y construcción. Madera (II). Jul. 2001, p. 29).

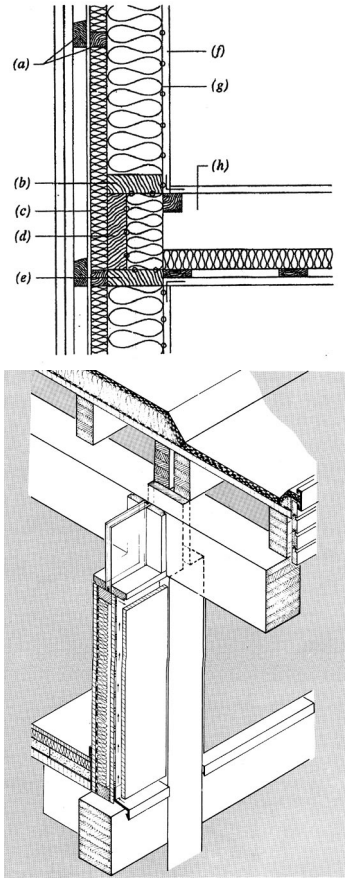


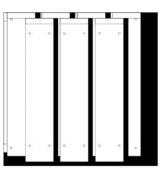
Figura 4.18 - Exemplo de painel do tipo *Sandwich Panels* a) sarrafo horizontal; b) travessa; c) lâmina de ar; d) viga; e) travessa; f) revestimento interno; g) barreira de vapor; h) viga de piso. FONTE: PRACHT (1981).

4.4.3 Painéis

Segundo Höor (1985), o sistema de construção com painéis começou a ser desenvolvido em 1931, na Alemanha, por Walter Gropius. O sistema desenvolvido por Gropius era baseado em uma trama regular (Figura 4.17). Os painéis-parede eram compostos por uma estrutura de madeira revestida internamente por chapa de alumínio e chapa de cimento amianto e, externamente, por chapa de cobre nervurado. Posteriormente, entre 1943 e 1945, os painéis foram desenvolvidos nos Estados Unidos pela *General Panel Corporation*, que passou a os produzir industrialmente. O sistema de pré-fabricação, criado para a *General Panel Corporation* pelos arquitetos alemães Walter Gropius e Konrad Wachsmann, articulava painéis de madeira dentro de uma malha de 3 pés e 4 polegadas, conectados por uma junta universal.

Nos EUA, a maioria das construções de madeira utiliza painéis compostos por ossatura de madeira, uma chapa de acabamento interno de gesso-cartonado[5], um enchimento para isolamento termoacústico, uma chapa intermediária de compensado ou de fibra e um acabamento externo em tábuas de madeira, lambris ou mesmo alvenaria, usualmente chamados de *Sandwich Panels* (Figura 4.18).

Um exemplo de sistema construtivo com painéis é o *Moduli* (Figura 4.19), um sistema construtivo experimental, desenvolvido na Finlândia entre 1968 e 1973, por Kristian Gullichsen em colaboração com Juhami Pallasmaa. De acordo com Galfeti (1995, p. 30), *Moduli* foi concebido numa época em que muitos arquitetos respeitáveis foram atraídos pelos modelos *"self-build"* de casas, montadas com elementos *standard*, fabricados em série e distribuídos numa escala internacional. As origens desse sonho remetiam a uma confiança um tanto ingênua na tecnologia e a uma linguagem arquitetônica universal, capazes de resolver os problemas sociais e estéticos. *Moduli* tinha o propósito de ser uma fase inicial de experimentação, visando solucionar alguns desses problemas. Seis casas foram produzidas e construídas entre 1969 e 1971.



Tratava-se de um sistema de construção pré-fabricado para casas de um andar com teto plano. Compunha-se de vigas, pilares e painéis (Figura 4.20). A trama em planta e em elevação se baseava em um quadrado livre de 2,25 m de lado. As dimensões dos painéis utilizados para os pisos, tetos, lanternins, paredes, janelas e portas, eram de 0,75 x 2,25 m. A montagem dos cubos podia, a partir desse catálogo restrito, ser feita à vontade (Figura 4.21), permitindo assim criar espaços externos para se sentar, pérgolas ou passagens cobertas (Figura 4.22).

Segundo Götz *et al.* (1987, p. 212), a ossatura portante se compunha de pilares de 0,092 x 0,092 m e de vigas principais de 0,092 x 0,155 m. A trama para os pilares era de 2,35 x 2,35 m. As vigas principais eram dispostas segundo duas direções perpendiculares. A montagem de vigas principais com os pilares era assegurada por perfis de alumínio. Os apoios foram constituídos por tubos de alumínio que permitiam uma regulagem em terrenos planos e acidentados. Os elementos de cobertura, as paredes e os soalhos eram fixos entre as vigas principais de tal maneira que elas se encarregavam de suportar as cargas horizontais, cumprindo assim o papel de contraventamento.

O sistema foi desenvolvido tanto para climas rudes com neve quanto para climas mais amenos. O teto é um teto quente recoberto com um impermeabilizante. A água da chuva é evacuada por meio de canaletas. Todas as juntas horizontais e verticais são tornadas estanques por elementos de borracha perfilados. Os diferentes componentes pesavam 50 kg no máximo e eram muito fáceis de manipular devido a suas pequenas dimensões. Sua composição poderia ser executada pelo próprio proprietário. As ligações (Figura 4.23) entre elementos estruturais verticais e horizontais aconteciam através de perfis de alumínio, enviesados, na viga e no pilar; uma trava-mola engastrada no entalhe, um tubo com placa de extremidade enviesada, plaqueta de ajuste com orifício ovalado e parafuso da estrutura de madeira com diâmetro de 20 mm faziam parte do conjunto complexo que garantia

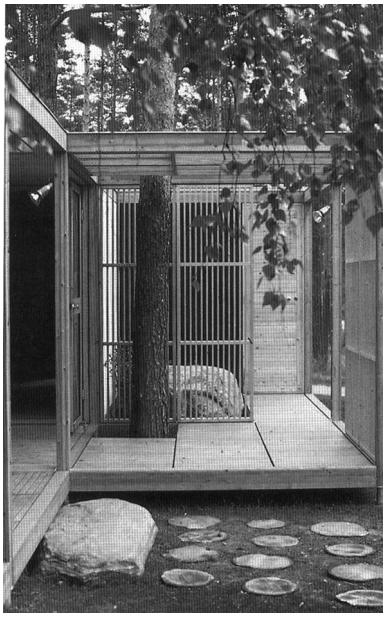


Figura 4.19 - Vista de uma casa construída com o sistema *Moduli* no final da década de 1960. FONTE: GALFETI (1995, p. 31).

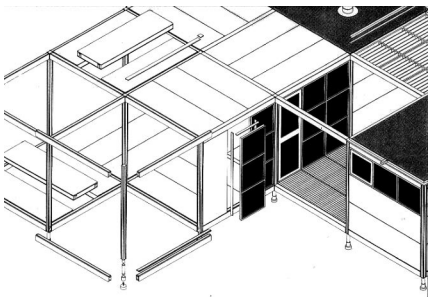


Figura 4.20 - Perspectiva de todo o sistema. FONTE: GALFETI (1995, p. 33).

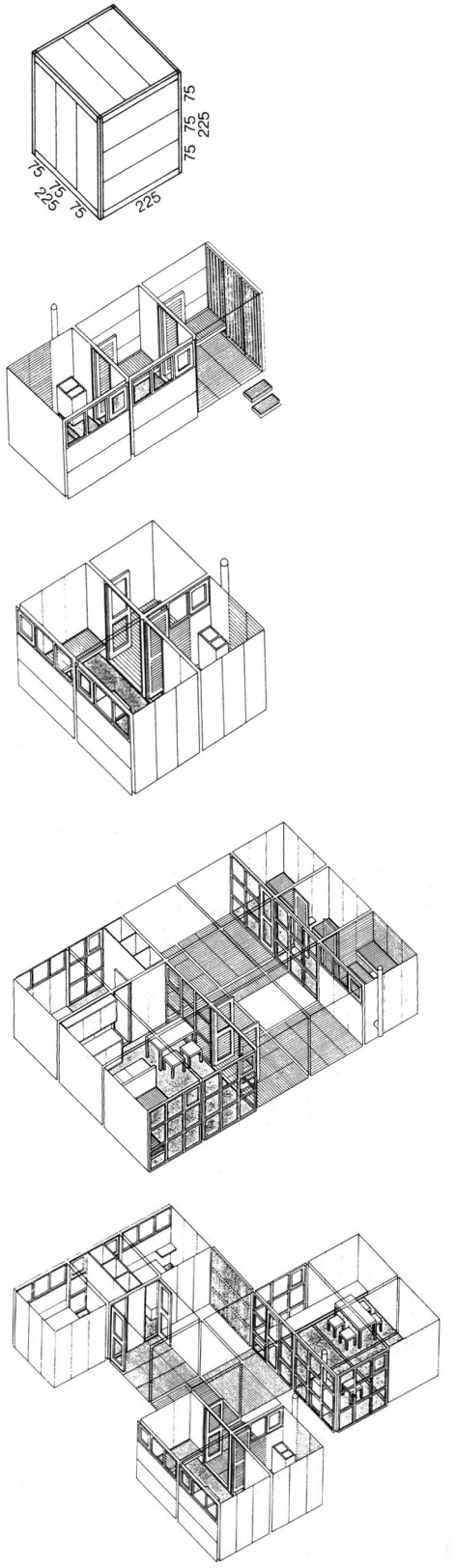


Figura 4.21 - Exemplos de alguns arranjos possíveis utilizando o sistema *moduli*. FONTE: GALFETI (1995, p. 32-33).

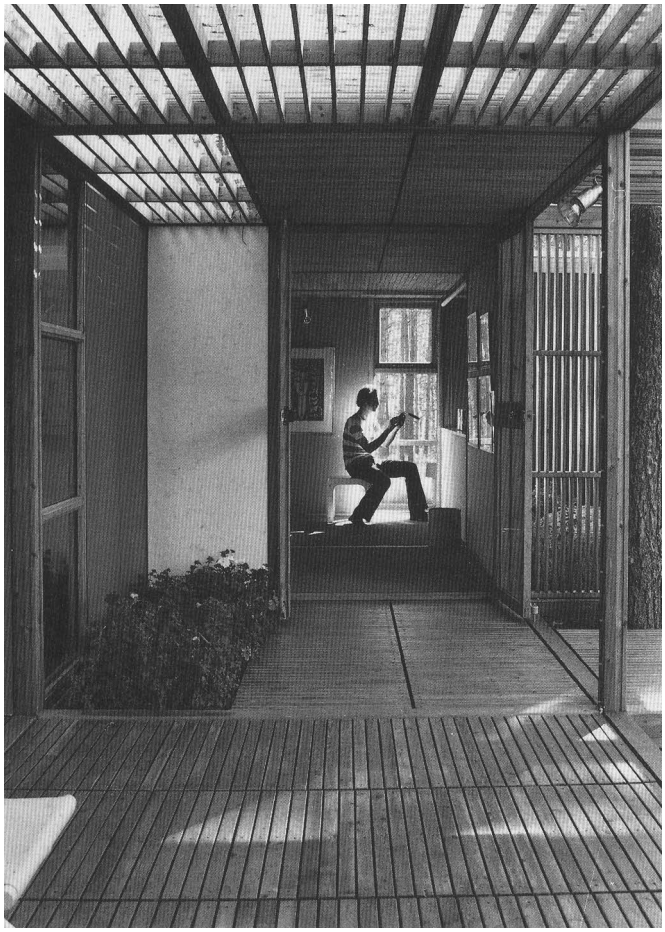


Figura 4.22 - Obra construída, espacialidade alcançada com o sistema *moduli*. FONTE: GALFETI (1995, p. 34).

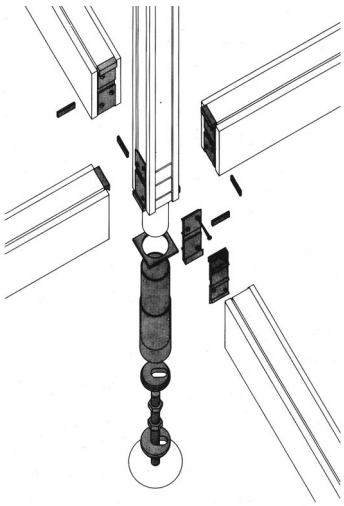


Figura 4.23 - Perspectiva do princípio de construção de um nó, com os meios de montagem. FONTE: GALFETI (1995, p. 33).

a estabilidade dos nós. Os componentes de montagem são os seguintes (Figura 4.24): 1. conjunto de elementos para cobertura (planos horizontais): painéis para teto, painéis para soalho, proteção contro o sol, lanternim do teto; 2. conjunto de elementos para paredes (elementos e planos verticais): pilar, painel para parede externa, painel janela, porta com veneziana, elemento de revestimento de parede; e 3. conjunto de acessórios, mobiliário modular.

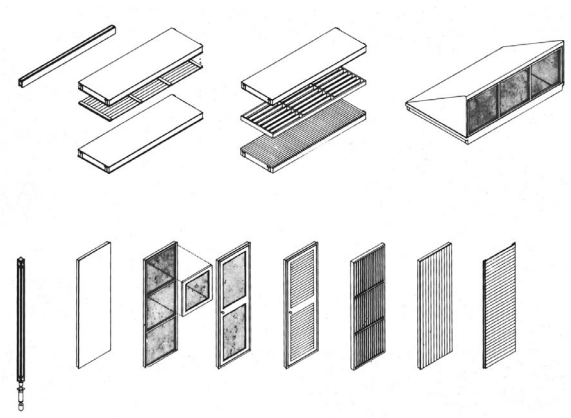


Figura 4.24 - Elementos horizontais, elementos verticais e equipamentos.
FONTE: GALFETI (1995, p. 32).

O projeto parecia muito promissor do ponto de vista técnico e arquitetônico, mas a produção em escala internacional mostrou-se inviável e o projeto foi abandonado. Os principais motivos devem-se à complexidade e sofisticação do sistema e ao fato de que se tratava de um sistema fechado, sem possibilidade de incorporação ou diálogo com outros materiais. O ideal é pensar em painéis e componentes de madeira que sejam flexíveis como os tijolos de barro, por exemplo, mas montados a seco, sempre dentro de um esquema aberto de pré-fabricação.

No Brasil, as vedações de madeira não são utilizadas de forma adequada, gerando uma ideia equivocada de que a madeira não oferece condições mínimas de conforto e, dessa maneira, afastando a população dos sistemas construtivos que utilizam a madeira. Utilizada, sobretudo, pela população de baixa renda em diferentes localidades do país, o sistema normalmente constituído por uma camada simples de lambril ou tábuas não portantes. Esse tipo de vedação não atende aos requisitos de estanqueidade e conforto higrotérmico (BITTENCOURT, 1998).

Os painéis ou componentes de madeira apresentam-se, portanto, como alternativa promissora por possibilitarem, através de camadas de materiais, intercaladas com camadas de ar, barreiras de vapor e demais barreiras isolantes, corresponder às necessidades de conforto térmico e conforto acústico dos usuários. Além disso, se tiverem dimensões e desenho adequados às características das madeiras, terão desempenho estrutural eficiente. E, por serem passíveis de serem pré-fabricados, chegando prontos à obra apenas para operações de montagem a seco, por serem mais leves e fáceis de transportar do que componentes de outros materiais, são a principal alternativa para a proposta tecnológica desta tese.

4.5 SISTEMAS DESENVOLVIDOS PELAS UNIVERSIDADES

Aqui não se pretende abarcar toda a produção acadêmica nacional sobre construções de madeira, mas, através da análise crítica de três exemplos com preocupações análogas às desta pesquisa, encontrar um denominador comum.

4.5.1 Projeto Stella – UFSC – Florianópolis – Santa Catarina – BRASIL

Financiamento: Finep, CNPq e Battistella Indústria e Comércio.
Fonte: GIEM/UFSC, 2003.
GHab/Arq – Grupo de Estudos da Habitação.
LabSisCo/Arq – Laboratório de Sistemas Construtivos.
GIEM/ECV – Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira.
LEE/ECV – Laboratório de Experimentos em Estruturas.

O protótipo construído através de adaptação do Sistema Plataforma para a forma de painéis, na UFSC de Florianópolis, representa um esforço em conferir maior flexibilidade ao sistema, que, como já foi visto, possui estrutura e vedação associadas. O projeto desenvolveu e avaliou o Sistema Construtivo em Madeira de Reflorestamento voltado para Programas de Habitação Social (Figura 4.25). Os objetivos do projeto eram: analisar e rever componentes e etapas construtivas com vistas à redução de custo sem perda da qualidade e verificar o desempenho térmico e acústico.



Figura 4.25 - Casa Glen, Florianópolis, UFSC, 2008. FONTE: Fotos da Autora.

O embasamento foi feito de concreto armado, onde foram deixadas esperas para a fixação da soleira e dos painéis. A ossatura dos painéis foi construída com montantes de madeira de baixa densidade, o pinus autoclavado, com seção transversal de 9 x 4 cm, distantes entre si de 40 a 60 cm. Na face interna da ossatura dos painéis foram fixados painéis de OSB de 240 x 120 cm, para conferir rigidez ao quadro que tem as mesmas dimensões dos painéis OSB. Assim, o pé-direito é determinado também pela altura dos painéis, ou seja, 240 cm. Na parte externa dos painéis foi colocada uma manta de proteção e, sobre esta, foram pregadas nos montantes verticais tábuas horizontais, com encaixe macho e fêmea. Vigas "I" confeccionadas com alma de OSB e flanges de pinus apoiam-se sobre as paredes do primeiro pavimento e sobre estas é fixado o piso. Sobre o piso apoia-se uma nova soleira e sobre esta novos painéis foram fixados formando as paredes do segundo pavimento.





Adaptando o sistema plataforma para painéis, pode-se alterar paredes e abrir vãos nas paredes existentes com maior facilidade, contanto que sejam respeitadas as medidas dos painéis para estas transformações. Os problemas deste sistema são: certa rigidez com relação ao pé-direito e a grelha de projeto que fica engessada às medidas dos painéis.

4.5.2 Projeto Gehab – USP – São Carlos – São Paulo – BRASIL

Unidade Experimental 001 e 002 – São Carlos – S.P. - 1998

Tendo como objetivo desenvolver o conhecimento em madeira de reflorestamento e em terra crua para habitação de interesse social, simultaneamente ao desenvolvimento e produção de componentes e sistemas construtivos, constituiu-se o Ghab – Grupo de Pesquisa em Habitação, composto por professores, estudantes de graduação e pós-graduação da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP e da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

O Ghab realizou uma série de pesquisas que resultaram na construção de uma edificação-protótipo, na década de 1990, no Campus da UFSCar, para experimentar as alternativas de componentes em eucalipto roliço e serrado, com o seguinte sistema construtivo: estrutura modular em eucalipto roliço (INO, 1992); fechamento em toras sobrepostas de eucalipto e em painéis-sanduíche com ossatura de eucalipto serrado, revestidos por chapas de compensado e lambris de pinus tratado; assoalhos, forros, batentes, portas e janelas em eucalipto serrado (DELLA NOCE, 1996).

Os resultados dessa construção experimental indicaram as lacunas de conhecimento nas várias etapas de desenvolvimento da pesquisa. Um dos resultados obtidos se refere ao custo significativo da vedação dentro da composição de custo do protótipo, e às dificuldades encontradas na pré-fabricação e montagem dos painéis de vedação, em razão da utilização de madeira de eucalipto (alta densidade, peso), e, ainda, do surgimento de frestas nas interfaces dos painéis com os demais subsistemas construtivos (DELLA NOCE, 1997).







Figuras 4.26 - Unidade Experimental 001 e 002, São Carlos, USP-SC, 2001. FONTE: Fotos da Autora.

Dando continuidade às pesquisas e para examinar outras alternativas construtivas, foi proposto o projeto intitulado: “Habitação Social: Concepção Arquitetônica e Produção de Componentes de Madeira de Reflorestamento e em Terra Crua”, que resultou na construção de duas edificações denominadas Unidade Experimental 001 e Unidade Experimental 002 (Figuras 4.26). As unidades foram construídas no Campus da USP de São Carlos, próximo ao Laboratório de madeiras (Lamen), e são compostas por sistema estrutural modular com peças curtas de eucalipto serrado e sistema de vedação de madeira: em painéis pré-fabricados compostos por ossatura de pinus, tábua e mata-junta ou “deck horizontal”, lambris de pinus; ou painéis pré-fabricados compostos por ossatura de pinus, tábua e mata-junta, terra palha e vedação das áreas úmidas em painéis parcialmente pré-fabricados, também com ossatura de

pinus e taipa de mão para preenchimento; assoalhos e forros em pinus tratado e janelas em eucalipto serrado (NAVARRO, 1999).

Os módulos estruturais têm 3 m de largura por 2,40 m de altura, e os painéis, por sua vez, têm 0,997 m de largura por 2,397 m de altura, respeitadas as tolerâncias dimensionais.

Tanto a Unidade Experimental 001 quanto a 002 foram concebidas tendo como determinantes de projeto as mudanças ocorridas com a constituição dos agregados familiares. A Unidade 001 é constituída por três pavimentos: no térreo localiza-se a cozinha, linear, que pode ser fechada como um armário ou totalmente aberta e integrada ao espaço. No pavimento superior estão os banheiros, localizados diretamente acima da cozinha e um quarto. No terceiro pavimento há outro quarto. Todo o espaço articula-se através de um vazio central, de pé-direito triplo.

A Unidade 002 (Figura 4.27) configura-se espacialmente pela existência de três espaços diferenciados: dois blocos servidos (bloco norte e bloco sul), que abrigam as funções de estar e dormir, intercalados pelo bloco central que, como na Unidade 001, integra todos os espaços, por ser onde acontece a circulação vertical e por ter pé-direito duplo; e o bloco de serviços que abriga a cozinha no primeiro pavimento e as cabines sanitárias no segundo pavimento (NAVARRO, 1999).

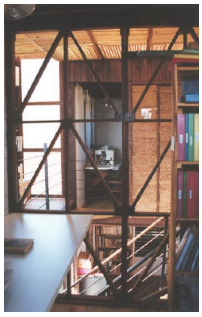
Desde 2001 as duas unidades experimentais estão sendo utilizadas e continuamente estudadas. Seu conforto térmico, acústico e os problemas relativos ao desenho *versus* durabilidade e às interfaces entre os diversos materiais utilizados estão sofrendo constantes ajustes e análises, o que pode contribuir intensamente para quaisquer pesquisas nessas áreas do conhecimento.

Esse estudo, diferentemente do estudo com painéis realizado na UFSC, utiliza painéis associados ao sistema pilar-viga. As vantagens deste sistema em relação àquele é maior flexibilidade, uma vez que a estrutura é independente da vedação. As desvantagens são pilares e vigas de seções









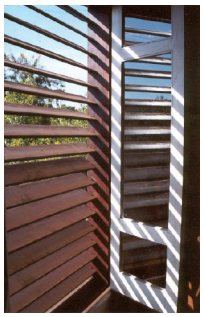


Figura 4.27 - Fotos da Unidade Experimental 002: A-) acesso; B-) escada; C-) banheiro; D-) mesanino; E-) janela com brises reguláveis. FONTE: Arquivo pessoal da Autora (2001).

maiores, painéis grandes e difíceis de serem carregados. Outra desvantagem é o grande número de peças longas, impossibilitando um bom aproveitamente de algumas espécies de madeira e, como no caso anterior, os painéis determinam a altura do pé-direito e a grelha de projeto.

4.5.3 Projeto UFRGS – PUCPR – EMBRAPA Colombo – Curitiba – Paraná – BRASIL

O projeto deste sistema (Figura 4.28) foi desenvolvido entre 2000 e 2002, durante a dissertação de mestrado da autora deste trabalho. O objetivo era projetar um sistema para a autoconstrução de casas essencialmente de madeira: eucalipto (*Eucalyptus dunni)* para estrutura e bracatinga *(Mimosa scabrella)* para a confecção dos painéis de vedação. Em parceria com a EMBRAPA Colombo, este trabalho pretendia transferir tecnologia ao pequeno e médio produtor



rural, para que, com o auxílio de uma cartilha e uma serraria portátil, este pudesse otimizar a utilização da madeira plantada em sua propriedade, tanto usando-a para construir casas para uso próprio, quanto desdobrando a madeira com a finalidade de agregar valor e incrementar a sua renda.

O projeto precisava adequar-se ao fato de que as casas seriam construídas pelos pequenos proprietários

Figura 4.28 - Perspectiva do projeto para o protótipo para a EMBRAPA Colombo. FONTE: BERRIEL (2002, p. 158).

rurais, em sistema de autoconstrução ou mutirão. Seria utilizada uma serraria manual, portátil, para o desdobro da madeira. Consequentemente, deveriam ser evitados no projeto encaixes complicados, que demandassem mão de obra especializada, bem como materiais complementares, que não fossem encontrados facilmente em qualquer loja de materiais de construção. Portanto, o sistema foi desenhado de modo a permitir que sua construção fosse feita tanto pelo próprio usuário, como também por processos semi-industriais e industriais.

A conicidade bastante acentuada na bracatinga resulta em seções menores na hora do desdobro. Em consequência disto, foi necessário que o sistema construtivo se adequasse ao material, utilizando peças de seção transversal menores e mais curtas sempre que possível. A ideia era criar um sistema construtivo flexível, que pudesse variar amplamente, desde a habitação mínima para uma pessoa, até programas mais complexos de habitação multifamiliar. O objetivo era que a casa pudesse ser modificada quantas vezes fossem necessárias, com acréscimos e subtração de módulos, para atender as necessidades dos usuários.

A elaboração dos módulos do protótipo partiu da ideia de *conteiners* de espaço, cubos com a medida interna de 226 x 226 x 226 cm (Figura 4.29); que é a medida do homem em pé com o braço erguido, do modulor, série azul, de Le Corbusier, que dá origem a uma série áurea de medidas. Um módulo tem 5,10 m^2, e é suficiente para abrigar uma pessoa, com uma cama, uma pequena mesa e um armário (Figura 4.30). A partir daí é possível estabelecer um grande número de composições, respondendo às mais variadas demandas. Para a construção do protótipo a área não deveria ultrapassar 60 m^2 para que pudesse ser comparada com uma casa popular, construída com material tradicional (tijolos de barro e concreto) de mesma área. No sistema existe uma estrutura independente, onde os painéis são encaixados. A medida dos módulos estabelece uma malha tridimensional, que seria materializada pela estrutura de *eucalipto*. Os painéis seriam

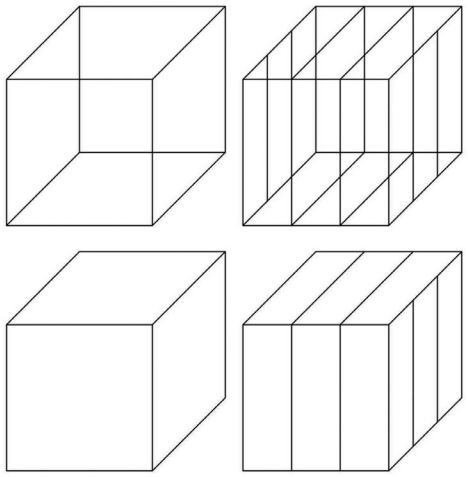


Figura 4.29 Módulo básico 2,26 x 2,26 x 2,26 m. FONTE: BERRIEL (2002, p. 125).

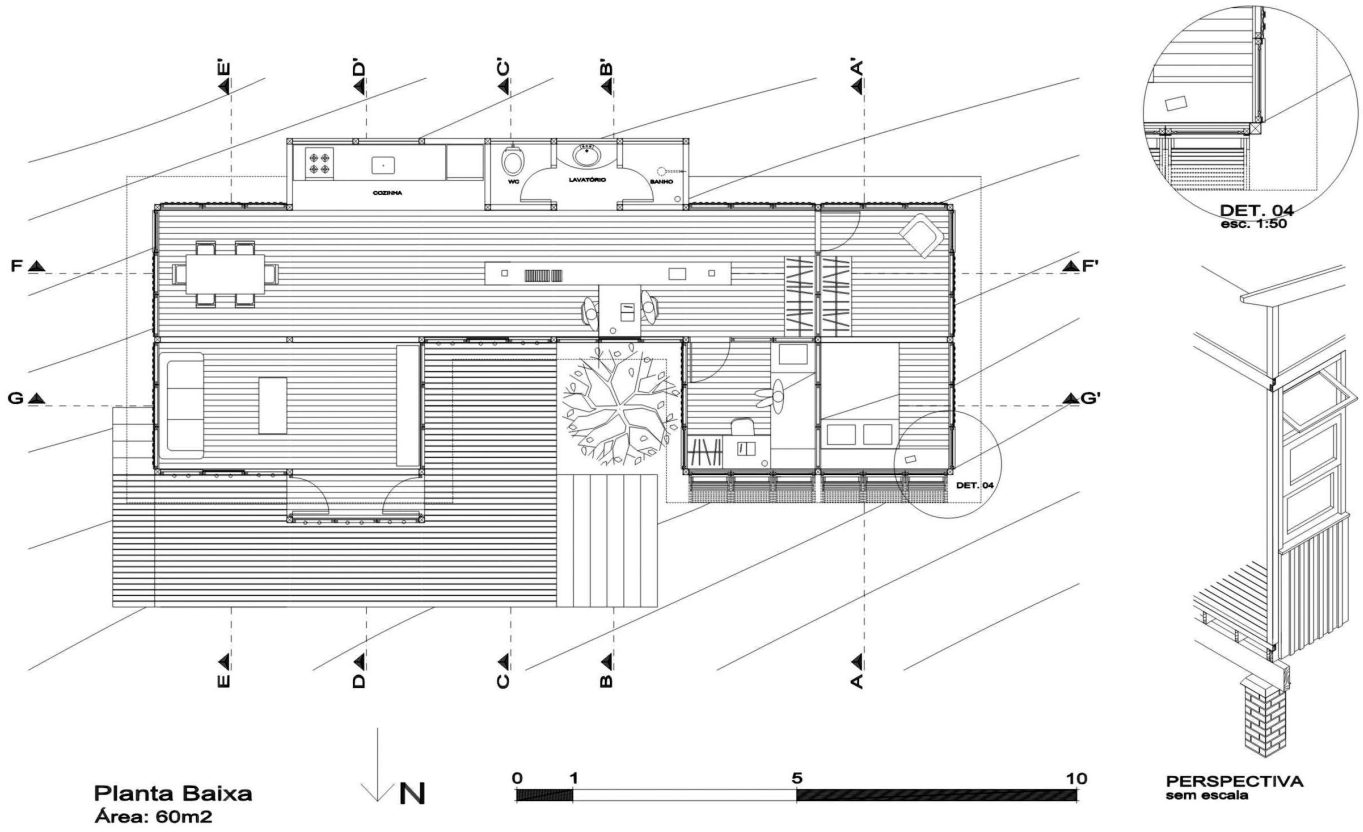


Figura 4.30 - Planta do módulo básico e detalhe dos cantos. FONTE: BERRIEL (2002, p. 129).

executados em bracatinga. Inicialmente foram desenvolvidos painéis de 113 x 226 cm, mas, ao longo da pesquisa, chegou-se à conclusão de que painéis menores seriam mais facilmente montados e transportados, mesmo que o transporte se resuma a poucos metros, do barracão em que são confeccionados ao canteiro de obras. Finalmente os painéis foram definidos: 75 x 226 cm.

Estas medidas dos painéis também são mais adequadas à madeira, bracatinga, cujo desdobro resulta em peças de seção reduzida. Cada vão de 226 x 226 cm é preenchido por três painéis. Com esta medida de painéis também será possível montar espaços com 3,00 x 3,00 x 2,26 m, onde, ao invés de três, são utilizados quatro painéis em cada lado do retângulo (3,00 x 2,26 m).

Foram elaborados, então, três tipos de painéis (Figura 4.31):

1) Painel cego a-) externo
b-) interno
2) Painel *brise soleil*
3) Painel janela guilhotina e ventarola.

O esqueleto dos três tipos de painéis é o mesmo, constituído por caibros (5 x 5 cm).

1) Painel cego

Para a vedação externa do painel cego (Figura 4.32) foi utilizado o sistema de tábuas e mata-junta, pois o posicionamento da madeira na vertical possibilita maior

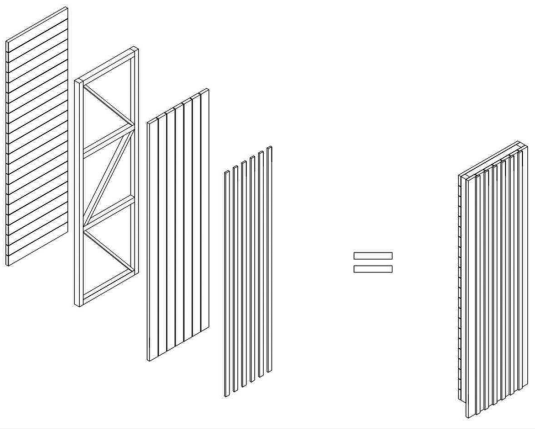


Figura 4.31 - Tipos de painéis do projeto. FONTE: BERRIEL (2002, p. 126-127).

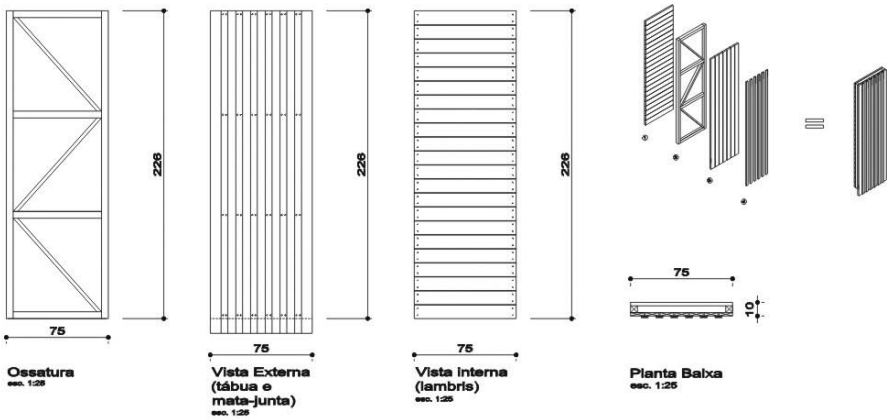


Figura 4.32 - Painel cego A. FONTE: BERRIEL (2002, p. 130).

PAINEL CEGO A
(paredes externas)

MADEIRA	PEÇA	DIMENSÕES	QUANTIDADE POR PAINEL	+ 20cm de folga	DIMENSÕES PARA CORTE	M3	M3 POR PAINEL
bracatinga	caibros	2" x 2" x 226cm	2 peças	2" x 2" x 246cm	5x5x246cm 0,0063m3	0,0123m3	
bracatinga	caibros	2" x 2" x 85cm	4 peças	2" x 2" x 85cm	5x5x85cm 0,0021m3	0,0085m3	
bracatinga	tábuas	1" x 4" x 240cm	7 peças	1" x 4" x 260cm	2,5x10x260cm 0,0065m3	0,045m3	0,137m3
bracatinga	tábuas	1" x 4" x 75cm	21 peças	1" x 4" x 95cm	2,5x10x96cm 0,0024m3	0,050m3	
bracatinga	mata-juntas	1" x 2" x 240cm	7 peças	1" x 2" x 260cm	2,5x5x260cm 0,0032m3	0,022m3	

durabilidade, já que permite a secagem mais rápida do painel após ser atingido pelas chuvas. A face interna foi revestida por tábuas pregadas na horizontal, pois não entrariam em contato com as chuvas, e, também, porque em seções reduzidas possibilitam um melhor aproveitamento da bracatinga, ou outra madeira qualquer utilizada no processo. Os painéis cegos internos (Figura 4.33) têm os dois lados revestidos por tábuas pregadas na horizontal. Através da formação de um "colchão de ar" entre as duas faces dos painéis obtém-se um componente isolante, uma vez que o ar é um isolante térmico.

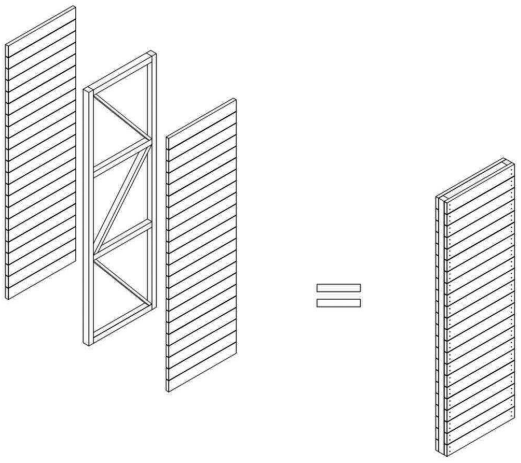


Figura 4.33 - Painel cego B. FONTE: BERRIEL (2002, p. 131).

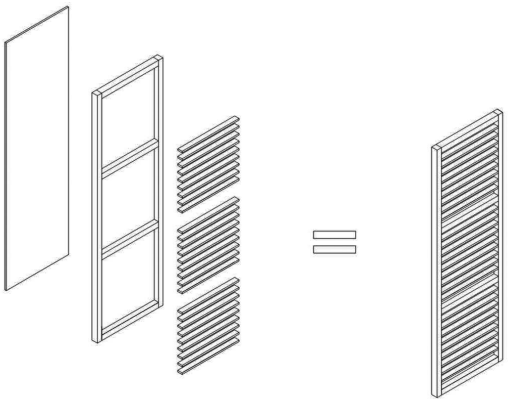


Figura 4.34 - Painel brise. FONTE: BERRIEL (2002, p. 132).

2) Painel *brise soleil*

Neste painel (Figura 4.34), a estrutura de caibros é preenchida por ripas dispostas na horizontal que servem para diminuir o ofuscamento ocasionado pelos raios solares, bem como conferir uma permeabilidade dosada no contato entre algumas áreas da casa e o exterior. Este tipo de painel necessita ainda de uma vedação interna, pois não é hermético com relação às chuvas e ao vento. Há várias possibilidades de se proceder a este fechamento interno, das quais serão detalhadas três: a primeira e mais cara é a colocação de painéis de vidro, deslizantes, do lado interno dos painéis; a segunda é a colocação de painéis feitos com a própria

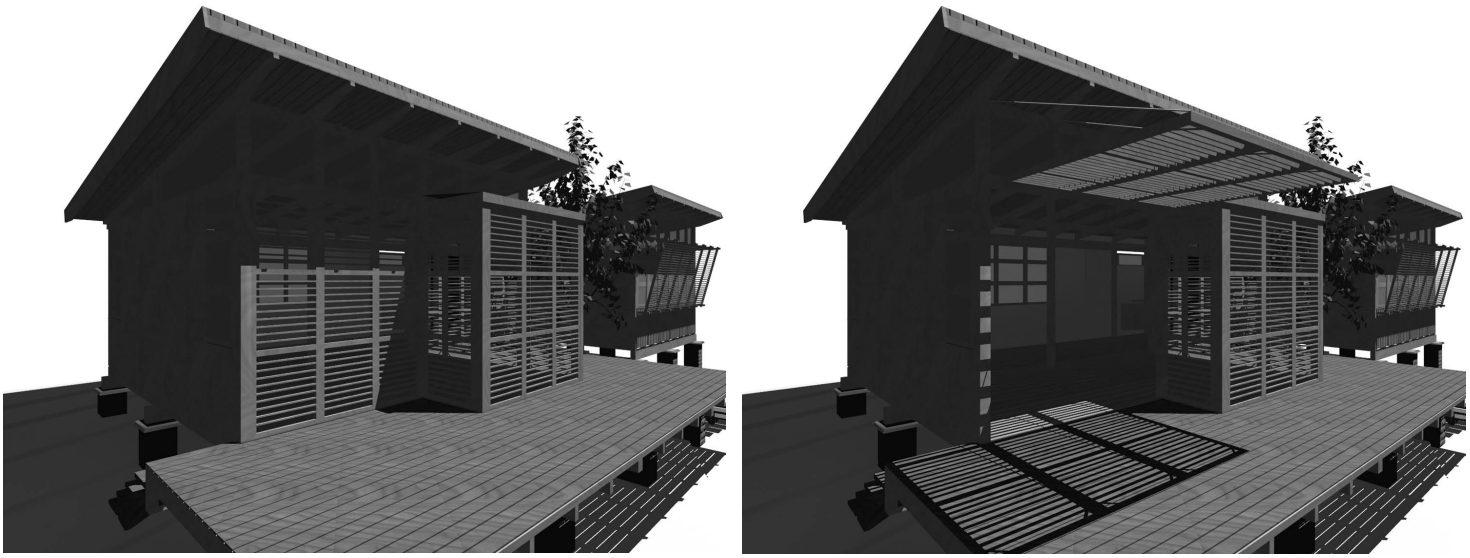


Figura 4.35 - Painel brise fixo ou basculante. FONTE: BERRIEL (2002, p. 161).

madeira, que podem ter aberturas quadradas de vidro (75 x 75 cm) em qualquer das três alturas dos vãos do painel; e a terceira é a utilização de telhas onduladas translúcidas, dispostas na face interna dos painéis, permitindo a passagem de luz . Os painéis *brise soleil* podem ser utilizados de duas maneiras nos projetos: fixos ou basculantes (Figura 4.35). No primeiro caso, eles serão fixados na estrutura principal e uns aos outros através de pregação e, no segundo caso, eles terão um sistema que os faz abrirem para o exterior, transformando-se assim em pergolados ou ripados.

3) Painel janela guilhotina e ventarola

Este painel possui um espaçamento diferente dos dois primeiros na estrutura de caibros (Figura 4.36) que utiliza-se, no entanto, das mesmas peças. Até um terço da altura, o painel é fechado com tábuas e mata-junta, e dali para cima estão as aberturas, a de baixo, janela de guilhotina, numa analogia com as casas de araucária estudadas durante a pesquisa, a de cima, uma janela basculante, cujas dimensões e posicionamento também trazem reminiscências nas bandeiras fixas sobre portas e janelas das casas de madeira de araucária de Curitiba.

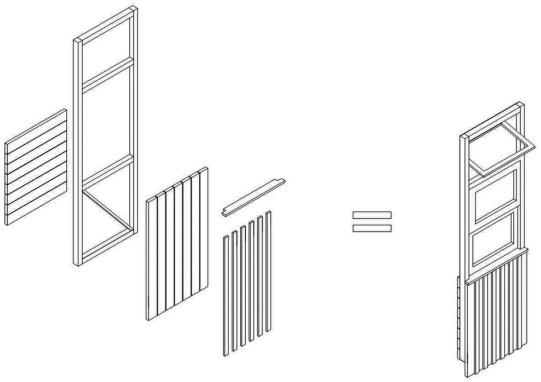
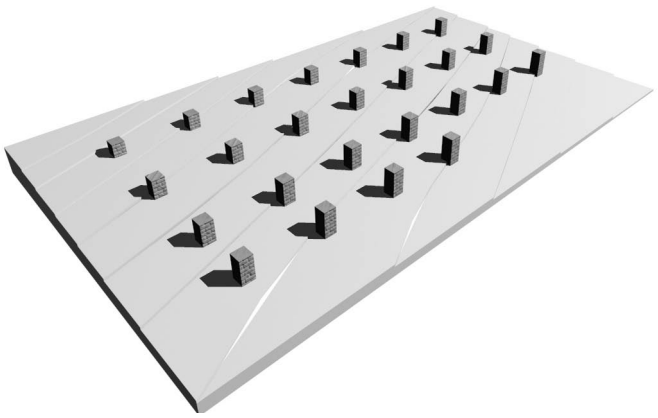
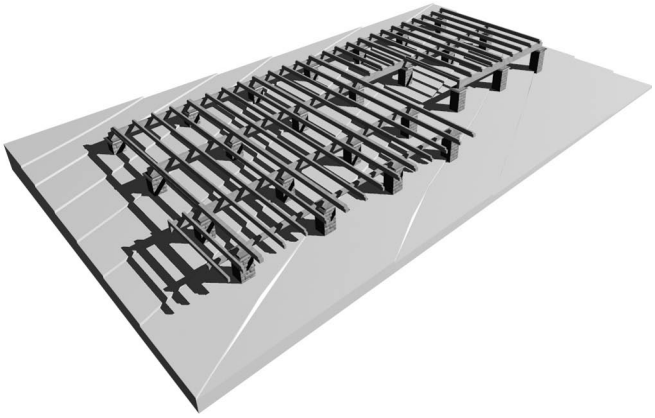
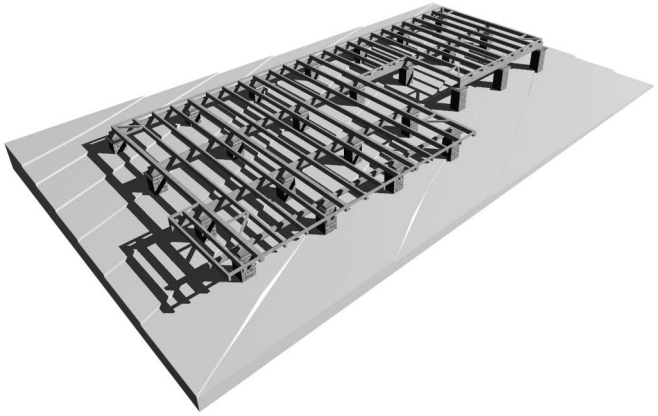
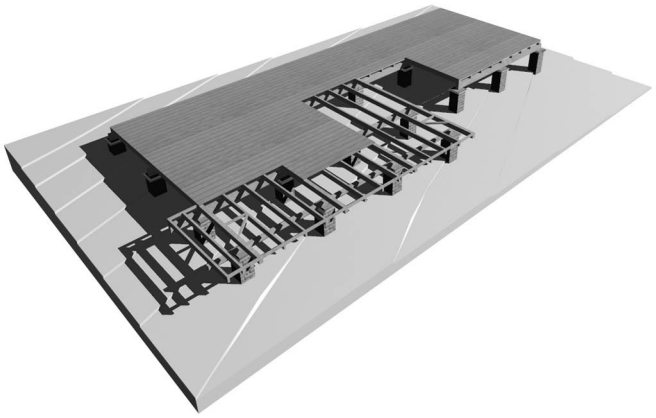
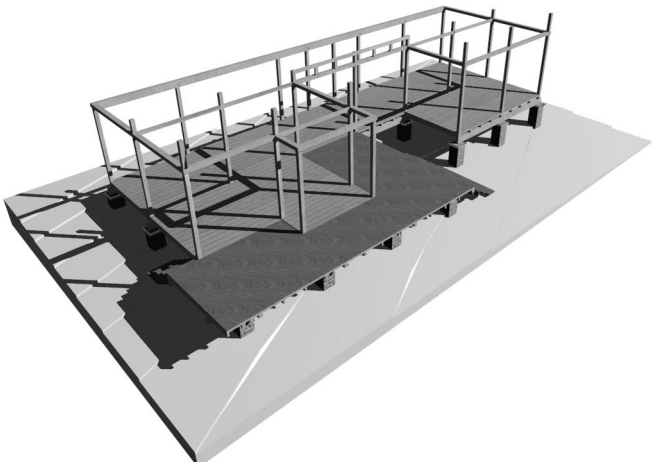
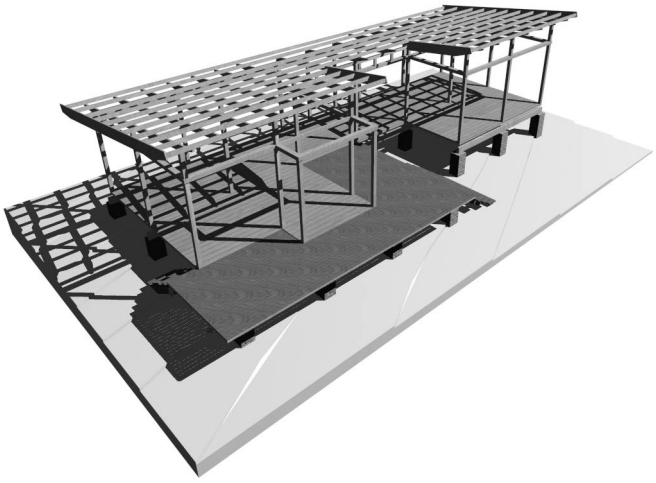
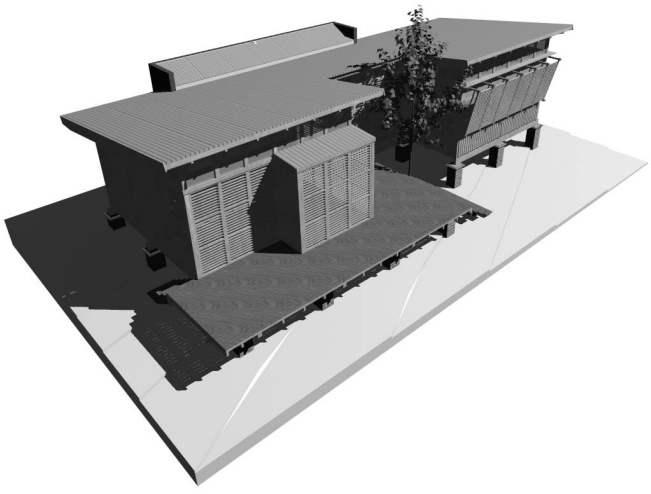


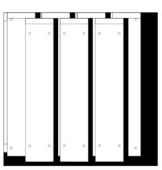
Figura 4.36 - Painel guilhotina. FONTE: BERRIEL (2002, p. 133).

O sistema apresentado assemelha-se ao projeto desenvolvido pela USP de São Carlos, pois os painéis estão associados a um sistema estrutural de pilar-viga, independente da vedação. Para a escolha do módulo horizontal adotou-se a menor medida do vão estrutural (225 cm), este vão dividido em três módulos resulta em uma medida de 75 cm. Adimite-se, portanto, uma junta entre os módulos e entre estes e o vão estrutural de 0,5 cm até 0,225 cm. Para a escolha do módulo vertical (medida do vão vertical 226 cm) subtraiu-se o mesmo valor (0,3 cm) da diferença do módulo horizontal adotado como medida do vão horizontal; resultando na medida de 225,7 cm. (Figura 4.37). Apesar de ter um resultado plástico agradável, este sistema apresenta três problemas principais: o primeiro é o fato de ser um sistema fechado; o segundo é o fato de não atender às normas brasileiras de coordenação modular; e o terceiro é o fato de, tanto quanto os demais sistemas desenvolvidos pelas universidades, ter as medidas de projeto atreladas ao tamanho do painel, tanto em altura, neste caso definindo o pé-direito da edificação, quanto em longitude, permitindo que se tenha apenas uma grelha de projeto.

Figura 4.37 - Projeto modular, Curitiba, UFRGS-PUC, 2002. FONTE: Projeto e desenhos da Autora).





4.6 “PROJETAR” O ESPAÇO E A CONSTRUÇÃO DE MADEIRA: MATERIALIZAÇÕES POSSÍVEIS

1.6.1 Propriedades da madeira a serem consideradas num projeto de arquitetura

Cresce progressivamente o interesse sobre a madeira para arquitetura e construção civil. Mas, ao mesmo tempo em que aumenta o interesse de profissionais da área de construção acerca do material madeira, crescem as dúvidas e equívocos, frequentes e compreensíveis, por se tratar de material com uma tradição construtiva que, no Brasil, aconteceu apenas em algumas regiões e ainda não se firmou como uma expressão nacional.

Desde o processo de escolha e especificação da madeira mais adequada a cada uso, os profissionais e consumidores brasileiros têm-se pautado fortemente pelo conservadorismo e pela falta de informação. Precisa-se incorporar o uso de espécies alternativas com propriedades semelhantes às das espécies tradicionais (IPT, 2003, p. 24). Na Amazônia, há uma infinidade de espécies diferentes de madeira com diferentes características tecnológicas, que apesar da diversidade podem ser agrupadas em classes. Por exemplo, usa-se a madeira do ipê para pisos e deques, mas há um grupo de outras madeiras com as mesmas propriedades que não são utilizadas. Usa-se à exaustão algumas espécies, enquanto outras são subutilizadas. O aproveitamento das florestas naturais ou plantadas, através de projetos de Manejo Florestal aprovados pelo IBAMA, é a forma correta de utilização, permitindo a recomposição da floresta em uma determinada área, viabilizando-a econômica, social e ambientalmente.

Na construção civil brasileira, a madeira é utilizada principalmente das seguintes formas: (a) usos temporários, como: fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos; e (b) usos definitivos, como: estruturas de cobertura (tesouras e complementos), esquadrias (portas e janelas), forros e pisos. Ainda é incipiente o uso da madeira para elementos estruturais como pilares e vigas, bem como para o uso em vedações, como paredes. A Tabela 4.2 mostra o consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no estado de São Paulo, em 2001.

TABELA 4.2 - CONSUMO DE MADEIRA SERRADA AMAZÔNICA PELA CONSTRUÇÃO CIVIL, NO ESTADO DE SÃO PAULO, EM 2001

Uso na construção civil	**Consumo**	
	1000 m^3	**%**
Estruturas de cobertura	891,7	50
Andaimes e fôrmas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
Total	**1783,3**	**100**

FONTE: SOBRAL *et al.* (2002) e IPT (2003).

A tabela acima sequer menciona o uso da madeira em componentes pré-fabricados para vedações verticais (paredes), que é o assunto principal abordado nesta tese. E, nota-se que a relação entre a porcentagem de madeira utilizada em fôrmas e andaimes, ou seja, em usos provisórios e pouco valorizados é muito elevada se comparada à porcentagem de madeira utilizada para a construção de casas pré-fabricadas.

Quando o assunto abordado são as propriedades da madeira, ao falarmos em qualidade é fundamental observar qual o uso ou finalidade a que aquela madeira se destina, em outras palavras, qualidade da madeira tem relação direta com finalidade. Madeiras mais leves, por exemplo, serão eficientes em componentes de vedação (paredes) se estes estiverem dissociados da estrutura, pois nesse caso as madeiras pesadas solicitariam a estrutura além do necessário. Por outro lado, madeiras mais pesadas e mais resistentes ao ataque de agentes xilófagos tendem a durar mais do que madeiras mais leves, o que seria vantajoso, uma vez que cada vez mais os produtos devem ser pensados para durar, conservando o carbono fixado e gerando menos lixo. Deve-se refletir sobre as questões conceituais, sobre as intenções de cada projeto, respeitar as limitações e aproveitar as vantagens do material visando especificar a espécie de madeira adequada para cada uso. Quanto aos cuidados ao se projetar construções de madeira, Benevente (1994) aconselha:

> Em construções cujo material é madeira, é conveniente que todo pensar gire em torno dos conhecimentos acerca de suas características anatômicas, higroscópicas[6] e anisotrópicas[7], tirando partido destas características e respeitando suas limitações. Enfim, não é possível ou aconselhável que se adaptem soluções destinadas a qualquer outro material. É verdade que as madeiras, genericamente falando, constituem uma classe de material específico e com características próprias.

São muitas as propriedades a serem consideradas por arquitetos e engenheiros na hora de escolher a madeira para projetos: anatômicas, químicas, físicas (massa específica, elétricas, acústicas, térmicas, etc.), mecânicas (flexão estática, compressão, cisalhamento, tração, dureza, fendilhamento, abrasão), etc. Mas, algumas propriedades são fundamentais em se tratando de um projeto estrutural de habitações em madeira: a massa específica aparente*,* por exemplo, determina uma série de outras propriedades tecnológicas essenciais para a escolha adequada de madeiras para construção civil e deve ser um dos primeiros dados analisados pelos profissionais na hora da escolha.

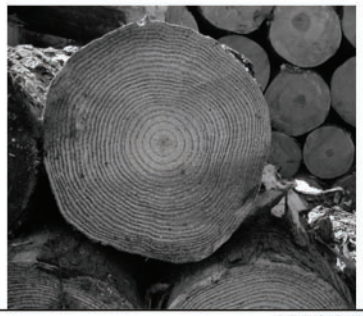
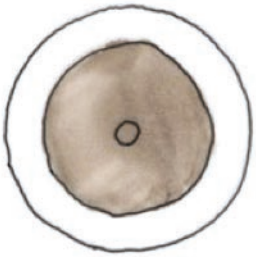
[6] Um material higroscópico é aquele que tem tendência para absorver a umidade do ar, e, no caso da madeira, se movimentar em dilatações e contrações, segundo as oscilações da umidade e temperatura atmosférica.

[7] Diz-se anisotropo de um corpo cujas propriedades físicas dependem da direção que são avaliadas. Na madeira, a resistência à tração, à compressão e até com relação à resistência ao fogo variam substancialmente, se estas forem analisadas no sentido transversal ou longitudinal de suas fibras.

1. Características anatômicas

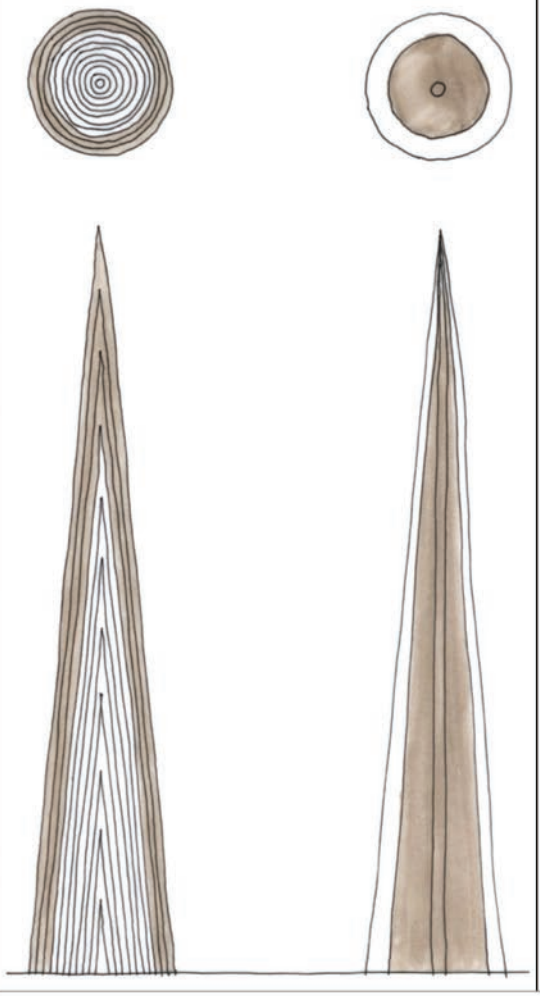
Através de revisão de literatura, organizou-se uma tabela onde é possível reconhecer os DOIS GRANDES GRUPOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS – conhecimento importante para os arquitetos que se iniciam no estudo da madeira. A tabela demonstra características macroscópicas[8] e microscópicas das madeiras com várias implicações tecnológicas, pois as características anatômicas, por exemplo, estão diretamente ligadas às propriedades das madeiras.

TABELA 4.3 - DOIS GRANDES GRUPOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS

	GIMNOSPERMAS **CONÍFERAS "SOFTWOOD"**	ANGIOSPERMAS **FOLHOSAS "HARDWOOD"**
Características macroscópicas	Exemplo de conífera nativa: araucária. Exemplo de conífera exótica[1]: ***pinus spp***	Exemplo de folhosa nativa: imbuia, peroba, cambará. Exemplo de folhosa exótica: ***eucalipto spp***
	Anéis de crescimento mais evidentes. 	Cerne e alburno evidentes. 
	MASSA ESPECÍFICA APARENTE	
	Corte transversal: Lenho mais resistente é a parte externa.	Corte transversal: Lenho mais resistente é a parte interna.
		
	Como regra geral, a árvore forma anéis de crescimento mais largos na madeira interior, próximo à medula, e anéis de crescimento estreitos na madeira exterior. Assim, ocorrem variações na massa específica, no sentido transversal, em função de lenho inicial e tardio.	
	Para as coníferas, normalmente a parte externa do lenho costuma ser mais densa.	Enquanto que, nas folhosas, o valor máximo da densidade se situa próximo à medula.
	É possível fazer indicações/recomendações baseadas em critérios visuais:	

[8] Características macroscópicas são aquelas que podem ser observadas a olho nu, sem o auxílio de microscópios. E as microscópicas, por sua vez, são aquelas que precisam ser observadas com o auxílio de microscópios.

[9] Espécie exótica é aquela oriunda de outro país.

<table>
<tr><td></td><td> 
medula – madeira menos resistente < massa específica aparente;
anéis espaçados – madeira menos resistente < massa específica aparente;
anéis próximos – madeira mais resistente > massa específica aparente.</td><td> 
Madeira de alburno – madeira menos resistente < massa específica aparente;
madeira de cerne – madeira mais resistente > massa específica aparente.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Variação da massa específica aparente no sentido longitudinal.
Existem grandes variações na massa específica ao longo do tronco, onde o valor máximo situa-se na base do mesmo, devido a existência de tecidos rígidos de sustentação. Desta posição, a massa específica decresce em direção à copa da árvore.</td></tr>
<tr><td>Características macroscópicas</td><td>< massa específica
-
+
> massa específica</td><td>  </td><td>< massa específica
-
+
> massa específica</td></tr>
</table>

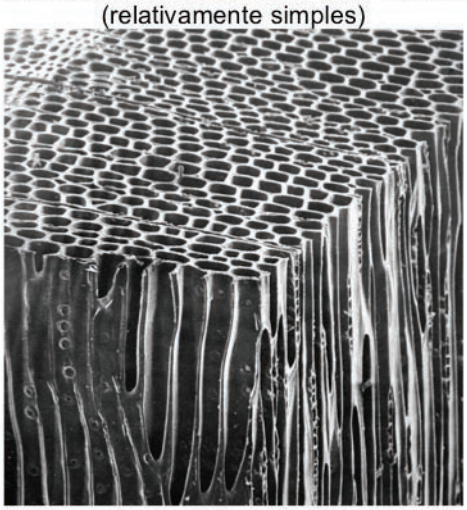
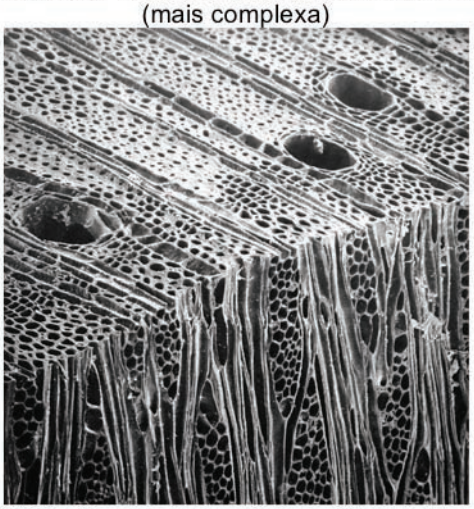
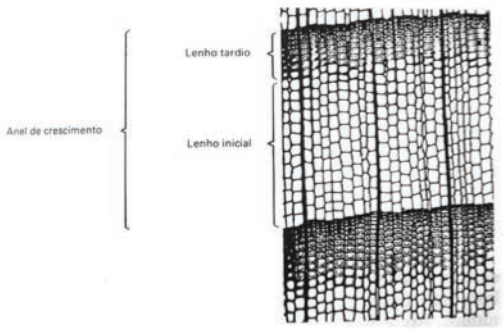
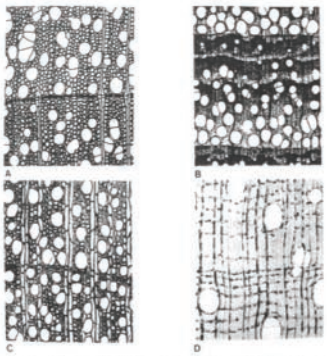
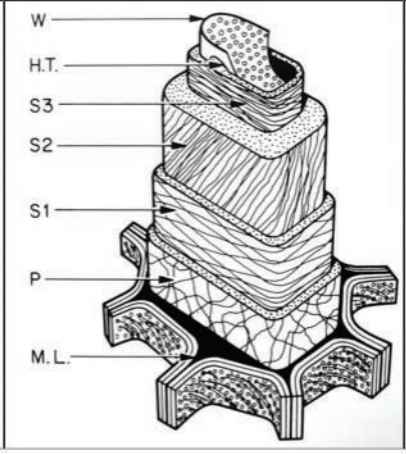
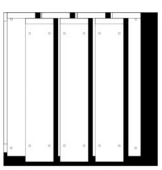
	GIMNOSPERMAS **CONÍFERAS**	ANGIOSPERMAS **FOLHOSAS**
Características microscópicas	**Estrutura microscópica de uma conífera** (relativamente simples)  Estrutura microscópica de uma conífera. FIGURA: Uma vista tridimensional da madeira do ***Pinus radiata***. Pelo corte transversal pode-se ver que a massa do sistema axial é constituída pelos traqueídeos. O limite entre um anel de crescimento e outro pode ser visto no topo superior esquerdo. Os raios são predominantemente unisseriados. Microscopia eletrônica (x 230). FONTE: BUTERFIELD (1972, p. 65).	**Estrutura microscópica de uma folhosa** (mais complexa)  FIGURA: Numerosos raios multisseriados no corte tangencial deste bloco de ***Beilschmedia tawa*** também mostrados no plano transversal. Vasos e fibras são ilustrados também. As aberturas maiores são canais resiníferos. Microscopia eletrônica (x 190). FONTE: BUTERFIELD (1972, p. 70).
	Estrutura mais simples: As células constituem-se de: traqueídeos (sustentação e transporte / 3 camadas S1, S2 e S3); parênquima (reserva / parede primária). * parênquimas ocorrem mais no sentido radial, formando os raios, e os traqueídeos no sentido longitudinal.	Estrutura mais complexa: As células constituem-se de: vasos (transporte / parede primária); fibras (sustentação / 3 camadas S1, S2 e S3); parênquima (reserva / parede primária); traqueídeo (pouco frequente).
		 Fig. Características anatômicas que

	Fig. Anel de crescimento de uma gimnosperma (corte transversal).	destacam os anéis de crescimento em angiospermas (corte transversal).
	O lenho inicial corresponde ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, normalmente primavera, quando as plantas despertam de um longo período de dormência, reassumindo suas atividades fisiológicas com todo vigor. As células da madeira formadas nesta ocasião caracterizam-se por suas paredes finas e lumes grandes que lhe conferem em conjunto uma coloração clara. Com a aproximação do fim do período vegetativo, normalmente outono, as células vão diminuindo paulatinamente sua atividade fisiológica. Em consequência disso, suas paredes vão tornando-se gradualmente mais espessas e seus lumes menores, distinguindo-se do lenho anterior por apresentarem em conjunto uma tonalidade mais escura. É esta alternância de cores que evidencia os anéis de crescimento de muitas espécies, em especial das gimnospermas ou *coníferas*.	Em madeiras de angiospermas dicotiledôneas, comumente designadas *folhosas*, os anéis de crescimento podem destacar-se por determinadas características anatômicas, tais como: Parênquima marginal e alargamento dos raios no limite dos anéis de crescimento; Porosidade em anel; Espessamento diferencial das fibras no fim do período vegetativo; Alteração no espaçamento das faixas tangenciais de parênquima axial.
	GIMNOSPERMAS **CONÍFERAS**	ANGIOSPERMAS **FOLHOSAS**
Características submicroscópicas	Constituição química da madeira: Componente estrutural – CELULOSE / Componentes subestruturais – POLIOSES (hemiceluloses) e LIGNINA	
	CELULOSE 42 +- 2% POLIOSES 27 +- 2% LIGNINA 28 +- 2% EXTRATIVOS 5 +- 3%	CELULOSE 45 +- 2% POLIOSES 30 +- 2% LIGNINA 20 +- 4% EXTRATIVOS 3 +- 2%
	Estrutura mais simples: As células constituem-se de: - traqueídeos (sustentação e transporte / 3 camadas S1, S2 e S3); - parênquima (reserva / parede primária). * parênquimas ocorrem mais no sentido radial, formando os raios, e os traqueídeos no sentido longitudinal.		Estrutura mais complexa: As células constituem-se de: - vasos (transporte / parede primária); - fibras (sustentação / 3 camadas S1, S2 e S3); - parênquima (reserva / parede primária); - traqueídeo (pouco frequente).



	Umidade: A retirada da água livre pouco altera a madeira, além de seu peso próprio. Ao contrário, a remoção da água que preenche os espaços submicroscópicos da madeira, separando os constituintes da parede celular, provoca importantes modificações com aproximação das micelas e microfibrilas, conferindo-lhe maior rigidez. Desta forma, somente a água contida na parede celular afeta a resistência da madeira.
	Contração e inchamento: O aumento do volume (inchamento) deve-se principalmente à inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos, entre as micelas (feixes formados por moléculas de celulose) e nas suas regiões amorfas, afastando-as e, consequentemente, alterando as dimensões da madeira. A diminuição do volume (contração) deve-se à retirada das moléculas de água dos espaços submicroscópicos mencionados, ocasionando a aproximação das micelas e das moléculas que as constituem, e a consequente retração da madeira.

TABELA 4.3 - DOIS GRANDES GRUPOS DE ESPECIES ARBÓREAS.
FONTE: Elaborada pela Autora (2005).

2. Propriedades organolépticas da madeira

As propriedades organolépticas da madeira são aquelas que impressionam os sentidos dos seres humanos, como: cheiro, cor, gosto, grã, textura e desenho. São propriedades importantes a serem consideradas em se tratando de projetos de arquitetura, pois as edificações a serem construídas de madeira se destinam justamente aos seres humanos.

Quanto ao cheiro, por exemplo, este não deve ser desagradável como o encontrado em alguns gêneros de canela, bem como deve-se evitar espécies tidas como prejudiciais à saúde, causando alergias, tonturas ou asma, como a caviúna, a peroba-amarela ou a jacareúba (MORESCHI, 2004).

A cor da madeira é originada por substâncias corantes depositadas no interior das células que constituem o material lenhoso, bem como impregnadas em suas paredes celulares. Algumas destas substâncias são tóxicas a agentes xilófagos, conferindo a várias madeiras de coloração escura uma alta durabilidade natural em situações de uso que favorecem a biodegradação. Fora isso, a gama de cores das madeiras é como uma palheta de tintas nas mãos do arquiteto aumentando as possibilidades plásticas do projeto.

O termo grã refere-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho, em relação ao eixo longitudinal da árvore ou de uma peça de madeira. Esta orientação é decorrente das mais diversas influências em que a árvore é submetida durante o crescimento. Para a construção de estruturas, a grã direita ou reta é apreciada por contribuir para uma elevada resistência mecânica, ser de fácil desdobro e processamento, e não provocar deformações indesejáveis durante a secagem da madeira. Já a grã espiral traz

sérias consequências para utilização da madeira, como diminuição da resistência mecânica, aumento das deformações de secagem e dificuldade para se conseguir um bom acabamento superficial e, quando ocorre uma volta completa dos elementos axiais em menos de 10 m de altura do fuste, a madeira apresenta sérias limitações, sobretudo para fins estruturais.

3. Massa específica aparente

A massa específica constitui a propriedade mais importante da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas. Em regra geral, madeiras mais pesadas são mais resistentes, elásticas e duras que as leves. Em contrapartida, são de difícil trabalhabilidade[10] e apresentam maior variabilidade.

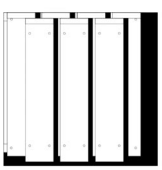
Relação entre massa e volume, ou quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume, ou de forma inversa, do volume de espaços vazios existentes na madeira. Para se comparar massas específicas é fundamental que as amostras tenham os mesmos teores de umidade, pois qualquer alteração desta acarretará alteração do peso e, abaixo do ponto de saturação das fibras (+- 28% U), no peso e no volume da madeira.

TABELA 4.4 - EXEMPLO DE ALGUNS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA – (CLIMATIZADAS PARA SE ESTABILIZAREM A 15% U)

NOME COMUM	NOME BOTÂNICO	Massa 15% (g/cm³)
Guaiaco (Pau Santo)	*Guajacum officinale*	1,23 – 1,40
Ipê-Rosa	*Tabebuia impetiginosa*	0,92 – 1,08
Cabriúva Vermelha	*Myroxylon balsamum*	0,95
Pau Marfim	*Balforodendron riedelianum*	0,84
Amendoim	*Pterogyne nitens*	0,77
Canjerana	*Cabraela cangeana*	0,67
Bracatinga	*Mimosa acabrella*	0,65 – 0,81
Pinheiro do Paraná	*Araucaria angustifolia*	0,55
Baguaçú	*Talauma ovata*	0,56
Cedro	*Cedrela sp.*	0,53
Mandioqueira	*Didymopanax calvum*	0,52
Pinus	*Pinus* spp	0,40 – 0,50
Guapuruvú	*Schizolobium parahybum*	0,32
Balsa	*Ochroma lagopus*	**0,13 – 0,20**

TABELA 4.4 - EXEMPLO DE ALGUNS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA – (CLIMATIZADA PARA SE ESTABILIZAREM A 15% U).
FONTE: MORESCHI (2002). Dados do Ipê-Rosa e da Bracatinga extraídos de CARVALHO (2003, p. 223 e 559).

[10]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.



4. Massa específica real

A massa específica real (r H) representa a massa específica do material lenhoso que constitui a madeira (não incluindo os espaços vazios existentes) e é, para todas as espécies de madeira, quase constante (r H = 1,53 a 1,56 g/cm^3).

5. Umidade

A massa específica da madeira de uma árvore recém-abatida (MORESCHI, 2002) está em função da água contida nos espaços celulares e intercelulares da madeira (água livre ou de capilaridade), da água impregnada nas paredes celulares (água de impregnação) e da água que participa da constituição química da madeira (água de adsorção química).

O teor de umidade está diretamente relacionado com o volume da madeira e inversamente relacionado com suas propriedades mecânicas. Além do fato da variação do teor de umidade da madeira causar alterações em seu volume, estas alterações se dão em proporções diferentes, segundo os três sentidos anatômicos da madeira, o que a caracteriza como um material anisotrópico. Assim, o controle do teor de umidade da madeira é indispensável para que possamos utilizá-la de forma adequada, evitando o desenvolvimento de defeitos como empenamentos, arqueamentos, torções, etc.

Madeiras com alta massa específica apresentam um teor de umidade máximo baixo; madeiras com baixa massa específica apresentam um teor de umidade máximo elevado. A constituição anatômica da madeira também tem grande influência sobre o teor de umidade: o lenho inicial, por exemplo, com células de paredes finas e lumens grandes, normalmente contém mais água que o lenho tardio, constituído de células com paredes espessas e lumens pequenos.

A maioria das propriedades da madeira independe do seu teor de umidade, enquanto este se situa acima do ponto de saturação das fibras (+-28% U). No entanto, elas passam a estar muito bem relacionadas com o teor de umidade, quando este se encontra abaixo deste ponto. Portanto, não se pode utilizar madeira verde para a construção, e arquitetos precisam conhecer as propriedades das madeiras para poderem utilizá-las, sempre adequadamente secas.

A perda da água livre – presente no interior das células – acontece facilmente através da secagem natural, por ser a madeira material higroscópico e poroso. Já a água de impregnação – presente no interior das paredes dos vasos, traqueídeos e raios – é melhor eliminada através de secagem artificial e programas de secagem, que podem garantir um melhor desempenho da madeira.

Quanto à densidade[11] da madeira, são importantes o valor da densidade verde (peso

[11] A densidade de um determinado material é dada pela relação entre a massa de certo volume de um corpo e a do mesmo volume de água.

verde/volume verde) e da densidade aparente da madeira com teor de umidade de 12% a 15%.

É possível avaliar o comportamento das espécies durante a secagem através da análise visual apresentada pelas amostras e do tempo de secagem. Os defeitos mais comuns durante a secagem são: rachaduras, colapso e empenamentos (encanoamento, torcimento, encurvamento e empenamento).

6. Contração e inchamento

A mudança de volume da madeira se verifica entre 0 e 28% U, devido à desorção e/ou absorção de água. É considerada uma de suas propriedades físicas mais importantes, pois afeta e limita consideravelmente o seu uso industrial em vários ramos de utilização.

Como a alteração no volume da madeira (por contração e inchamento) depende unicamente da água contida no interior dos espaços submicroscópicos da parede celular, ela só irá ocorrer a teores de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), ou seja, entre 0% e 28% U. Acima do PSF não ocorrem mudanças significativas em volume.

INCHAMENTO	**0%**	□	**28% U**
CONTRAÇÃO	28%	⇒	0% U

A maior alteração dimensional da madeira manifesta-se no sentido tangencial, depois no sentido radial e, finalmente, no sentido longitudinal. Este último, por ser muito baixo, normalmente é negligenciado para fins práticos. Em termos médios, a relação de grandeza entre as contrações tangencial, radial e longitudinal da madeira é de:

ßt **contração tangencial**	**ßr** **contração radial**	**ßl** **contração longitudinal**
1,6-2,0	1,0	0,1

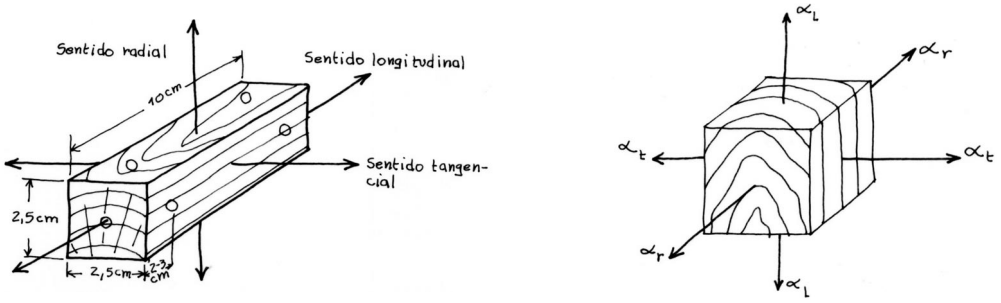


Figura 4.38 - Diferentes sentidos anatômicos da madeira. FONTE: MORESCHI (2002).

TABELA 4.5 - VALORES DE CONTRAÇÃO LINEAR E VOLUMÉTRICA DE ALGUMAS ESPÉCIES, ORDENADAS SEGUNDO A MASSA ESPECÍFICA A 15% DE TEOR DE UMIDADE

ESPÉCIE	ßl	ßr	ßt	ßv	m.e.	ßt/ßr
Ochroma lagopus (Balsa)	0,6	3,0	**3,5**	7,1	**0,16**	1,17
Populus sp.	0,7	3,0	**7,1**	11,8	**0,39**	2,37
Cedrela sp. (Cedro)	*	4,0	**6,0**	12,0	**0,52**	1,50
Araucaria angustifolia	*	4,0	**8,0**	13,0	**0,54**	2,0
Pinus echinata	0,4	4,4	**7,7**	12,5	**0,58**	1,75
Ocotea porosa (Imbuia)	*	2,7	**6,3**	9,8	**0,67**	2,33
Tectona grandis (Teca)	0,6	3,0	**5,8**	9,4	**0,67**	1,93
Paratecoma peroba (Ipê, Peroba)	*	4,0	**7,0**	11,0	**0,70**	1,75
Aspidosperma sp. (Peroba rosa)	*	4,0	**7,5**	13,0	**0,80**	1,87
Bowdichia virgilóides (Sucupira)	*	5,3	**8,4**	15,5	**0,90**	1,58
Guaiacum officinale (guaiaco)	0,1	5,6	**9,3**	15,0	**1,23**	1,66

TABELA 4.5 - VALORES DE CONTRAÇÃO LINEAR E VOLUMÉTRICA DE ALGUMAS ESPÉCIES, ORDENADAS SEGUNDO A MASSA ESPECÍFICA A 15% DE TEOR DE UMIDADE.
FONTE: MORESCHI (2002).

* Quanto maior a densidade da madeira, maior inchamento e maior contração.

7. Anisotropia dimensional

A madeira incha e contrai desigualmente segundo os sentidos anatômicos tangencial, radial e longitudinal. Denomina-se este fenômeno de anisotropia dimensional.

8. Propriedades térmicas da madeira

A madeira possui quatro propriedades térmicas importantes para a arquitetura, sendo elas:

a) Condutividade térmica: refere-se à medida da taxa de fluxo de calor através da madeira submetida a um gradiente de temperatura. Devido à estrutura porosa da madeira, a sua condutibilidade térmica é relativamente baixa. A condutividade térmica de peças estruturais de madeira equivale a uma pequena parcela da condutividade térmica de peças metálicas, por exemplo, o que as coloca numa posição de destaque para esta finalidade. Esta propriedade é importante onde se pretende o isolamento de temperatura. A condutividade térmica da madeira é aproximadamente a mesma nos sentidos tangencial e radial. No entanto, no sentido da grã da madeira esta propriedade é 2,0 a 2,8 vezes maior que nos outros sentidos. Quanto maior for a massa específica (menor quantidade de ar por unidade de volume), maior será a sua condutividade térmica. E quanto maior for o teor de umidade, maior será a condutividade térmica (condutividade térmica da água = 0,5). Isto mostra que

madeiras utilizadas para vedação, por exemplo, podem ter uma massa específica mais baixa, o que representa um incremento em termos de conforto térmico do ambiente interno da edificação.

TABELA 4.6 - EXEMPLOS DE ALGUNS COEFICIENTES DE CONDUTIVIDADE TERMICA

MATERIAL	**Kcal/m.h.ºC**
Vácuo	0,00
Ar	0,0216
Poliestireno expandido (isopor)	0,035
Lã de vidro (20 kg/m^3) seca	0,05
Lã de vidro (20 kg/m^3) encharcada	0,10
Balsa (*Ochroma lagopus*)	0,054
Chapa aglomerada	0,07 - 0,12
Pinheiro do Paraná *(Araucaria angustifolia)*	**0,12**
Tijolo	0,4
Água	0,5
Concreto armado	1,75
Cobre	50,0
Alumínio	230,0
Ferro	330,0

TABELA 4.6 - EXEMPLOS DE ALGUNS COEFICIENTES DE CONDUTIVIDADE TERMICA.
FONTE: MORESCHI (2002).

b) Calor específico: refere-se à relação entre a capacidade de aquecimento da madeira e a capacidade de aquecimento da água (1 Kcal/Kgºc). A capacidade de aquecimento de um material, por sua vez, representa a quantidade de energia térmica necessária para causar a troca de uma unidade de temperatura em uma unidade de massa deste material.

TABELA 4.7 - ALGUNS VALORES MÉDIOS DE CALOR ESPECÍFICO

MATERIAL	**Kcal/KgºC**
Metais (ferro, aço, alumínio)	0,1
Concreto, tijolos, pedras	0,18 – 0,20
Ar (0ºC)	0,240
Madeira (0ºC)	0,324
Água	1,0

TABELA 4.7 - ALGUNS VALORES MÉDIOS DE CALOR ESPECÍFICO.
FONTE: MORESCHI (2002).

A madeira tem um calor específico relativamente alto se comparada com outros materiais, o que significa que é necessária uma maior quantidade de calor para aquecê-la.

Por isso a madeira é utilizada em colheres de pau e decks de piscina.

c) Transmissão térmica: é a medida do quão rápido a madeira pode absorver temperatura de suas imediações; um valor normal para a madeira é 0,0016 cm^2 por segundo, ao passo que para o aço é de 0,129 cm^2 por segundo. Por essa razão não se sente ao tato que a madeira seja extremamente fria ou quente.

d) Coeficiente de expansão térmica: medida da troca de dimensões causada pela troca de temperatura. Grande vantagem desta característica da madeira (baixa expansão térmica) verifica-se no caso de incêndios, tendo-se em vista que peças estruturais de madeira se expandem menos que outros materiais de construção, diminuindo riscos de desabamento.

9. Propriedades acústicas da madeira

Paredes simples de madeira apresentam isolamento acústico deficiente, devido à sua pouca massa constituinte. Paredes compostas de várias camadas, contendo ar entre elas, diminuem consideravelmente as oscilações das partes sólidas constituintes. O isolamento acústico pode ainda ser melhorado pela incorporação de materiais absorventes de som, moles e porosos.

10. Propriedades mecânicas da madeira

O esforço que uma peça de madeira pode suportar é afetado de forma expressiva pela direção da carga aplicada, em relação à direção das fibras ou traqueóides, à duração da carga, da massa específica, do teor de umidade e da temperatura da madeira.

As propriedades físicas e mecânicas das espécies de madeira (RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, COMPRESSÃO, CISALHAMENTO, ETC.) são determinadas por meio de ensaios em amostras sem defeitos. No Brasil, estes ensaios são descritos no anexo B da NORMA BRASILEIRA NBR 7190 / 1997. Passou-se de uma norma determinista de tensões admissíveis para uma norma probabilista de estados limites. A principal vantagem desta mudança é a possibilidade de discriminar a quantidade e a influência de cada uma das variáveis básicas sobre a segurança das estruturas, coisa impossível de ser feita com o método das tensões admissíveis.

O importante é entender que algumas madeiras são mais apropriadas para estruturas pois são mais resistentes. E outras são ótimas para vedação por serem leves e mais fáceis de serem trabalhadas. Através da normalização há um avanço no sentido de facilitar o emprego da madeira pelos profissionais e fixar as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas correntes de madeira. As classes de resistência das madeiras têm por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas,

orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais.

TABELA 4.8 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS CONÍFERAS

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	Resistência à compressão paralela às fibras MPa	Resistência ao cisalhamento // às fibras MPa	Valor médio do módulo de elasticidade // às fibras MPa	Densidade básica Kg/m³	Densidade aparente Kg/m³
C 20	20	4	3500	400	500
C 25	25	5	8500	450	550
C 30	30	6	14500	500	600

FONTE: NORMA BRASILEIRA **NBR 7190 / 1997.**

TABELA 4.8 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS CONÍFERAS.
FONTE: NORMA BRASILEIRA **NBR 7190 / 1997.**

TABELA 4.9 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS DICOTILEDÔNEAS

Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	Resistência à compressão paralela às fibras MPa	Resistência ao cisalhamento // às fibras MPa	Valor médio do módulo de elasticidade // às fibras MPa	Densidade básica Kg/m³	Densidade aparente Kg/m³
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

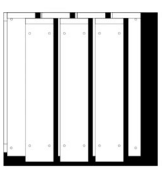
FONTE: NORMA BRASILEIRA **NBR 7190 / 1997.**

TABELA 4.9 - CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS DICOTILEDÔNEAS**.**
FONTE: NORMA BRASILEIRA **NBR 7190 / 1997.**

NORMAS DA COPANT - os valores das propriedades mecânicas (flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, cisalhamento e dureza Janka) costumam ser apresentados em condição verde (saturada) e climatizada (com teor de umidade de aproximadamente 12%).

As madeiras utilizadas nesta pesquisa para a construção dos protótipos entrariam nas seguintes categorias: no grupo das dicotiledôneas entrariam a bracatinga na classe C20 ou C30 e o ipê na classe C40 ou C50. No grupo das coníferas, os pinus entrariam na classe C20 ou C30. As variações decorrem da variação nas propriedades das espécies diferentes dentro de um mesmo gênero.

As seguintes propriedades são fundamentais para o correto dimensionamento de



peças estruturais de madeira:

Módulo de elasticidade (E): Elasticidade é a propriedade da madeira sólida que possibilita que esta retorne a sua forma original, depois de removida a carga aplicada que causou certa deformação. Cargas aplicadas acima do limite proporcional de elasticidade causarão deformações plásticas irreversíveis, seguida pela ruptura do material. Quanto mais alto o E, mais alta será a resistência do material, mais baixa a sua deformabilidade e melhores as suas vantagens como material estrutural.

TABELA 4.10 - VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS DICOTILEDÔNEAS NATIVAS E DE REFLORESTAMENTO – FONTE: NBR 7190 / 1997

Nome comum	**Nome científico**	**1)** ρ_{ap} $_{(12\%)}$ Kg/m3	**2)** f_{co} MPa	**3)** f_{t0} MPa	**4)** f_{t90} MPa	**5)** f_v MPa	**6)** E_{c0} MPa	**7)** n
E. Dunnii	*Eucaliptus dunnii*	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029	15
E. Saligna	*Eucaliptus saligna*	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14933	67
Ipê	*Tabebuia serratifolia*	1068	76,0	96,8	3,1	13,1	18011	22
Jatobá	*Hymenaea* spp	1074	93,3	157,5	3,2	15,7	23607	20
Mandioqueira	*Qualea* spp	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18971	16
Quarubarana	*Erisma uncinatum*	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9067	11
Sucupira	*Diplotropis* spp	1106	95,2	123,4	3,4	11,8	21724	12
Bracatinga	*Mimosa scabrella*	650 a 810	54,5	-	-	-	-	-

1) $\rho_{ap\,(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.
2) f_{co} é a resistência à compressão axial / paralela às fibras.
3) f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras.
4) f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras.
5) f_v é a resistência ao cisalhamento.
6) E_{c0} é módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.
7) n é o número de corpos de prova ensaiados.

TABELA 4.10 - VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS DICOTILEDÔNEAS NATIVAS E DE REFLORESTAMENTO.
FONTE: NBR 7190 / 1997.

TABELA 4.11 - VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS CONÍFERAS NATIVAS E DE REFLORESTAMENTO – FONTE: NBR 7190 / 1997

Nome comum	**Nome científico**	**1)** ρ_{ap} $_{(12\%)}$ Kg/m3	**2)** f_{co} MPa	**3)** f_{t0} MPa	**4)** f_{t90} MPa	**5)** f_v MPa	**6)** E_{c0} MPa	**7)** n
Pinho do Paraná	*Araucária angustifolia*	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225	15
Pinus elliottii	*Pinus elliottii var. elliottii*	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889	21
Pinus taeda	*Pinus taeda L.*	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304	15

TABELA 4.11 - VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS CONÍFERAS NATIVAS E DE REFLORESTAMENTO.
FONTE: NBR 7190 / 1997.

E quando a madeira não possui as características desejadas?

A madeira sólida apresenta uma série de limitantes ao uso, como, por exemplo, dimensões limitadas, defeitos como nós e inclinação da grã, etc., e anisotropia. A solução nesse caso são os produtos ***engenheirados***, madeira transformada ou reconstituída – que atualmente formam uma ampla gama de opções, desde painéis até vigas e pilares laminados colados e de tamanhos praticamente ilimitados –, possibilitando o aumento da resistência mecânica e diminuição da instabilidade dimensional.

MADEIRA X ESTRUTURA

A forma de emprego mais imediata da madeira é através do aproveitamento do fuste descascado roliço; que pode ser utilizado como vigas, pilares e também como paredes através do empilhamento das peças. Independente de estar ainda em forma de tora ou serrada e processada, a madeira pode ser considerada um material estrutural em origem, pois sofre ação dos ventos durante toda a sua existência e é imediatamente posta em carga numa obra, diferentemente do concreto armado, por exemplo, que tem um tempo de cura.

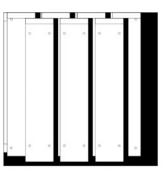
A construção de madeira exige uma concepção simples e sistemática da estrutura, do começo ao fim, estendendo-se até os detalhes. Passou-se de uma construção tradicional de madeira à construção calculada de madeira, que integrou o aço. Esse passo exigiu que se completassem os valores da experiência com métodos de dimensionamento confiáveis e com novos sistemas estáticos.

A situação do uso da madeira em estruturas na Europa, de acordo com Weidermann (1998), “com base nas pesquisas, foram amplamente normalizadas as exigências de qualidade. A normalização e a homologação têm permitido, por sua vez, implantar um controle de qualidade, assegurando estruturas de madeira impecáveis, mesmo nos casos de composições complicadas”.

A tecnologia tem ampliado a gama de novos produtos derivados da madeira, seja em diferentes formas, seja em combinação com outros materiais, visando sempre o melhor desempenho do produto ao fim a que se destina: à otimização do uso da matéria prima e à redução dos custos de processamento. Através do uso de conectores dentados as madeiras se juntam sem enfraquecimento da seção ou entalhes complicados. As novas junções por colagem possibilitam a produção de vigas laminadas coladas, praticamente sem limite de tamanho, o que não era possível fazer com madeira maciça.

Principais problemas enfrentados por engenheiros e arquitetos no uso de madeiras em construções e recomendações

Podemos apontar uma série de limitantes e dificuldades para o uso da madeira



por arquitetos e engenheiros no Brasil, mas o principal problema é sem dúvida a falta de conhecimento sobre o material. Na Amazônia existem cerca de 3.000 espécies identificadas de madeiras tropicais das quais conhecemos muito pouco acerca das propriedades e de um número reduzido de espécies, cerca de 300 catalogadas pelo IPT (CB25) e tantas outras por outras normas. O IPT sugere que madeiras muito utilizadas sejam substituídas por madeiras com características semelhantes, para possibilitar o manejo sustentável, aplicação prática do conceito de agrupamento de espécies por uso final.

Outro problema é que, atualmente, a despeito da existência das normas de classificação para coníferas e folhosas na ABNT, a classificação só é praticada na madeira destinada à exportação para países desenvolvidos. No mercado nacional a madeira é vendida de forma não selecionada, ou então, segundo classificações genéricas como “primeira”, extra etc., que frequentemente são motivos de discordância entre compradores e vendedores. A falta de padronização é uma queixa frequente do setor de construção civil, apontando para possíveis medidas: a revisão das normas e especificações disponíveis, sob a perspectiva do desempenho do material, divulgação das normas junto aos setores de produção, comércio e utilização da madeira e treinamento de classificadores e inspetores (IPT, 2003).

A falta de normalização das seções transversais das peças usadas em estruturas é outro problema sério com relação ao projeto de estruturas de madeira. Além do fato de serem dadas em polegadas, existe uma infinidade de tamanhos para caibros, vigotas, pranchões etc.

Recomendações para o projeto de estruturas e componentes de madeira:

1. Projeto e especificação de Madeira: Procurar adequar o projeto às características tecnológicas da madeira e, escolhida a madeira para um certo uso, recomenda-se especificá-la por seu nome popular ou comercial associado ao nome científico;
2. A utilização de classes de resistência – NBR 7190 que estabelece as três classes de resistência para coníferas C20, C25 e C30 e quatro classes para folhosas C20, C30, C40 e C60 – elimina a necessidade de especificação da espécie da madeira, pois em um projeto estrutural desenvolvido de acordo com essa norma bastará a verificação das propriedades de resistência de um lote de peças em relação à classe de resistência especificada no projeto, mas esta classificação não leva em conta fatores plásticos como cor e textura, bem como sobre madeiras naturalmente permeáveis ou resistentes a soluções preservantes;
3. Aquisição: Adquirir madeira somente de empresas que possam comprovar a origem da mesma, seja através de certificação legal ou de plano de manejo aprovado pelo Ibama, com a apresentação de: Nota fiscal e documento de transporte – Ibama;
4. Não recorrer somente a espécies tradicionais, buscando alternativas, com as mesmas características técnicas, que no momento não estejam sob pressão de exploração,

desta forma, agregando valor a espécies pouco conhecidas;

5. Madeiras verdes – com teor de umidade superior a 20% – não devem ser utilizadas para construções (somente ocorrem alterações das propriedades elásticas e mecânicas devido ao teor de umidade da madeira entre 0%U e PSF. Acima deste ponto, não há qualquer alteração);

6. Para se obter valores comparáveis, as madeiras devem ser testadas a teores de umidade padronizados (normalmente a 12 ou 15% U). E, o teor de umidade adotado deve sempre ser especificado;

7. Os testes devem ser executados em salas climatizadas, com temperatura e umidade relativa padrões e constantes (20ºC e 65% U);

8. Verificar a possibilidade de reuso das peças, o que significa economia de dinheiro e matéria prima;

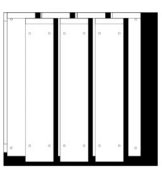
9. A resolução do Conama – Conselho Nacional do Maio Ambiente n.º 307 – considera os geradores de resíduos da construção civil responsáveis pelo seu destino. Eles deverão ter como objetivo primordial a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, reutilização, reciclagem e destinação final (IPT, 2003);

10. Projetar componentes avaliando as etapas produtivas, as dimensões dos materiais e as possibilidades de industrialização aberta, para evitar desperdícios e obter ganhos de escala, tornando os componentes de madeira acessíveis;

11. Prever o desenvolvimento de pesquisas exploratórias, com as etapas de projeto comprometidas com o *saber fazer* e a intenção plástica que caracteriza a arquitetura.

Sugestões de abordagens em pesquisas que levem a soluções dos problemas apontados:

O ideal é que se realizem ensaios construtivos e não apenas ensaios laboratoriais. Pesquisas com estruturas e componentes de madeira, com peças (vigas, pilares, painéis, etc.) em suas dimensões reais, postos em carga, sobre uma laje de reação, por exemplo, são necessários, pois não é possível avaliar o desempenho do material apenas utilizando corpos de prova; e isso se deve ao fato de que a estrutura da madeira (traqueídeos, vasos e fibras) não muda de escala junto com os modelos e maquetes. Portanto, para realmente testar a infinidade de madeiras e seu potencial tecnológico (madeira maciça e produtos engenheirados como vigas laminadas coladas) é preciso desenvolver pesquisas que prevejam a construção e avaliação dos elementos construtivos em escala real. E, mais do que realizar ensaios, é necessário primeiro desenvolver o projeto dos componentes, refletir sobre a pertinência de sua forma e seu conteúdo, sobre sua essência e materialidade e, principalmente, sobre a contribuição efetiva que terão na arquitetura, que é essencialmente a construção do espaço socialmente ocupado.



4.6.2 Princípios para a concepção e execução de componetes e projetos arquitetônicos de madeira

Alguns princípios são frequentemente apresentados na literatura técnica. Entre elas, Bittencourt (1995, p. 2) destaca as regras gerais permitindo satisfazer as exigências de durabilidade e de habitabilidade pelo CTBA[12], e os princípios de elaboração e de execução das construções de madeira enumeradas pela LIGNUM[13]. O CTBA resume, segundo a autora, em uma única frase o princípio básico da construção de madeira:

> "A água não deve penetrar na madeira, mas se penetrar, deve ser eliminada rapidamente".

A ênfase dada à ação da água, líquida ou vapor, na construção em madeira não é excessiva: sem nenhuma dúvida este fator e o fenômeno físico (variação dimensional) dele decorrente é o ponto chave na concepção e execução em madeira. Algumas regras, citadas pela CTBA (1990, p. 36), podem auxiliar a tomar decisões acertadas de projeto: Estudar a geometria dos elementos expostos às intempéries e às ligações (junções) garantindo que a água seja sistematicamente eliminada; nos projetos arquitetônicos, prever a proteção das paredes e pisos da ação da água; evitar e eliminar a condensação nas paredes; garantir uma boa ventilação, e assim por diante.

As construções de madeira podem ter uma durabilidade muito grande; e o que vai determinar essa durabilidade é, em primeiro lugar, questões de projeto, pois existem muitos detalhes construtivos que proporcionam a proteção das peças, como afastar a madeira do solo através de uma base mineral, drenar adequadamente o terreno, desenhar pingadeiras, garantir a ventilação eficiente das peças e evitar zonas de acúmulo de umidade.

Mas, além desses cuidados com a umidade, Bittencourt (1995, p. 4) propõe que se repense os princípios de concepção para as edificações de madeira. Para se projetar utilizando a madeira como matéria prima é necessário compreender uma série de princípios, a maioria deles já discutida anteriormente nesta pesquisa. O primeiro deles é a dissociação entre as partes da edificação. Isso já foi tratado anteriormente. Mas, em termos de projeto, é fundamental conhecer não apenas as diferenças entre os sistemas viga-pilar e entramados, por exemplo, mas mais que isso, compreender que o projeto com madeira deve abranger a materialidade técnica da construção e abarcar o sentimento de tectônica, de conexão entre as partes com uma finalidade declaradamente artística.

Na construção tradicional de alvenaria a parede é um elemento quase abstrato, a estrutura e as paredes muitas vezes aparentam ser um único componente, as partes não possuem uma autonomia funcional clara. Isso fica claro nas representações dos projetos,

[12] CTBA – CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L' AMEUBLEMENT. Maisons à ossature bois ou à colombage. Paris, Cahier du CTBA, n. 170, 1990.

[13] LIGNUN – UNION SUISSE EN FAVEUR DU BOIS. Documentation Bois. Zurich. Office Romand, 1960.

em que duas linhas paralelas dizem respeito muitas vezes a estrutura e vedação ao mesmo tempo. De acordo com Bittencourt (1995, p. 8), "o fechamento[14] e o paramento[15] adquirem nas construções em madeira um valor e significado inexistente nos sistemas construtivos em alvenaria, pois é necessário definir, especificar e detalhar estas partes do edifício [...]". Ironicamente, esta autonomia das partes, que pressupõe uma liberdade de composição, em vez de estimular o desenvolvimento de tecnologia construtiva com madeira, funciona como um empecilho ao profissional desabituado a pensar em soluções de articulação entre partes, ligações, interfaces, etc. A alvenaria, por ser amplamente difundida nos canteiros de obra no Brasil, desobriga os arquitetos a efetuarem um projeto mais detalhado, com a preocupação de aproximar o desenho (instrumento gráfico) à realidade da produção e da obra.

Embora pareça elementar, a dissociação entre as partes exige do profissional um conhecimento pormenorizado do material e derivados, dos materiais passíveis de serem conjugados com a madeira, dos detalhes construtivos, principalmente das ligações, dos sistemas e do processo de produção dos componentes. Por outro lado, o princípio da dissociação dos componentes torna os sistemas construtivos de madeira leves e flexíveis. Tecnicamente, os fechamentos podem ser considerados permeáveis, pois esta aptidão construtiva confere a estes sistemas a facilidade de serem modificados, dando-lhe a capacidade de evoluir formalmente (BITTENCOURT, 1995, p. 9).

Outro princípio importante é o rigor de projeto associado ao rigor de produção ou execução, e isto inclui indubitavelmente o processo industrial dos componentes. Para isto, o detalhe e a clareza estrutural devem estar presentes desde o início do projeto, sendo uma ferramenta de trabalho na elaboração do projeto. Como nós ainda não temos um *saber fazer* no canteiro, este terá que ser construído inicialmente no papel.

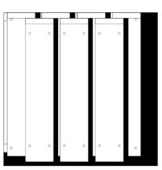
O rompimento com os sistemas construtivos tradicionais em madeira, e com aqueles convencionais e alvenaria, exige uma nova prática técnica que implica numa nova prática arquitetônica, refletida em sua forma e em seus produtos (BITTENCOURT, 1995, p. 6). E a ideia de produto está associada à racionalização construtiva e aos métodos sistêmicos, que ao permitirem o controle das operações parciais, garantem o desempenho do todo.

Portanto, o método de projeto de componentes e sistemas de madeira, por pretender à industrialização, deve considerar dois conceitos, que são frequentemente deixados em segundo plano no método convencional: a fabricação e a montagem. Assim, o projeto de componentes deverá prever desenhos para a execução de componentes em fábrica e desenhos para a montagem em canteiro.

Com relação à expressão arquitetônica, espera-se que a madeira, uma vez

[14] Vedação, parede.

[15] Adorno, enfeite. Mas paramento neste texto significa também as transições ou interfaces entre as vedações de madeira e as esquadrias, forros, batentes, etc.



incorporada à indústria da construção nacional, encontre um caminho próprio, distante da arquitetura norte-americana, em que um mesmo sistema construtivo é “vestido com diferentes roupagens”, muitas vezes negando completamente o material que lhe deu origem. Se temos que beber em alguma fonte, bebamos nas belas casas de tábuas e mata-juntas da arquitetura popular, nas obras de Lúcio Costa, Zanine Caldas, Sérgio Rodrigues e de tantos arquitetos brasileiros contemporâneos que realizam projetos surpreendentes como os executados pela ITA Construtora.

Conclui-se, amiúde, que o projeto de componentes, peças-sistema e sistemas de madeira, deve requerer uma nova prática arquitetônica de projeto, possível em parte pelo desenvolvimento de uma metodologia própria e, em igual medida, pelo saber fazer adquirido ao longo do tempo.

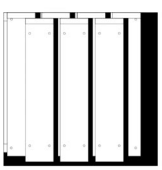
4.7 RESUMO E CONCLUSÕES CAPÍTULO IV:

Sobre a utilização do sistema de tábuas e mata-juntas em projetos contemporâneos são muitas as possibilidades. Trata-se de um esquema flexível que permite evoluções e releituras. Atualmente, com a disponibilidade de madeiras de seção mais reduzida, ficaria difícil e oneroso extrair tábuas de 30 cm de largura, bem como comprimentos iguais ou superiores a 250 cm. Por isso, torna-se necessário projetar elementos constituídos por peças menores de madeira. As tábuas podem ter 20, 10 e até 8 cm de largura, mas, dependendo da espécie utilizada, não poderão ter comprimentos superiores a 100 cm, sob o risco de empenarem, encanoarem ou racharem. Os montantes, por sua vez, deverão ter seção reduzida, não mais os 10 x 10 cm, nem os 12 x 12 cm, mas peças de 3 x 10 ou 4 x 10 cm. O interessante seria utilizar as tábuas e mata-juntas, por toda sua expressão arquitetônica e funcionalidade técnica com relação às águas das chuvas e ao mesmo tempo por resolver as questões de isolamento térmico.

Sobre o sistema plataforma, a maior vantagem é o fato

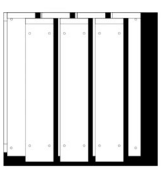
de utilizar peças de madeira de seção reduzida, geralmente 4 x 9 cm. Dependendo da madeira disponível, o maior empecilho é quanto à utilização de peças longas, com comprimentos iguais à altura do pé-direito. Uma solução para este problema seria criar uma linha de vigas intermediária, por exemplo, à meia altura nas paredes, o que reduziria os comprimentos das peças pela metade. Um problema deste sistema é um certo engessamento da posição das paredes, uma vez que estrutura e vedação trabalham juntas, e os montantes não são alterados de posição tão facilmente. Uma alternativa para este problema seria o desenvolvimento de peças-sistema que utilizassem o princípio estrutural do sistema plataforma, mas segmentado em partes ou componentes.

Os painéis ou componentes de madeira apresentam-se como alternativa promissora por possibilitarem – através de camadas de materiais, intercaladas com camadas de ar, barreiras de vapor e demais barreiras isolantes –, corresponder às necessidades de conforto térmico e conforto acústico dos usuários. Além disso, se tiverem dimensões e desenho adequados às características das madeiras, terão desempenho estrutural eficiente. E, por serem passíveis de serem pré-fabricados e chegar prontos à obra apenas para operações de montagem a seco e por serem mais leves e fáceis de transportar do que componentes de outros materiais, são a principal alternativa para a proposta tecnológica desta tese.



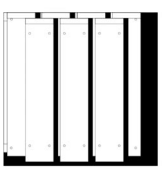
CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO - PROJETO E EXECUÇÃO DE PEÇAS-SISTEMA



“A madeira é uma escola”.
José Zanine Caldas[1]

[1] Março de 1985 (EMY, 1985, p. iii).



5 ESTUDO DE CASO - PROJETO E EXECUÇÃO DE PEÇAS-SISTEMA

5.1 MATERIAL E MÉTODOS

O capítulo 5 apresenta a parte projetual e aplicativa da pesquisa. Propõe-se uma alternativa para construção de paredes de madeira. Através da apropriação do metaprojeto construtivo – retícula projetual, modelos de categoria e coordenação modular – apresenta-se solução de projeto para componentes (painéis) constituídos por peças curtas (com comprimentos inferiores a 70 cm) de madeira maciça. Os componentes são passíveis de serem produzidos dentro de um esquema de pré-fabricação aberto, com uma propriedade aditiva que permite que se construa uma infinidade de longitudes e alturas com apenas 4 componentes para paredes de vedação e/ou estruturais, passíveis de serem montadas a seco; por fim, demonstra a sua viabilidade através da construção de protótipos com três espécies: uma nativa local, a bracatinga (*Mimosa scabrella*); uma exótica de reflorestamento, o pinus (*Pinus* spp.); e uma nativa amazônica, o ipê (*Tabebuia* spp.).

Como mencionado anteriormente, trata-se de uma pesquisa exploratória e empírica. Exploratória pois avança sobre um terreno ainda pouco conhecido – convergência de áreas distintas do *saber fazer* –, não com um esforço cartesiano de o mapear, mas procurando o tornar mais claro e atraente. Empírica porque pretende fazê-lo através da aplicação da pesquisa bibliográfica, realizada nas diferentes áreas, em um projeto real, não de uma edificação de madeira, mas de peças-sistema passíveis de serem utilizadas nos mais diversos projetos de arquitetura e associados aos mais diversos materiais e tecnologias. Os resultados, portanto, serão mais qualitativos do que quantitativos.

Para atender aos objetivos propostos, foram enumerados alguns condicionantes e procedimentos, a saber:

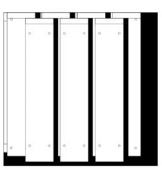
5.1.1 O produto, etapas do trabalho e equipamentos

O PRODUTO

Componentes para construção de paredes estruturais e/ou de vedação.

Os componentes (dentro do modelo de categoria de planos verticais) selecionados para a pesquisa e desenvolvimento, são:

Vedações verticais (paredes cegas).



PROJETO

O projeto seguiu as seguintes etapas:

1) Estudo preliminar: croquis, desenhos e maquetes em escalas adequadas;

2) Ante Projeto;

3) Projeto Executivo e Detalhamento;

4) Orçamento / Acompanhamento de produção dos protótipos em pequena escala.

Os componentes serão projetados e construídos visando a otimização do uso da matéria prima, velocidade de montagem, custos, peso e qualidade formal e de acabamento.

DESENVOLVIMENTO

Construção de protótipos:

Para a construção de protótipos em escala 1:1 foram selecionados madeiras de três espécies: uma nativa local, a bracatinga (*Mimosa scabrella*); uma exótica de reflorestamento, o pinus (*Pinus* spp.); e uma nativa amazônica, o ipê (*Tabebuia* spp.). A primeira foi comprada já seca de um marceneiro de Campina Grande do Sul, e as duas últimas compradas pela própria marcenaria onde os protótipos foram construídos. Para averiguar se tratavam-se efetivamente das espécies escolhidas, amostras foram identificadas pelo Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR. Todas as três espécies chegaram em peças ainda brutas e foram processadas na marcenaria.

ANÁLISE

Através do desenvolvimento das etapas produtivas – pré-fabricação e montagem e da coleta de dados durante a produção –, serão:

1) sistematizadas as etapas produtivas para os componentes, com os respectivos materiais, ferramentas, equipamentos e mão de obra necessários para sua produção em escala artesanal;

2) analisado o tempo de construção (montagem), por metro quadrado de parede, comparando-se com parede de alvenaria;

3) analisado o peso próprio dos componentes por metro quadrado de parede, comparando-se com parede de alvenaria.

Com relação aos custos, não existe possibilidade de, com este estudo, apresentar dados fidedignos, pois não houve economia de escala na produção dos componentes. No entanto, uma tabela será apresentada, a título de ilustração, com o valor pago pela madeira de diferentes espécies e pela mão de obra, nesta escala artesanal em que foram desenvolvidos. A tabela também mostrará, a partir de dados da Secretaria de Obras Públicas, o valor aproximado por m^2 de uma parede de alvenaria. Mas o que precisa ficar claro é que o custo ambiental de uma parede de alvenaria é muito mais alto do que o custo ambiental de

uma parede de madeira.

Equipamentos / materiais utilizados:

Hardware e *softwares*: *word*, *excel*, *in design*, corel e *photoshop* para executar os desenhos, textos e para tratamento das imagens;

Madeira balsa / cola / estilete para as maquetes em escalas 1:5 e 1:10;

Máquina fotográfica para registrar todo o processo;

Madeira e equipamentos e/ou serviços de marcenaria para a execução dos protótipos na escala 1:1.

5.1.2 Prerrogativas de projeto

1-) Desenvolver um sistema aberto e flexível para construção de paredes;

2-) Apresentar alternativa para o Modelo de Categoria Planos Verticais (paredes cegas) dentro do metaprojeto construtivo (OLIVERI, 1972);

3-) Projetar peças-sistema, ou seja, componentes para montagem de paredes estruturais e de vedação concomitantemente, ou apenas de vedação – neste caso associados a estruturas de madeira, aço ou concreto. Sua utilização, portanto, é voltada para construção de paredes estruturais e vedação de casas e outras edificações de pequeno e médio porte, de um a três pavimentos de altura ou, quando apenas para vedação de vãos com estrutura já construída com outra tecnologia, em edificações com mais de três pavimentos;

4-) Construir os componentes utilizando os seguintes materiais: madeira maciça de três espécies escolhidas (bracatinga, pinus e ipê), pregos e parafusos;

5-) Utilizar apenas peças curtas de madeira (comprimentos inferiores a 70 cm);

6-) Evitar ou minimizar a utilização de adesivos/colas, venenos e preservantes;

7-) Propor componentes que, associados entre si, possibilitem o fechamento de uma infinidade de vãos em longitude e altura, garantindo liberdade arquitetônica;

8-) Propor componentes que garantam flexibilidade na escolha do acabamento interno das paredes, que poderá ser de peças de madeira maciça, de painéis laminados ou particulados, de gesso acartonado etc.;

9-) Prever que os componentes sejam passíveis de serem pré-fabricados dentro de um esquema aberto;

10-) Garantir que a montagem das paredes seja feita a seco, sem o uso de argamassas;

11-) Garantir através da geometria das peças que não acumulem umidade;

12-) Possibilitar que os componentes sejam transportados por uma única pessoa e em veículos domésticos.

13-) Garantir que os componentes construtivos possam ser utilizados com uma ou mais quadrículas de projeto, que utilize coordenação dimensional (módulo decimétrico / adequação às normas de coordenação modular brasileiras), prevendo os ajustes e tolerâncias para que não sejam necessárias modificações e improvisações na obra.

5.2 CONCEPÇÃO E DESENHO – PROPOSIÇÃO DE UM CAMINHO

O sistema a ser desenvolvido se baseia numa conjugação dos painéis de madeira maciça apresentados anteriormente nesta tese e, ao mesmo tempo, estabelece uma apropriação de algumas características do sistema plataforma, segmentando-o em partes menores. Os montantes do sistema plataforma são decompostos em peças menores, que, unidas entre si, garantem ao sistema proposto resistência e estabilidade adequadas.

Os painéis ou componentes, que neste trabalho serão também chamados de peças-sistema, serão projetados e construídos visando a otimização do uso da matéria prima, velocidade de montagem, controle térmico e alta qualidade formal e de acabamento. Através do desenvolvimento das etapas produtivas – pré-fabricação, montagem e da coleta de dados durante a produção –, serão: a) sistematizadas as etapas produtivas para os componentes, com os respectivos materiais, ferramentas, equipamentos e mão de obra necessários para sua produção; e b) apropriados os custos de produção numa escala artesanal que possa subsidiar a formulação de desempenho econômico com o ganho de escala. A proposta técnica deverá, portanto, levar a melhorias em: qualidade do projeto arquitetônico, qualidade de produção das peças-sistema, rapidez na montagem da obra e facilidade em sua posterior manutenção. Sendo considerada como quesito fundamental deste produto a qualidade plástica e funcional dos componentes, que pode ser resumida em bom desenho e capacidade de facilitar o processo de projeto arquitetônico, construção e manutenção da obra.

A possibilidade de expansão e rearranjo dos espaços são características de sistemas construtivos abertos. Estes sistemas destacam a flexibilidade como capacidade de adequação da edificação, ou parte desta, às condições e exigências de seu usuário, aos métodos de produção e aos materiais construtivos disponíveis localmente.

1º Proposição de painéis-módulos

Em um primeiro momento, o esforço deste trabalho se concentrou em encontrar dimensões para os painéis, adequando as seções transversais das peças do sistema plataforma às características da madeira local estudada, a bracatinga, que pode ser entedida como a madeira de referência deste estudo. Para ter um bom aproveitamento do material, as peças deveriam ser pequenas, com seção transversal de 3 x 10 cm ou inferiores e comprimentos de 100 cm ou inferiores. Consequentemente os painéis seriam menores do que os estudados

nas universidades brasileiras anteriormente, que têm, todos eles, a altura do pé-direito.

5.2.1 Sobre o material – Características e suprimento da madeira

Propriedades Físicas e Mecânicas

ESPÉCIE	Massa específica aparente a 15%U (g/cm³)	CONTRAÇÕES (%)		COMPRESSÃO AXIAL (PARALELA ÀS FIBRAS) LIMITEDE RESISTÊNCIA DA MADEIRA A 15% U (Kgf/cm²)	FLEXÃO ESTÁTICA		DUREZA JANKA TOPO (Kg)
		Radial	Tangencial		LIMITE DE RESISTÊNCIA DA MADEIRA A 15% U (Kgf/cm²)	Módulo de Elasticidade – mad. Verde (Kgf/cm²)	
Ipê	**0,92 a 1,08**	6,60	8,00	911	1.775	204.543	1.194
Bracatinga	**0,65 a 0,81**	1,77	3,93	545	982	127.346	981
Pinus	**0,48**	3,40	6,30	321	710	65.900	197

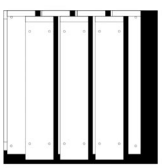
TABELA 5.1 - VALORES REFERENTES ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS ESTUDADAS. FONTE: IPT (1984).

Como foi dito anteriormente, a massa específica aparente determina uma série de propriedades físicas e mecânicas da madeira, cujo conhecimento é essencial para direcionar a sua utilização na construção. Conforme pode ser observado na tabela acima, quanto maior a massa específica, maior a resistência e a dureza da madeira, bem como é maior o módulo de elasticidade. A opção de construir os protótipos com ipê e pinus, para compará-los com o primeiro protótipo construído com bracatinga, pretendia averiguar o quanto as peças-sistema seriam flexíveis com relação à matéria prima com características e propriedades heterogêneas. Consequentemente, os produtos finais demonstrariam características e propriedades diferentes com relação: ao preço, ao peso, à resistência e à durabilidade.

Portanto, os primeiros componentes foram construídos de Bracatinga (*Mimosa scabrella*), que é uma espécie nativa, folhosa, de *média densidade*, suprimento local: espécie arbórea, heliófila, da família Mimosaceae, ocorre na região sul do Brasil (MAZZA *et al*., 2000). A bracatinga é uma espécie característica e exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrofila Mista (Florestas com *Araucária angustifólia*); em outras palavras, a bracatinga constitui parte significativa dos sub-bosques das araucárias. De acordo com Fabrowsk *et al.* (2005),

> a bracatinga é uma espécie pioneira[2], a qual se destaca pela abundância e rápido crescimento, atingindo 20 m de altura ou mais, algumas vezes com tronco de até 40 cm de diâmetro à altura do peito (DAP). Atualmente é empregada, sobretudo como fonte de biomassa, lenha e carvão.

[2] Formação florestal pioneira é constituída por uma espécie que nasce primeiro, cresce mais rápido, tornando o terreno e suas condições apropriados para que as demais árvores de crescimento mais lento, como a araucária, se desenvolvam.



Quanto às características organolépticas, segundo Fabrowski *et al.* (2005),

> a bracatinga contém regiões mais escuras tendendo ao marrom (Marchiori, 1980). O cerne é pardo-claro-acinzentado com tonalidade rósea. Alburno diferenciado, bege-claro levemente rosado. Textura média a grosseira, grã direita, sem gosto ou cheiro, superfície moderadamente áspera ao tato e sem brilho ou brilho pouco acentuado (Reitz *et al.*, 1983; Inoue *et al.*, 1984). O alburno ocupa cerca de 35% da seção transversal. A massa específica a 15% de umidade é de 0,662 g/cm^3 (Richter e Charvet, 1973) e a 12%, 0,77 g/cm^3 (Inoue *et al.*, 1984).

O sistema de manejo atual da bracatinga, voltado basicamente à produção de lenha e carvão, produz uma porcentagem pequena (1 a 2%) de toras de diâmetro suficiente para industrialização em serrarias. Segundo Schaitza (2009), modificações no manejo[3] dos bracatingais, com o alongamento da rotação de algumas árvores selecionadas, pode aumentar significativamente o volume de toras passíveis de desdobro e utilização na indústria madeireira. Esse uso diferenciado de parte dos bracatingais é interessante para pequenos produtores rurais, pois o valor de toras e de madeira serrada é superior ao valor da lenha e do carvão, contribuindo, portanto, para a sustentabilidade de suas propriedades e das florestas. A bracatinga possui – apesar de a madeira serrada constituir um subproduto de sua produção – enormes vantagens, como o baixo custo inicial de manejo: 1/10 do valor inicial necessário para plantar eucalipto, por exemplo.

Quanto ao suprimento de matéria prima, segundo Schaitza (2009), há muita bracatinga fora da região metropolitana de Curitiba, em praticamente todo o Centro Sul do Estado, onde é encontrada a Floresta Ombrófila Mista. Na região metropolitana de Curitiba há 41 mil ha[4] plantados com bracatinga. Se considerarmos que ela é manejada em ciclos de 7 anos, com produção de 15 m^3/ha.ano, temos uma produção anual de 41000 x 15 m^3 usados para lenha. Novamente, partindo daquela estimativa de 1% com possibilidade de processamento mecânico em serraria, teríamos 410 x 15 = 6.150 m^3 de oferta de toras. Se para cada m^3 de toras, fizermos 0,25 de madeira para montagem de painéis, teremos 1.537,5 m^3 serradas e processadas em peças para painéis. Se para cada 1 m^2 de superfície de painel de parede são usados 0,08 m^3 desse material, é possível construir 19.218,75 m^2 de painéis por ano, dentro de um manejo sustentável.

A bracatinga (*mimosa scabrella*) é moderadamente densa (0,65 a 0,81 g/cm^3), entre 12 e 15% de umidade (CARVALHO, 2003, p. 229), o que a transforma numa uma ótima opção de uso tanto em elementos construtivos, quanto na produção de móveis, promovendo

[3] Manejo: Interferência planejada e criteriosa do homem no sistema natural, para produzir um benefício ou alcançar um objetivo, favorecendo o funcionalismo essencial desse sistema natural. É baseado em método científico, apoiado em pesquisa e em conhecimentos sólidos, com base nas seguintes etapas: observação, hipótese, tese da hipótese e execução do plano experimental. Disponível em: <http://www.prbiodiversidade.pr.gov.br/modules/glossario>. Acesso em: 15/01/2009.

Manejo Florestal: Ramo da ciência florestal que trata da prévia aplicação de sistemas silviculturais que propiciem condições de uma exploração anual ou periódica dos povoamentos, sem afetar-lhes o caráter de patrimônio florestal permanente. Disponível em: <http://www.prbiodiversidade.pr.gov.br/modules/glossario>. Acesso em: 15/01/2009.

o uso de espécie nativa. Além disso, a bracatinga não é tão suscetível ao ataque de agentes xilófagos quanto o pinus. As desvantagens de utilização desta espécie são: 1-) tensões de crescimento e secagem; 2-) conicidade acentuada que resulta em peças curtas no desdobro; 3-) problemas acentuados com torção, empenamento e rachaduras quando utilizadas peças com mais de 1 metro de comprimento e tábuas com mais de 10 cm de largura.

O Ipê (*Tabebuia* spp.*)* é madeira densa, com massa específica aparente de 0,92 a 1,08 g/cm^3, a 15% de umidade (MAINIERI; CHIMELO, 1989 *apud* CARVALHO, 2003), o que torna seu uso eficiente em peças estruturais; 1-) por ser resistente ao ataque de agentes xilófagos, o que garante uma durabilidade de mais de 80 anos quando exposta ao tempo; 2-) apresentar propriedades organolépticas como textura fina à média e cor pardo acastanhada, que com o tempo vai se tornando acinzentada, muito interessantes para projetos de arquitetura. Os problemas associados à utilização do Ipê são: 1-) difícil trabalhabilidade; 2-) maior peso dos componentes em comparação aos componentes de bracatinga ou pinus; e 3-) trata-se de uma madeira muito valorizada, cara e de baixa oferta por tratar-se de madeira tropical. O ipê foi escolhido, neste estudo, por mais uma razão: como as peças que constituirão os componentes serão peças curtas, há possibilidade de utilização de peças descartadas na produção de produtos para exportação.

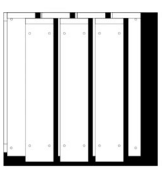
O pinus (*Pinus* spp.) é madeira de baixa densidade, com massa específica aparente variando em torno de 0,40 – 0,50 g/cm^3, entre 12 e 15% de umidade, o que está associado à vantagem de resultar em componentes leves. Mas, é extremamente suscetível ao ataque de agentes xilófagos, o que não garante uma longa durabilidade para os componentes construtivos, exceto com o uso de produtos preservantes. E, pelo rápido crescimento inicial, que resulta em anéis de crescimento distantes um do outro, o pinus brasileiro não possui grande resistência mecânica, o que pode ser contornado através do desenvolvimento de elementos construtivos reconstituídos.

É importante salientar que na primeira etapa da pesquisa os componentes foram construídos unicamente de bracatinga. No entanto, posteriormente, as peças curtas utilizadas (com no máximo 61 cm de comprimento), que eram uma prerrogativa de projeto para tornar viável a utilização desta espécie, acabaram mostrando-se adequadas para uma infinidade de outras espécies, por otimizar o aproveitamento no desdobro de peças que seriam descartadas no caso de grandes componentes.

Quanto ao suprimento do ipê e do pinus, a FAO (<http://www.fao.org/>, 2006) informa que o Brasil teria na época 472.314.000 ha de florestas nativas e 5.384.000 ha de florestas

Manejo Sustentado: Sistema de exploração dos recursos ambientais que condiz com o desenvolvimento sustentável, sem utilizar recursos até seu esgotamento, mas respeitando os limites da natureza de reposição dos mesmos. Disponível em: <http://www.prbiodiversidade.pr.gov.br/modules/glossario>. Acesso em: 15/01/2009.

[4] Hectare (ha) é uma unidade de área equivalente a 10.000 m^2.



plantadas. O ipê é uma madeira nativa em risco atualmente, por seu alto valor no Brasil e exterior. Proibir o seu uso, no entanto, apenas a colocaria em um risco maior. É necessário valorizar a floresta plantada, através de planos de manejo bem coordenados. Segundo o Estudo Setorial da ABIMCI (2007/2008), o Brasil possui cerca de 6.000.000 hectares de florestas plantadas, e 30,2% deste total é constituído por plantações de pinus. Segundo a ABRAF (<http://www.abraflor.org.br/>, 2008. Acesso em: 22/05/2009), o Brasil possui entre pinus e eucalipto 5.560.203 ha. Só de pinus são 1.808.336 ha no Brasil e, no Paraná, são cerca de 701.578 ha, o que garante fornecimento para as próximas décadas.

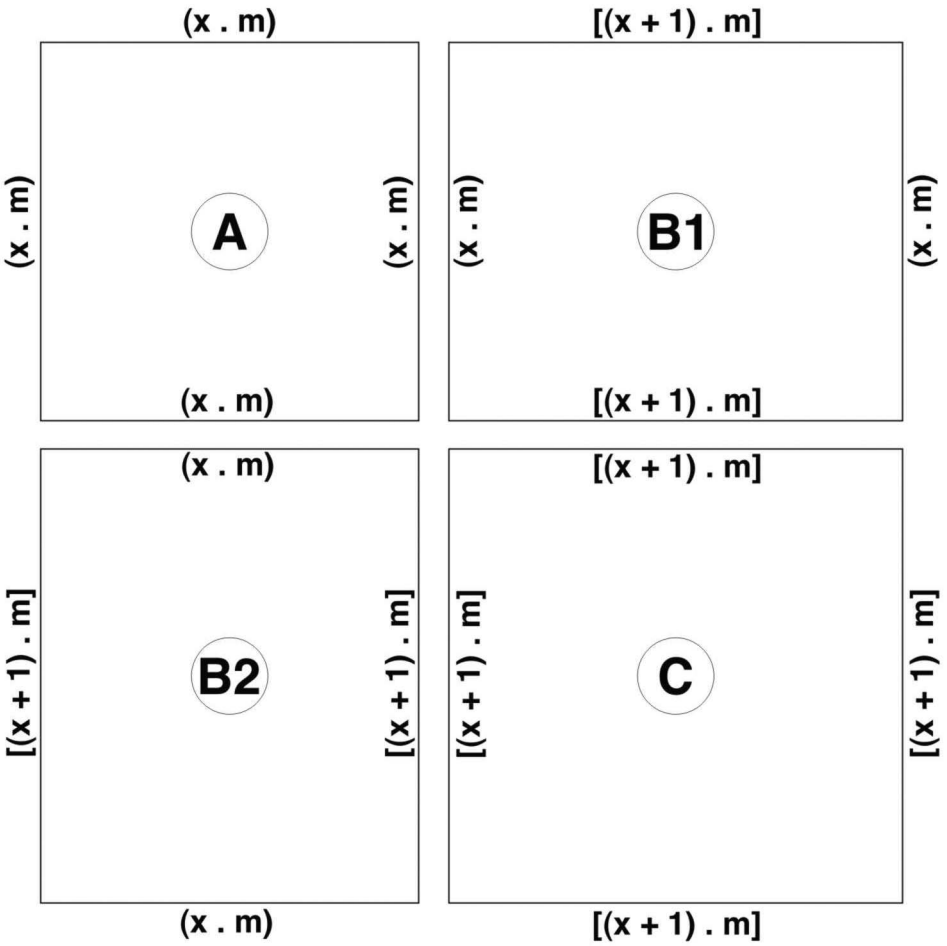
5.2.2 Definição do Partido Arquitetônico

O objetivo deste projeto é desenvolver peças-sistema construídas de madeira para construção de paredes de vedações e/ou estruturais. Não se trata, portanto, de um sistema construtivo, que seria algo muito mais complexo que envolve o desenvolvimento de componentes em todos os modelos de categoria existentes. Com relação ao metaprojeto, as ferramentas utilizadas foram: componentes que apresentam solução para um ***modelo de categoria e possibilitam o uso de retícula projetual.*** Uma das grandes dificuldades em construções de madeira é a definição das paredes de vedação e a possibilidade destas estarem associadas ou não à estrutura. Sobre a aplicação da teoria das três liberdades (OLIVERI, 1972, p. 128), as peças propostas atendem à condição de poder gerar paredes em um edifício em que a estrutura vertical se execute: a-) com pilares; b-) com as próprias paredes; e c-) com pilares e paredes ao mesmo tempo. No caso de um edifício com pilares, a mesma teoria implica uma posterior verificação: a posição dos pilares no interior da retícula estrutural deve garantir que as paredes de fechamento possam ser: a-) totalmente exteriores aos pilares; b-) compreendidas entre pilares; c-) totalmente interiores aos pilares; e d-) dependendo das dimensões da obra, pilares inexistentes. Além disso, a utilização de uma retícula modular cria novas situações e possibilidades: conceber um edifício como soma de elementos modulados significa dar a ele a possibilidade de adaptar-se – em todas as direções – a uma multiplicidade de mudanças e circunstâncias.

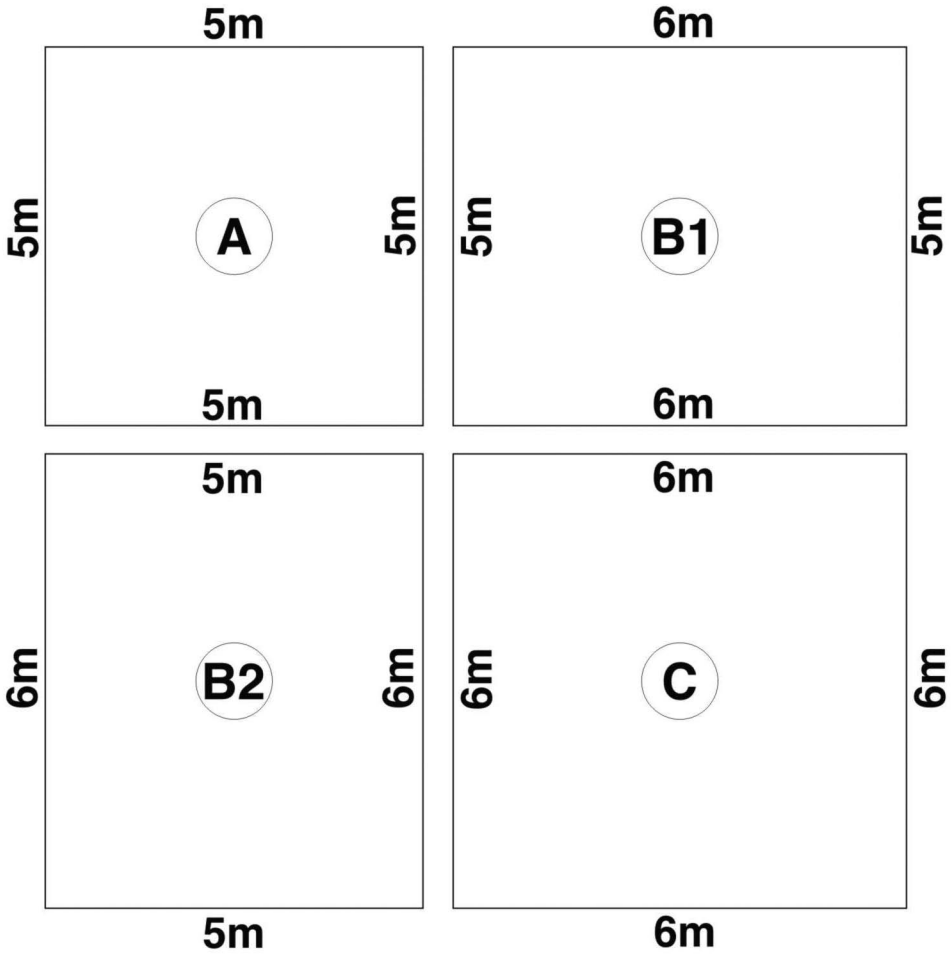
5.3 PROPOSIÇÃO DE UM ELEMENTO CONSTRUTIVO – PAINÉIS DE VEDAÇÃO

A analogia que se pode fazer é que os componentes propostos são como tijolos de madeira, que trazem em si algumas qualidades que justificam o seu desenvolvimento: 1-) possuem uma propriedade aditiva que permite que se construa uma série de medidas em longitude e altura com apenas 4 componentes; 2-) utilizam recurso renovável; 3-) podem ser transportados em veículos domésticos; 4-) geram paredes mais leves que as paredes de tijolos; 5-) as paredes são montadas rapidamente e a seco.

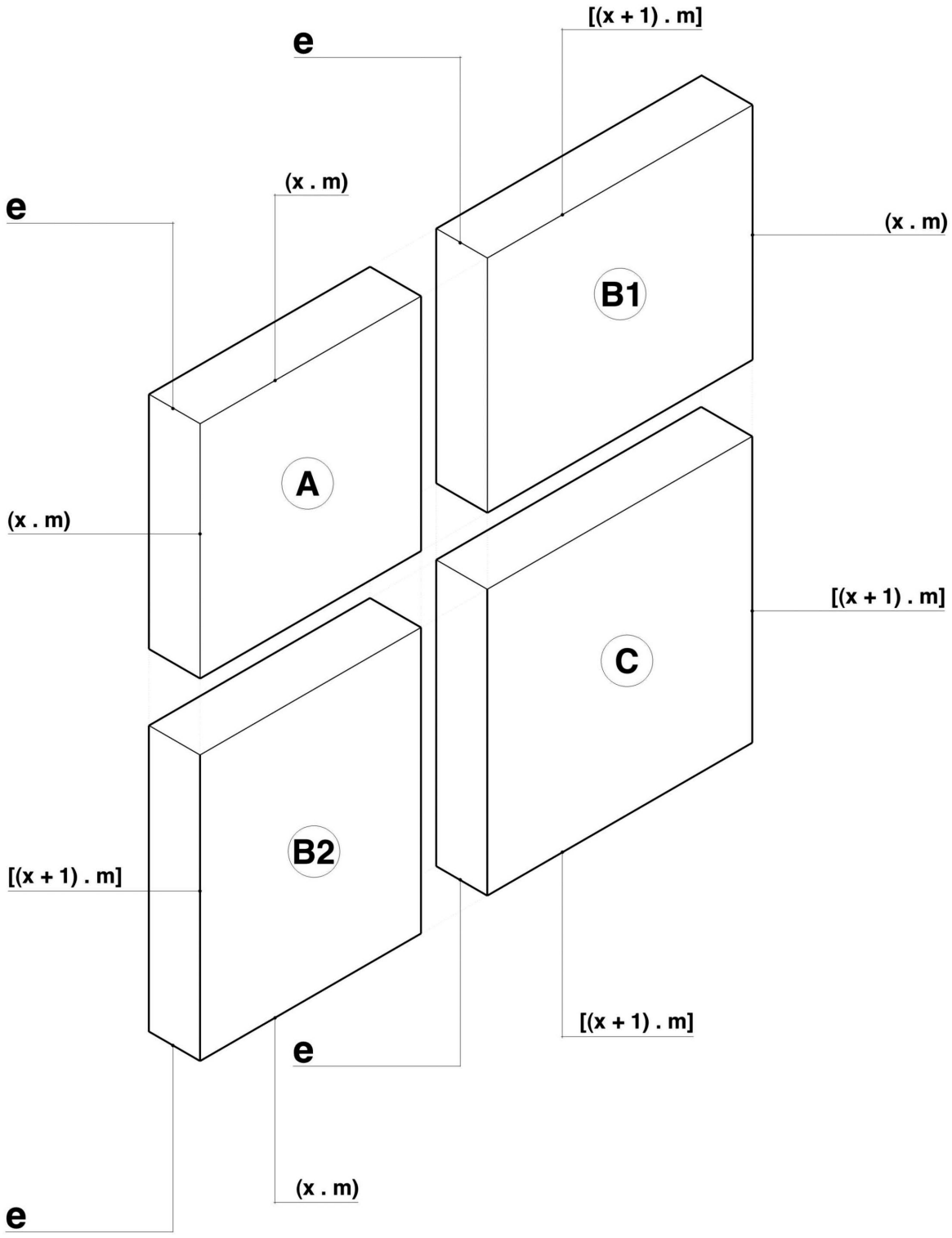
5.3.1 Painéis modulares de madeira – concepção e projeto



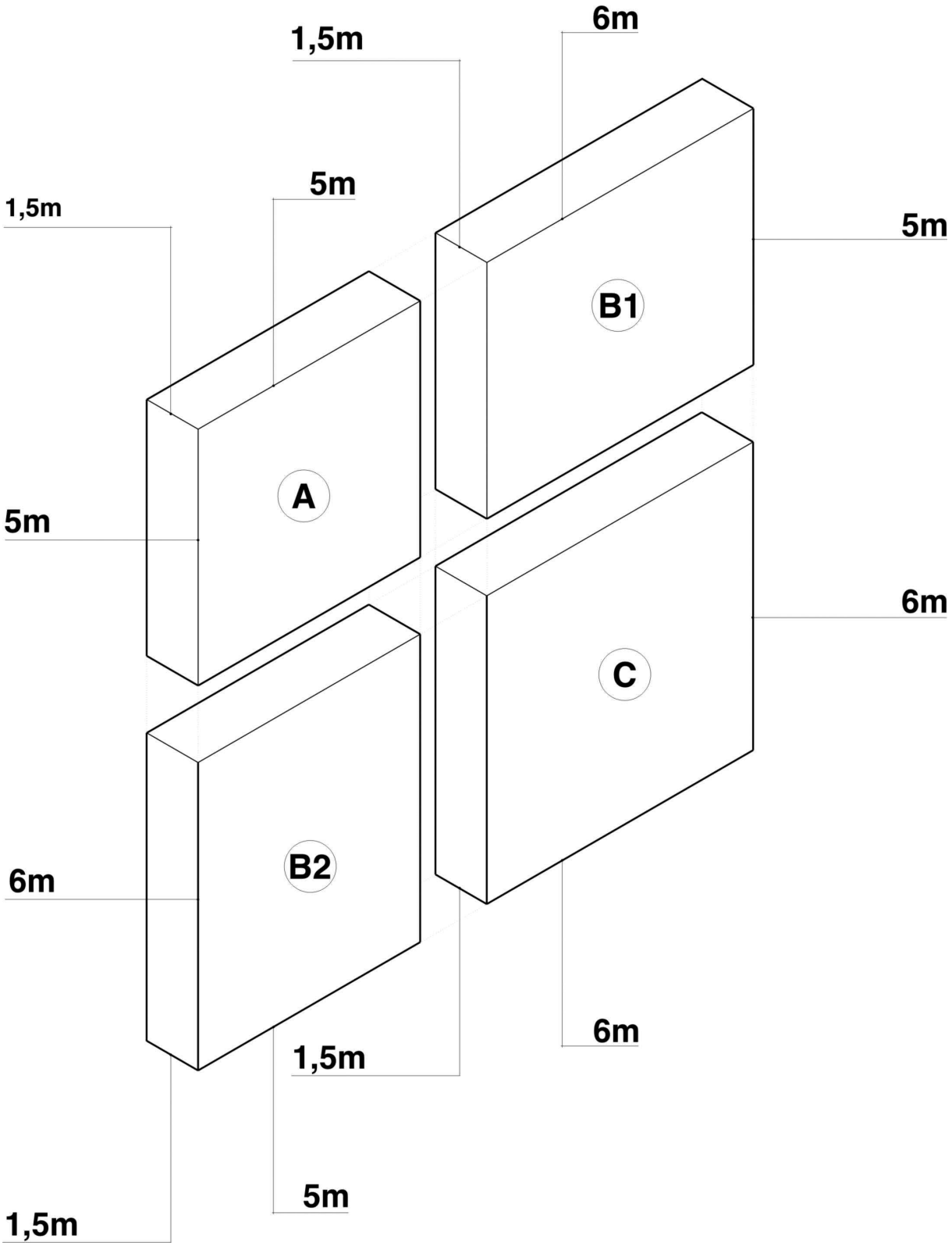
A **Figura 5.1** ilustra em vista frontal (elevação) as medidas modulares (largura x altura) dos quatro componentes construtivos propostos: componente A= {(x.m).(x.m)}; componente B1= {[(x+1).m].(x.m)}; componente B2= {(x. m).[(x+1).m]} e componente C= {[(x+1).m].[(x+1).m]}. Sendo "x" e "m" valores inteiros positivos e "m" preferencialmente igual a 10 cm (decímetro). FONTE: Desenhos da Autora (2009).



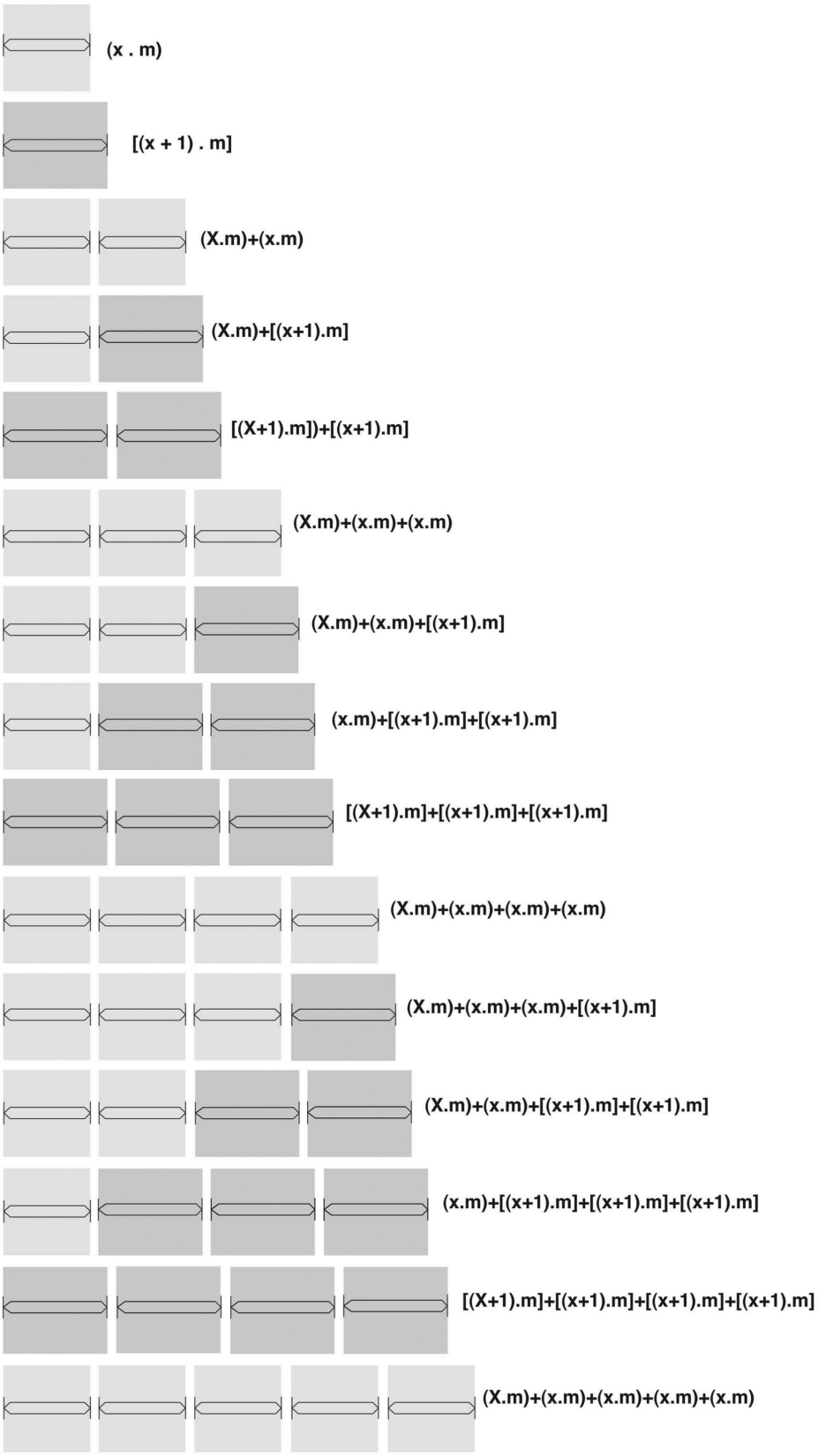
A **Figura 5.2** ilustra em vista frontal (elevação frontal) um exemplo da aplicação da fórmula anterior. No caso, se “x” for igual a 5 e “m” for igual a 10 cm teremos MEDIDAS MODULARES de 50 cm e 60 cm para 5 m e 6 m, respectivamente. FONTE: Desenhos da Autora (2009).



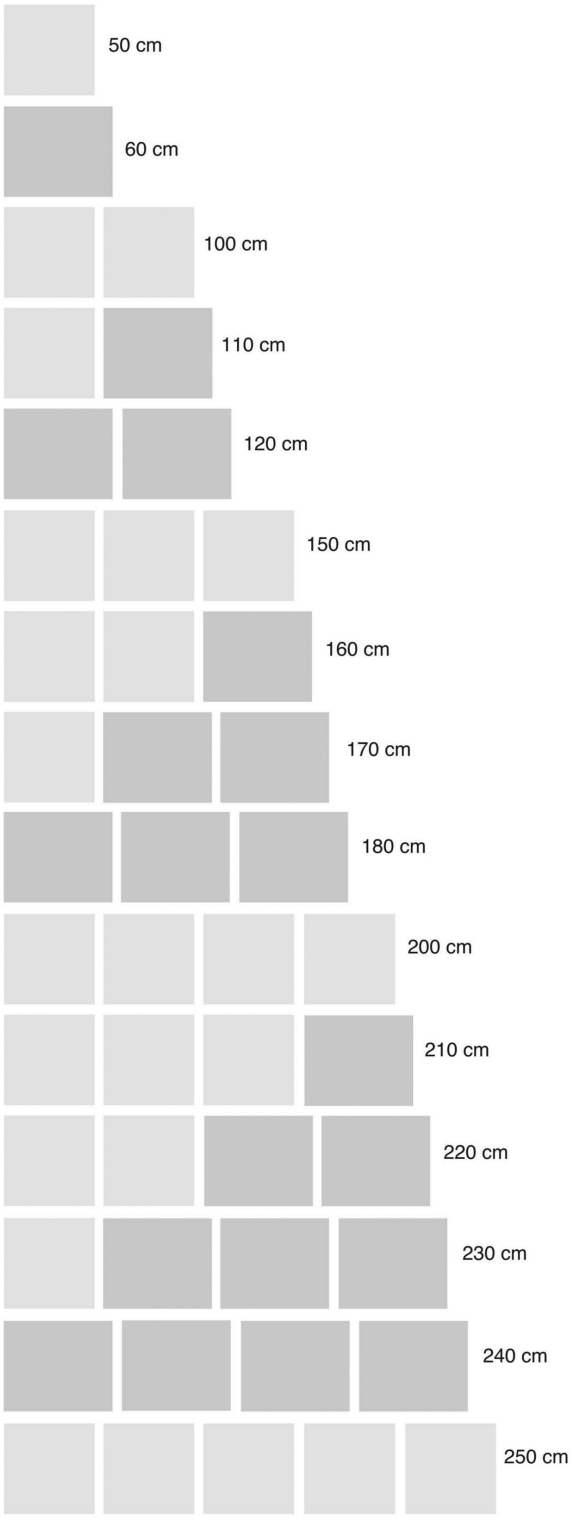
A **Figura 5.3** ilustra em perspectiva isométrica as medidas modulares (largura x altura x espessura) dos quatro componentes construtivos: A= {(x.m).(x.m).e}; B1= {[(x+1).m].(x.m).e}; B2= {(x.m).[(x+1).m].e} e C= {[(x+1).m].[(x+1).m].e}; sendo “e” = espessura variável, podendo ser menor, maior ou igual a “m”, para atender às normas de coordenação modular brasileiras e, portanto, facilitar por um lado a industrialização dos componentes e por outro a sua conectividade com outros componentes construtivos. Para tanto “e” preferencialmente = m/4; m/2; 1m; 1,5m; 2m; 2,5m (...) nm. FONTE: Desenhos da Autora (2009).



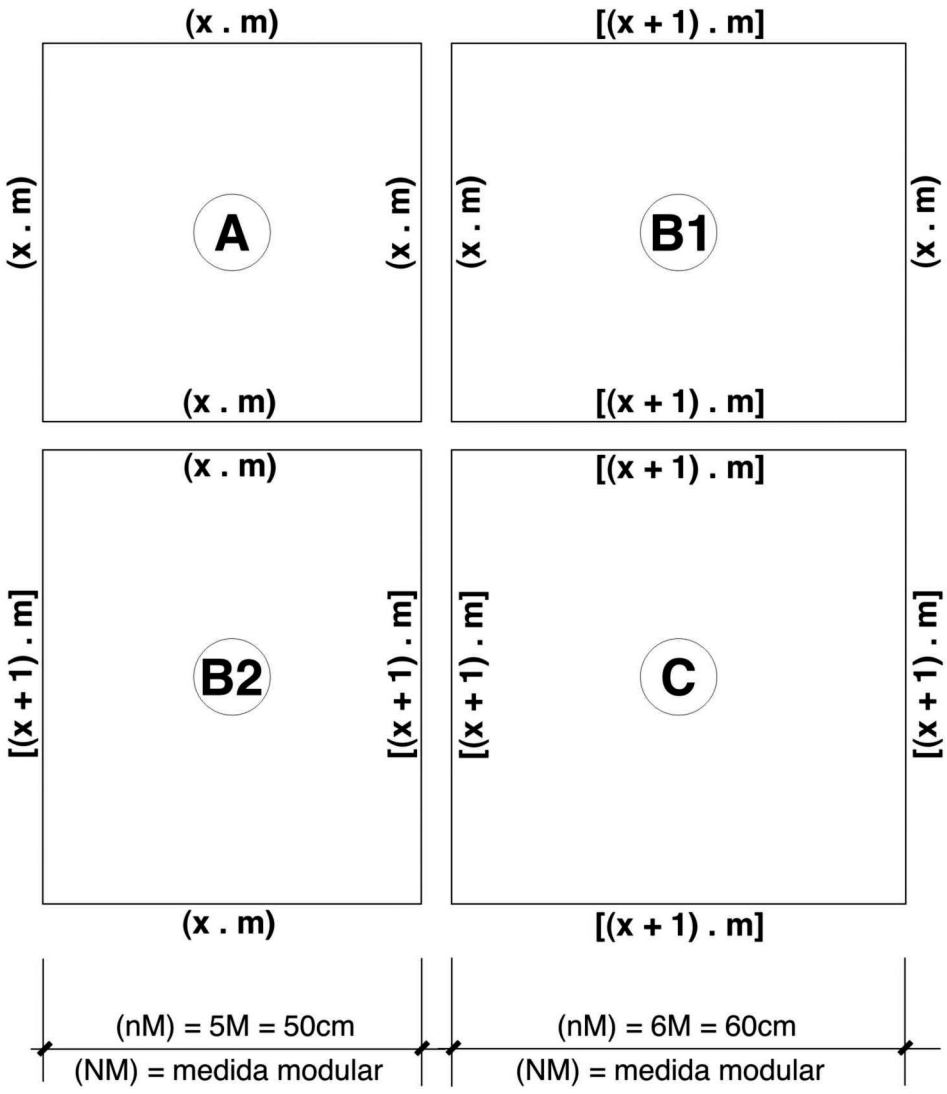
A **Figura 5.4** ilustra, em perspectiva isométrica, um exemplo da aplicação da fórmula anterior. No caso, se “x” for igual a 5 e “m” for igual a 10 cm teremos MEDIDAS MODULARES de 50 cm e 60 cm para 5 m e 6 m, respectivamente. A espessura da parede neste caso seria igual a 1,5 m ou 15 cm. FONTE: Desenhos da Autora (2009).



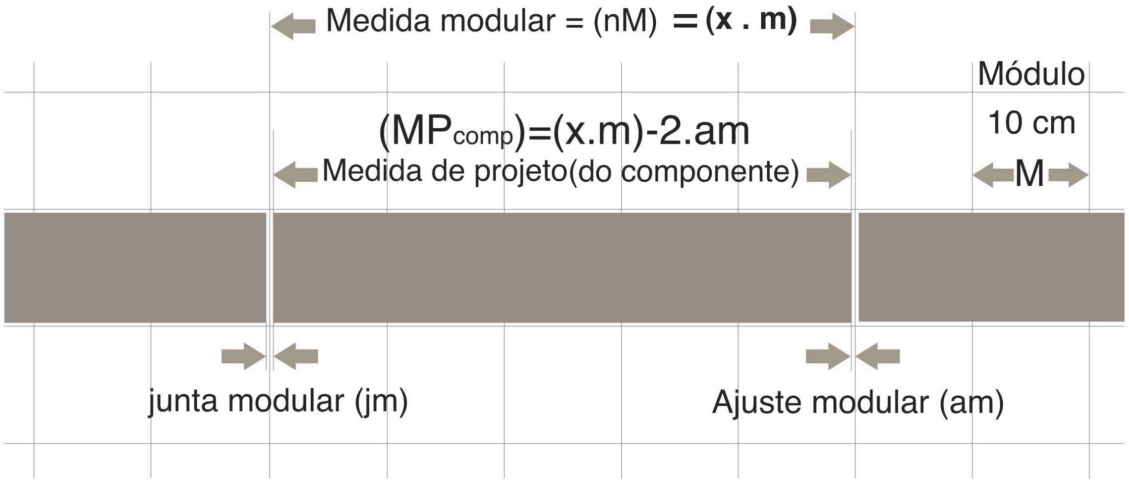
A **Figura 5.5** ilustra em vista um exemplo da aplicação da fórmula mostrada nas Figuras 1 e 3. O espaço modular é ocupado por um elemento modular. Com a utilização dos componentes construtivos (elementos modulares) é possível ter uma infinidade de vãos construídos em longitude (largura). FONTE: Desenhos da Autora (2009).



A **Figura 5.6** ilustra em vista um exemplo da aplicação da fórmula mostrada nas Figuras 1 e 3. No caso, se “x” for igual a 5 e “m” for igual a 10 cm teremos MEDIDAS MODULARES DOS COMPONENTES com larguras de 50 cm e 60 cm para 5 m e 6 m, respectivamente. Portanto, com a utilização dos componentes construtivos supracitados é possível fechar ou construir uma infinidade de vãos construídos em longitude (largura) como mostram as **Figuras 5.5** e **5.6**, mas também em altura, constituindo pés-direitos variados. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

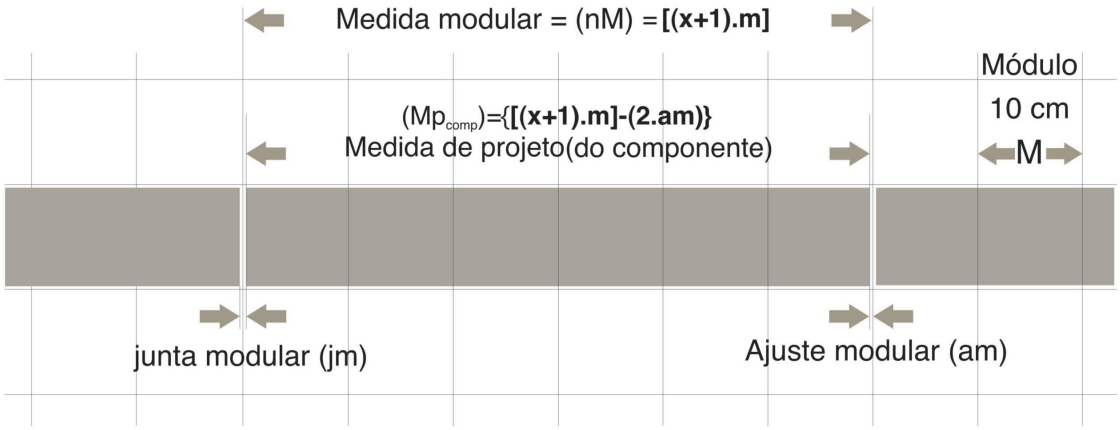


A **Figura 5.7** ilustra que a partir da aplicação da fórmula mostrada na Figura 1, e repetindo-se “x” igual a 5 e “m” igual a 10 cm teremos MEDIDAS MODULARES DOS COMPONENTES equivalentes a 50 cm e 60 cm para 5 m e 6 m, respectivamente. As medidas modulares ou vãos modulares são sempre maiores que a MEDIDA DE PROJETO DOS COMPONENTES, pois será necessário ainda considerar os ajustes e tolerâncias. A Figura 5.8 demonstra as juntas modulares necessárias para o caso de painéis de madeira. FONTE: Desenhos da Autora (2009).



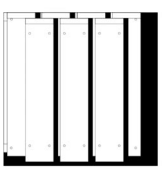


A **Figura 5.8** ilustra que a MEDIDA MODULAR (nM) para valores em planta dos painéis A e B2 e para valores em elevação dos painéis A e B1 é equivalente à fórmula (x.m). Exemplificando-se com “x” igual a 5 e “m” igual a 10 cm teremos MEDIDAS MODULARES DOS COMPONENTES equivalentes a 50 cm para 5 m. A MEDIDA DE PROJETO DOS COMPONENTES, neste caso, é representada pela fórmula (mP_{comp})=(x.m)-2.am. Sendo am o valor do ajuste modular, e sabendo-se que no caso de painéis de madeira faz-se necessário um ajuste de 0,15 de cada lado, ou em cada interface entre painéis. Aplicando a fórmula com estes dados, teremos Medida do componente = 50,00 - 0,3 = 49,7 cm. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

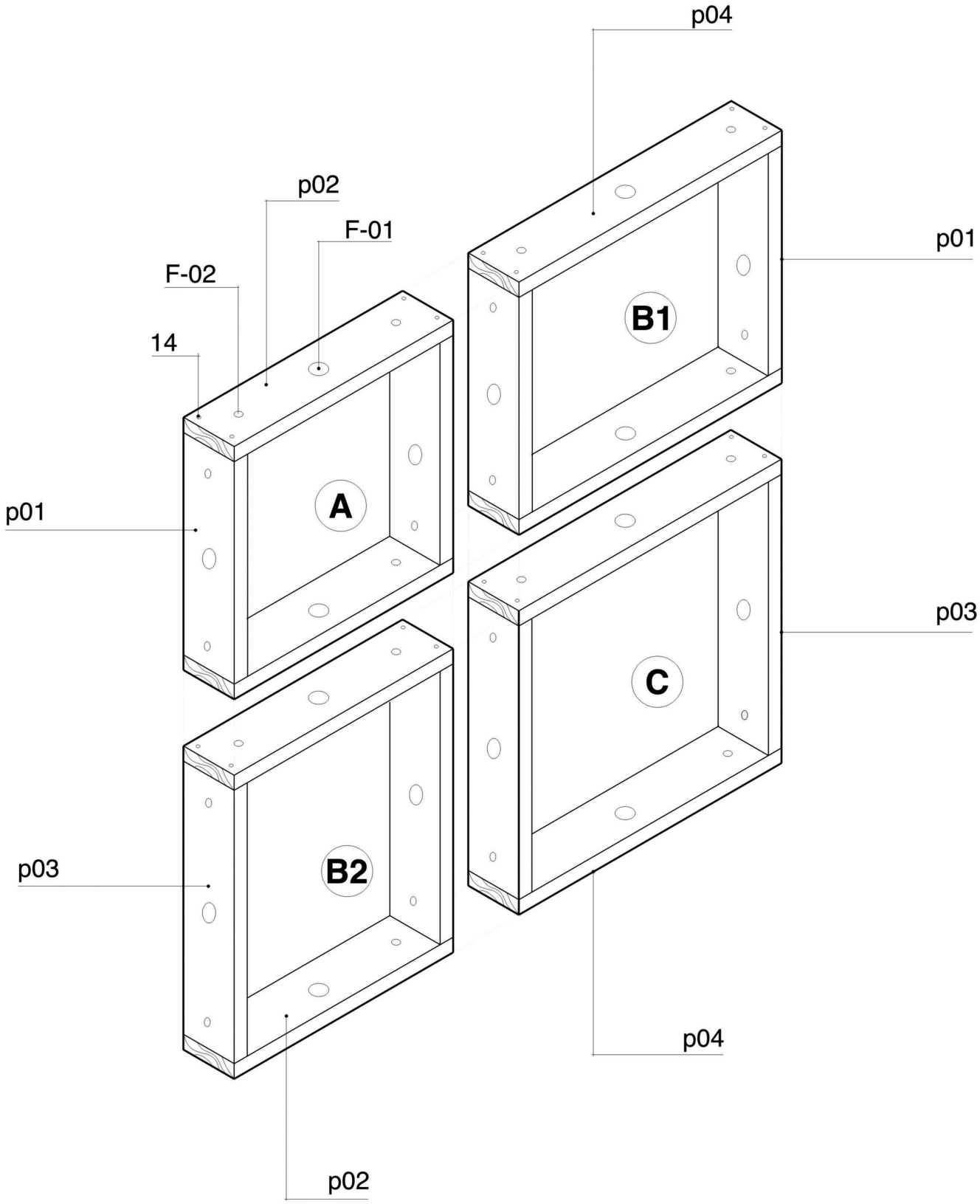


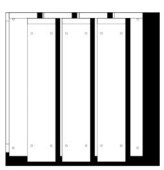


A **Figura 5.9** ilustra que a MEDIDA MODULAR (nM) para valores em planta dos painéis B1 e C e para valores em elevação dos painéis B2 e C é equivalente à fórmula [(x+1). m]. Exemplificando-se com "x" igual a 5 e "m" igual a 10 cm teremos MEDIDAS MODULARES DOS COMPONENTES equivalentes a 60 cm para 6 m. A MEDIDA DE PROJETO DOS COMPONENTES, neste caso, é representada pela fórmula (mP_{comp})= [(x+1).m]-2.am. Sendo am o valor do ajuste modular, e sabendo-se que no caso de painéis de madeira faz-se necessário um ajuste de 0,15 de cada lado, ou em cada interface entre painéis. Aplicando a fórmula com estes dados, teremos Medida do componente = 60,00 - 0,3 = 59,7 cm. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

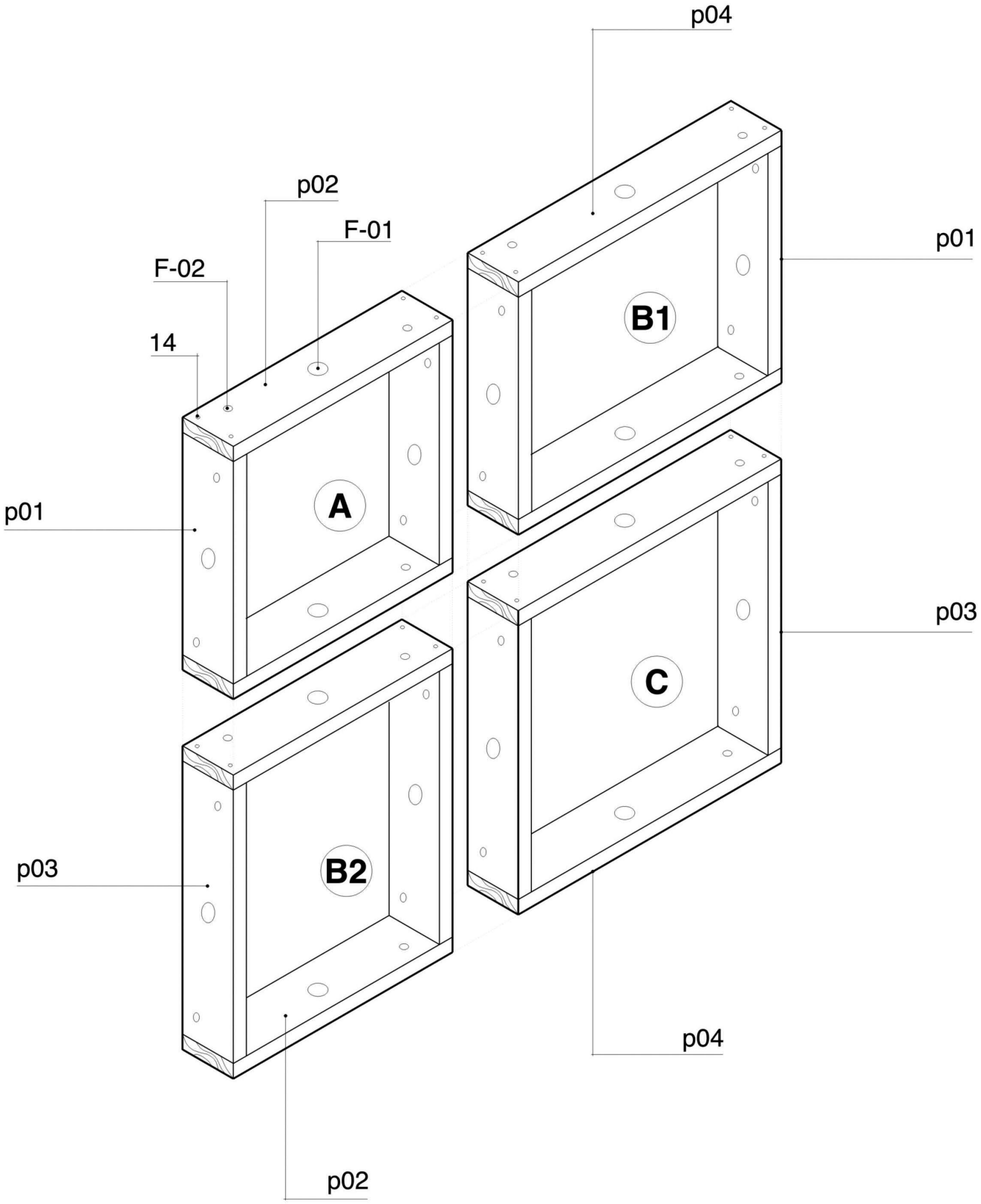


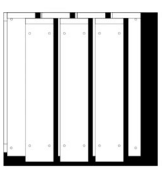
A **Figura 5.10** ilustra A ESTRUTURA DOS 4 COMPONENTES em perspectiva isométrica. As medidas de projeto (espessura x largura x altura) das 4 (quatro) peças necessárias à execução da estrutura dos 4 tipos de componentes podem ser obtidas através da aplicação da seguinte fórmula: P = e peça x e comp x a peça (tamanho da peça = espessura peça x espessura do componente x altura da peça). No caso de estrutura de madeira: podemos considerar a espessura das peças com 3 cm para o caso de madeiras com uma massa específica em torno de 0,60 a 0,80 g/cm^3. Para a espessura do componente vamos considerar “m” e para “x” e “m” atribuiremos mais uma vez os valores 5 e 10 cm, respectivamente. Desta maneira, obteremos as seguintes dimensões para as peças: p01=3x10x43,7 cm; p02=3x10x49,7 cm; p03=3x10x53,7 cm e p04=3x10x59,7 cm. Sendo 14 a posição dos parafusos de fixação. A FURAÇÃO DOS 4 COMPONENTES em perspectiva isométrica. Os furos indicados por F01 são preferencialmente de 0,14 cm e constituem os orifícios para os parafusos que fixarão um painel ao outro. Os furos indicados por F02 de 1” ou 1e1/2” servem para passar os conduítes para a rede elétrica. Para componentes utilizados em paredes hidráulicas (banheiros e cozinhas) os furos deverão ser maiores, de acordo com o tamanho dos canos ou previstas prumadas dentro dos painéis, o que resulta em peças estruturais intermediárias. FONTE: Desenhos da Autora (2009).


p04
p02
F-01
F-02
14
p01
B1
A
p01
p03
C
p03
B2
p04
p02

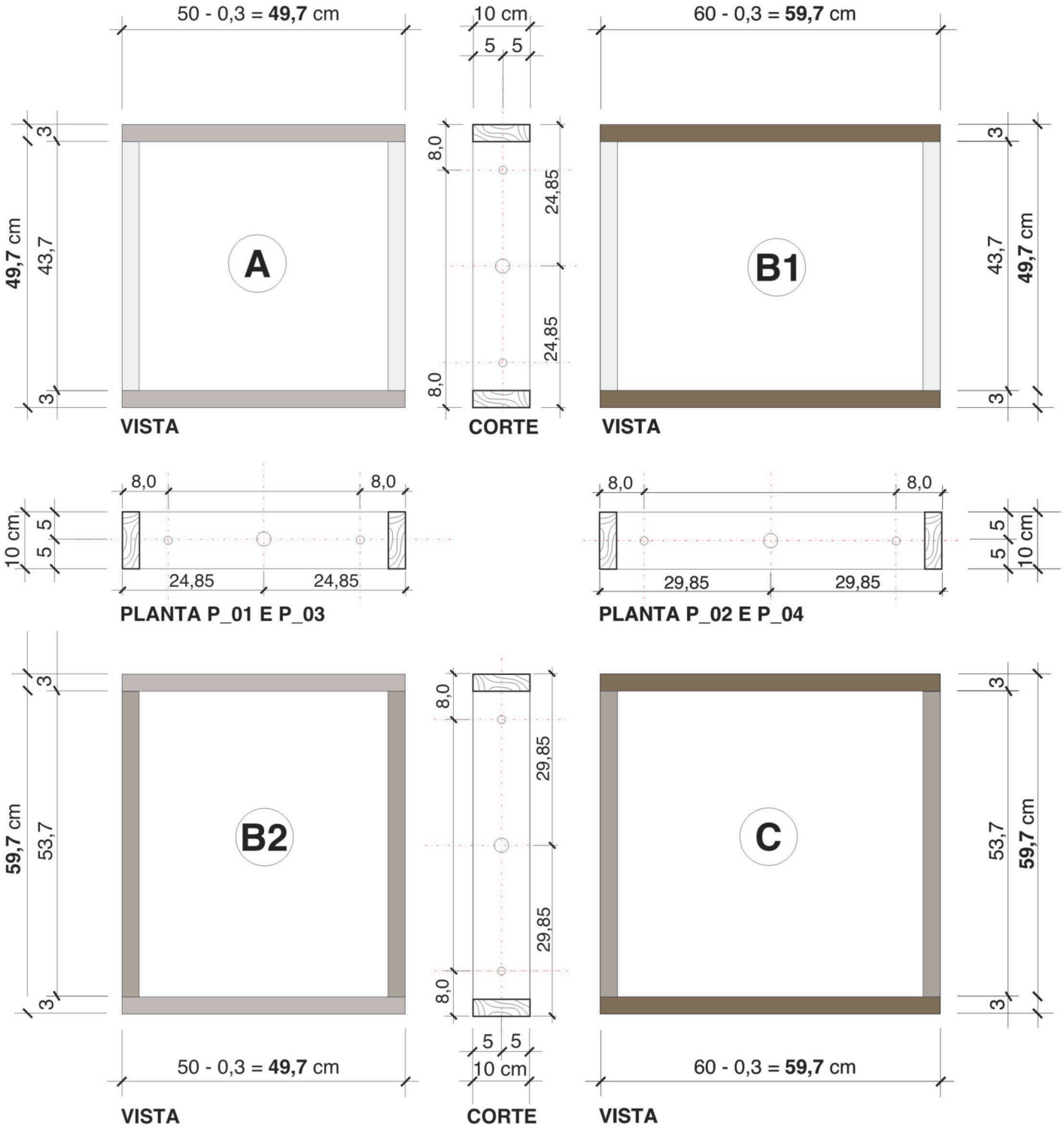


A **Figura 5.10a** ilustra A ESTRUTURA DOS 4 COMPONENTES em perspectiva isométrica. As medidas de projeto (espessura x largura x altura) das 4 (quatro) peças necessárias à execução da estrutura dos 4 tipos de componentes podem ser obtidas através da aplicação da seguinte fórmula: P = e peça x e comp x a peça (tamanho da peça = espessura peça x espessura do componente x altura da peça). No caso de estrutura de madeira: podemos considerar a espessura das peças com 3 cm para o caso de madeiras com uma massa específica em torno de 0,60 a 0,80 g/cm^3. Para a espessura do componente vamos considerar “m” e para “x” e “m” atribuiremos mais uma vez os valores 5 e 10 cm, respectivamente. Desta maneira, obteremos as seguintes dimensões para as peças: p01=3x10x43,7 cm; p02=3x10x49,7 cm; p03=3x10x53,7 cm e p04=3x10x59,7 cm. Sendo 14 a posição dos parafusos de fixação. A FURAÇÃO DOS 4 COMPONENTES em perspectiva isométrica. Os furos indicados por F01 são preferencialmente de 0,14 cm e constituem os orifícios para os parafusos que fixarão um painel ao outro. Os furos indicados por F02 de 1” ou 1e1/2” servem para passar os conduítes para a rede elétrica. Para componentes utilizados em paredes hidráulicas (banheiros e cozinhas) os furos deverão ser maiores, de acordo com o tamanho dos canos ou previstas prumadas dentro dos painéis, o que resulta em peças estruturais intermediárias. FONTE: Desenhos da Autora (2009).


p04
p02
F-01
F-02
14
p01
B1
A
p01
p03
C
p03
B2
p04
p02



A **Figura 5.11** ilustra A FURAÇÃO DOS 4 COMPONENTES em planta e corte e AS PEÇAS DA ESTRUTURA em vista. Os furos indicados por F01 são preferencialmente de 0,14 mm e constituem os orifícios para os parafusos 14 que fixarão um componente ao outro. Os furos indicados por F02 são preferencialmente de 1” ou 1e1/2” e servem para passar os conduítes para a rede elétrica. Para painéis utilizados em paredes hidráulicas (banheiros e cozinhas) os furos deverão ser maiores, de acordo com o tamanho dos canos ou previstas prumadas dentro dos painéis, o que resulta em peças estruturais intermediárias. FONTE: Desenhos da Autora (2009).



ESTRUTURA PAINÉIS: PEÇAS 3,0 X 10,0 cm

Peça 01 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 43, 7 cm

Peça 02 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 49,7 cm

Peça 03 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 53, 7 cm

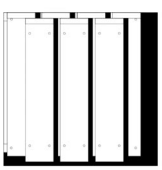
Peça 04 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 59,7 cm

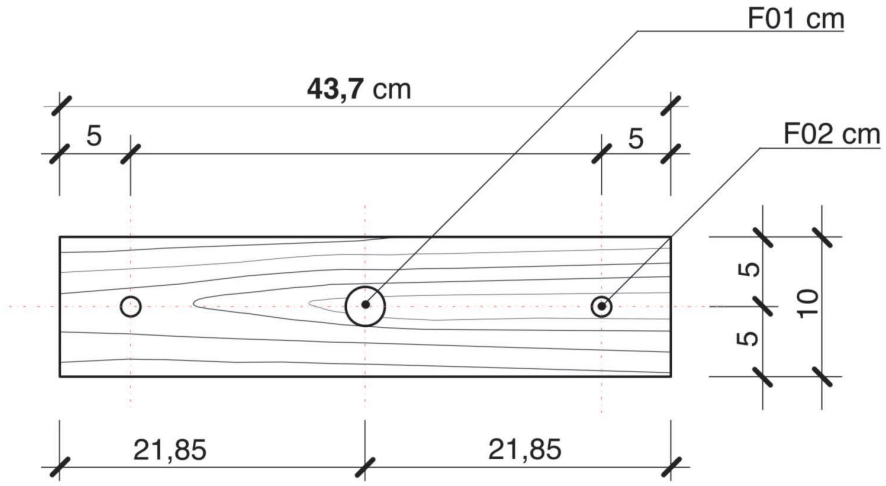
OBS:

○ F02 - Orifício de 1” ou 1 1/2”

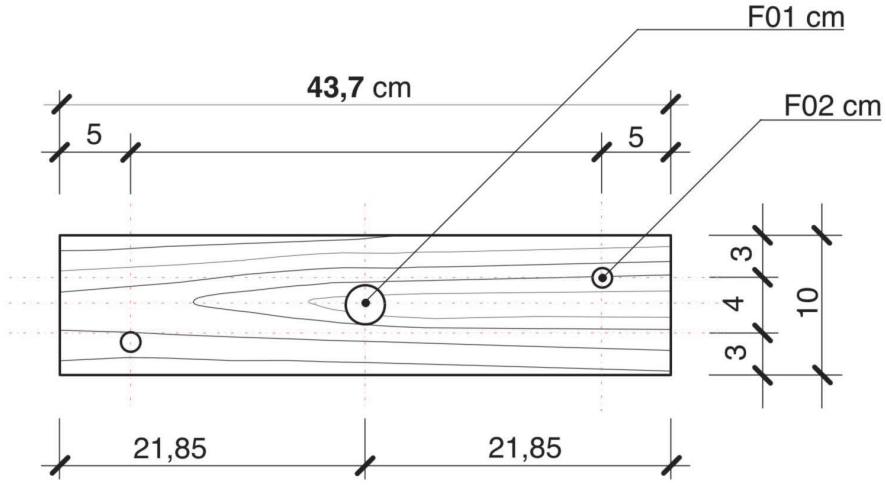
○ F01 - Orifício para os parafusos 14 (Que fixarão um painel no outro)

As medidas estão em centímetros



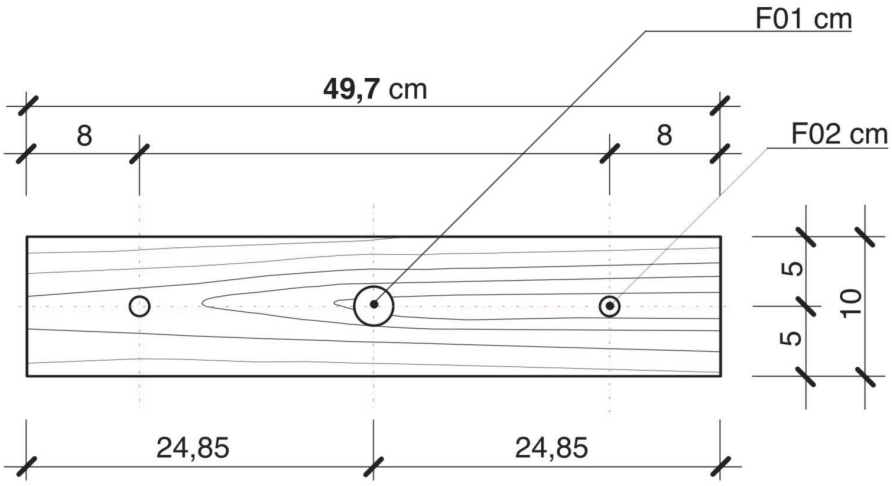


Peça 01 - Furação Linear

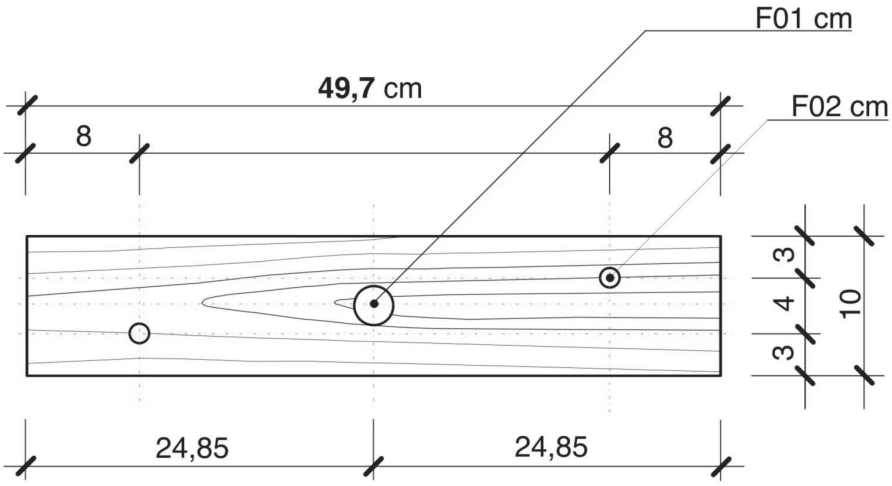


Peça 01 - Furação Excêntrica
para desviar as tensões

A **Figura 5.12** ilustra A FURAÇÃO DA PEÇA 01 em vista. Os furos indicados por F01 são preferencialmente de 0,14 mm e constituem os orifícios para os parafusos 14 que fixarão um painel ao outro. Os furos indicados por F02 são preferencialmente de 1” ou 11/2” e servem para passar os conduítes para a rede elétrica. Na primeira opção de furação os três furos estão posicionados linearmente. Na segunda opção de furação os três furos estão dispostos de maneira excêntrica em relação ao eixo longitudinal da peça, o que desvia as tensões da madeira e melhora o desempenho da peça. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

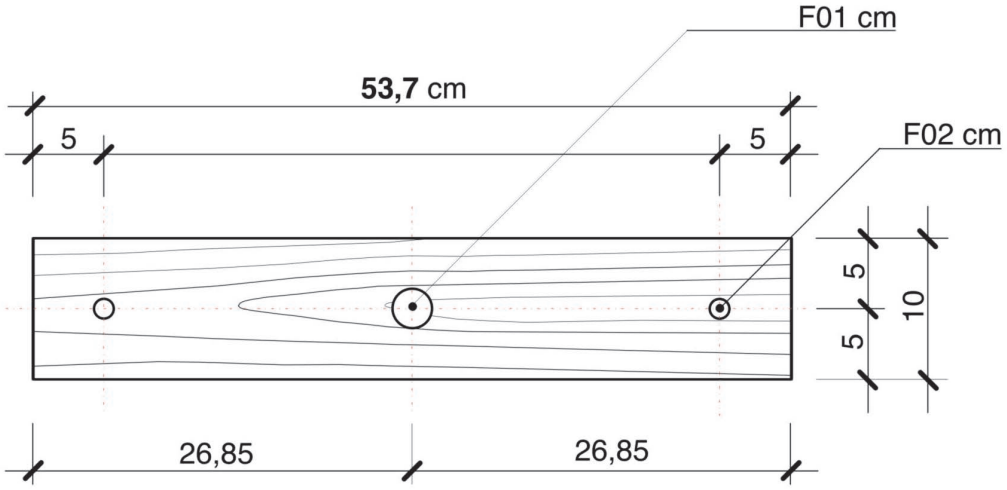


Peça 02 - Furação Linear

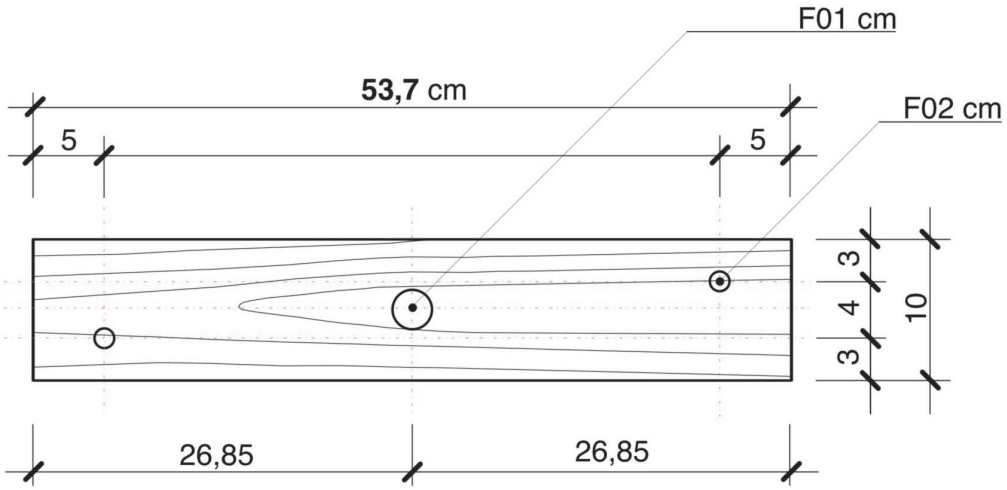


Peça 02 - Furação Excêntrica para desviar as tensões

A **Figura 5.13** ilustra A FURAÇÃO DA PEÇA 02 em vista. Os furos indicados por F01 são preferencialmente de 0,14 mm e constituem os orifícios para os parafusos que fixarão um painel ao outro. Os furos indicados por F02 são preferencialmente de 1” ou 1e1/2” e servem para passar os conduítes para a rede elétrica. Na primeira opção de furação os três furos estão posicionados linearmente. Na segunda opção de furação os três furos estão dispostos de maneira excêntrica em relação ao eixo longitudinal da peça, o que desvia as tensões da madeira e melhora o desempenho da peça. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

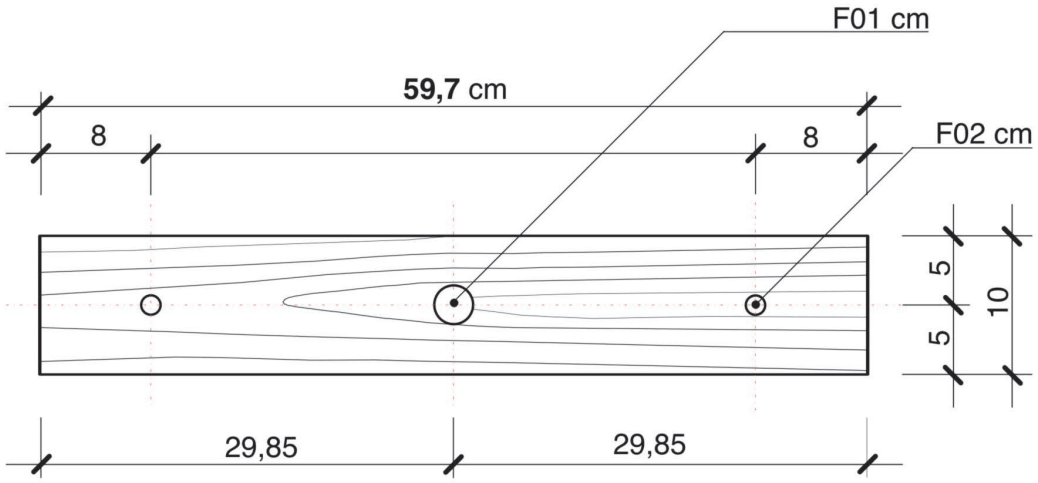


Peça 03 - Furação Linear

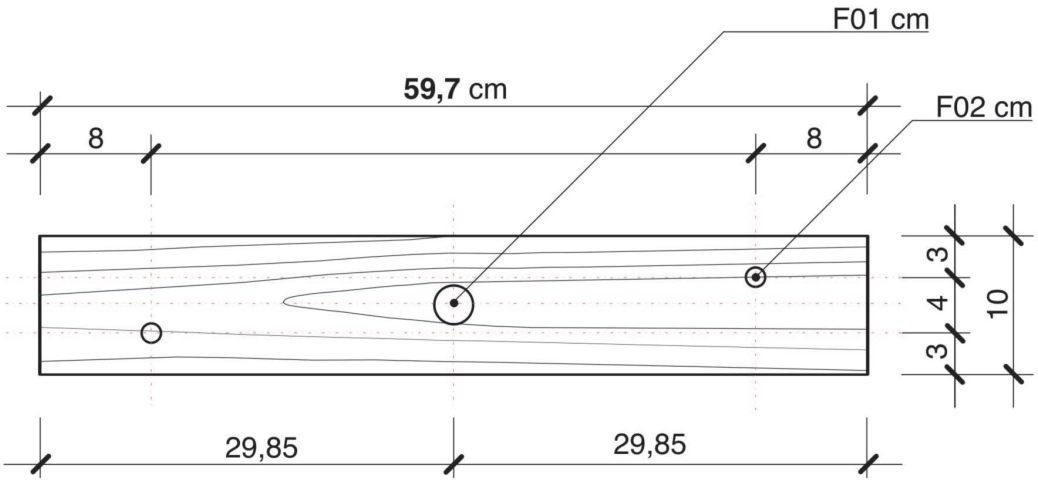


Peça 03 - Furação Excêntrica
para desviar as tensões

A **Figura 5.14** ilustra A FURAÇÃO DA PEÇA 03 em vista. Os furos indicados por F01 são preferencialmente de 0,14 mm e constituem os orifícios para os parafusos que fixarão um componente ao outro. Os furos indicados por F02 são preferencialmente de 1” ou 1e1/2” e servem para passar os conduítes para a rede elétrica. Na primeira opção de furação os três furos estão posicionados linearmente. Na segunda opção de furação os três furos estão dispostos de maneira excêntrica em relação ao eixo longitudinal da peça, o que desvia as tensões da madeira e melhora o desempenho da peça. FONTE: Desenhos da Autora (2009).



Peça 04 - Furação Linear



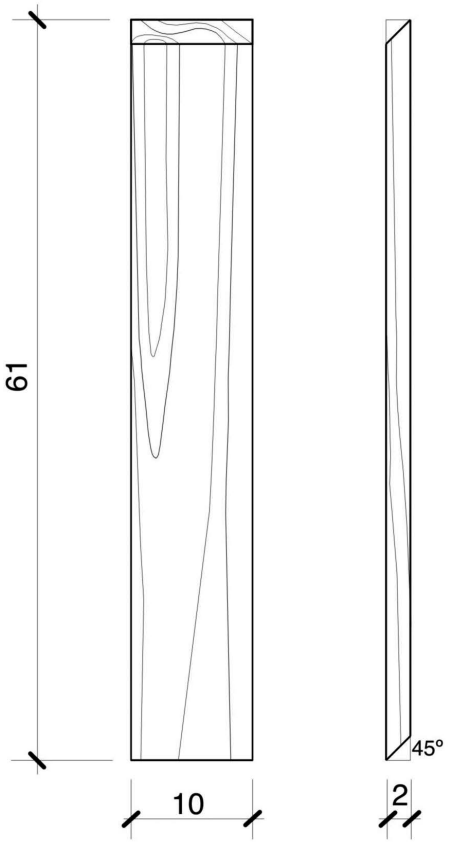
Peça 04 - Furação Excêntrica
para desviar as tensões

A **Figura 5.15** ilustra A FURAÇÃO DA PEÇA 04 em vista. Os furos indicados por F01 são preferencialmente de 0,14 mm e constituem os orifícios para os parafusos que fixarão um componente ao outro. Os furos indicados por F02 são preferencialmente de 1” ou 1e1/2” e servem para passar os conduítes para a rede elétrica. Na primeira opção de furação os três furos estão posicionados linearmente. Na segunda opção de furação os três furos estão dispostos de maneira excêntrica em relação ao eixo longitudinal da peça, o que desvia as tensões da madeira e melhora o desempenho da peça. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

A **Figura 5.16** ilustra as dimensões dos dois únicos tamanhos de tábuas utilizadas nos componentes. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

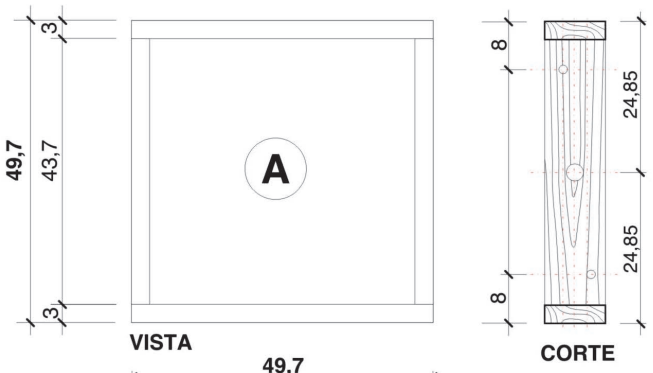


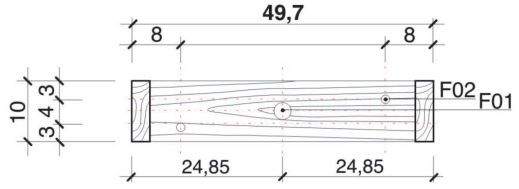
Tábua de madeira
(1,50 a 2,10 x 10,00 x 51,00cm)



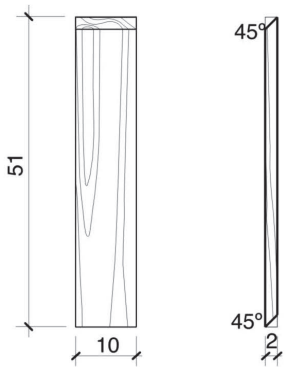
Tábua de madeira
(1,50 a 2,10 x 10,00 x 61,00cm)

A **Figura 5.17** ilustra o Projeto executivo do componente A. FONTE: Desenhos da Autora (2009).



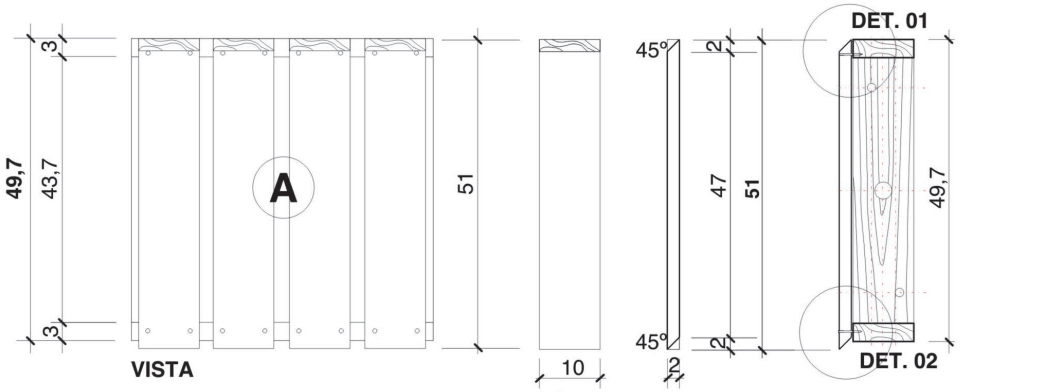


PLANTA PAINEL A



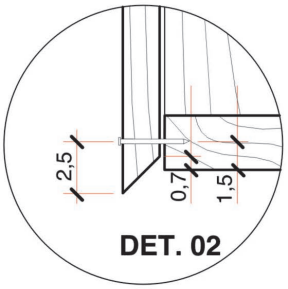
Tábuas de madeira - 7 peças
(1,50 a 2,10 x 10,00 x 51,00cm)

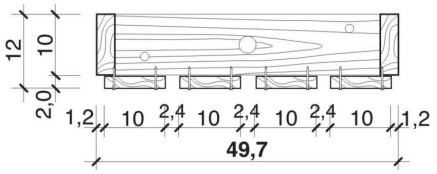




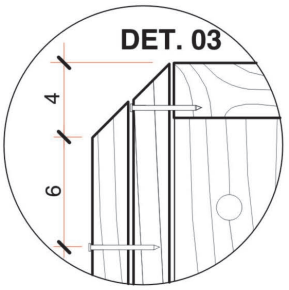
TÁBUA p05 (vista e corte)

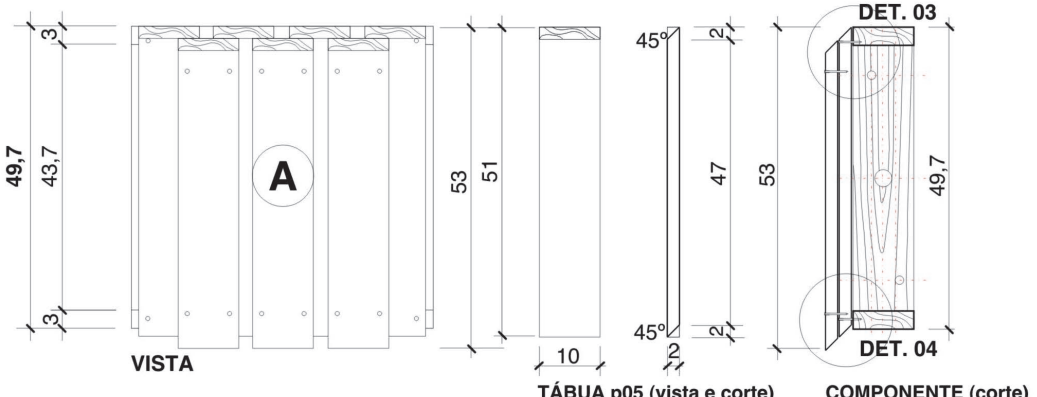
COMPONENTE (corte)





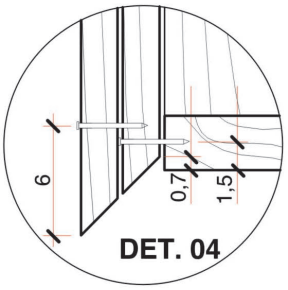
PLANTA PAINEL A- pregação 1ª camada de tábuas p05

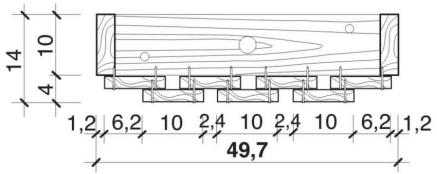




TÁBUA p05 (vista e corte)

COMPONENTE (corte)

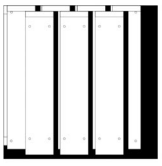




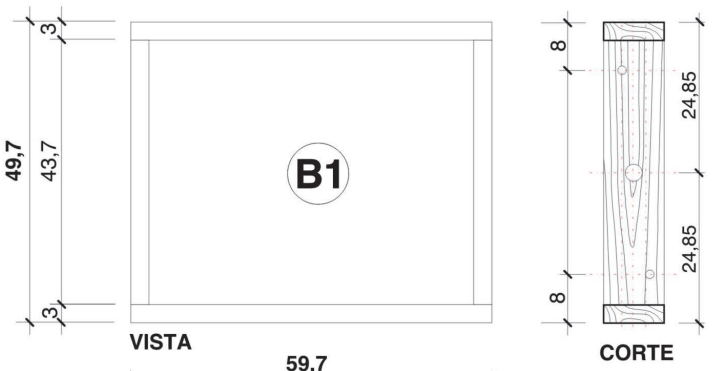
PLANTA PAINEL A- pregação 2ª camada de tábuas p05

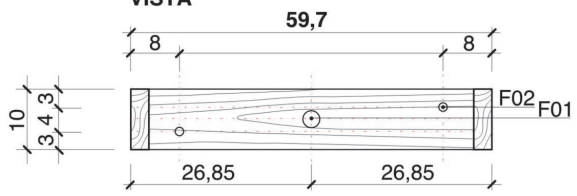


Medidas em centímetros

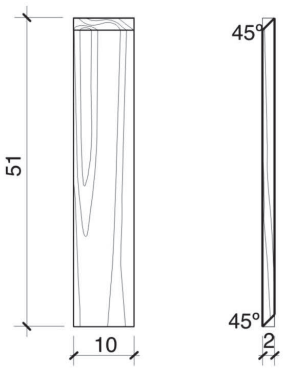


A **Figura 5.18** ilustra o Projeto executivo do componente B1. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

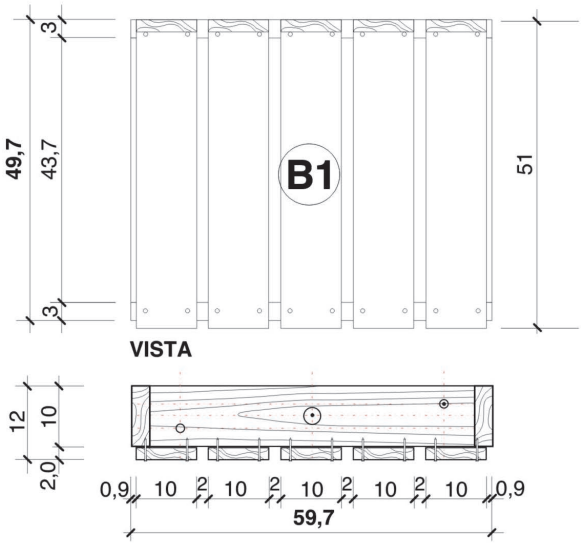


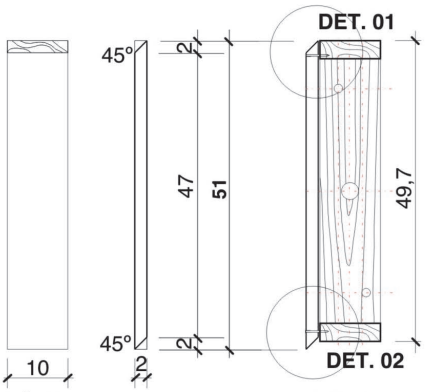


PLANTA PAINEL B1



Tábuas de madeira - 9 peças
(1,50 a 2,10 x 10,00 x 51,00cm)

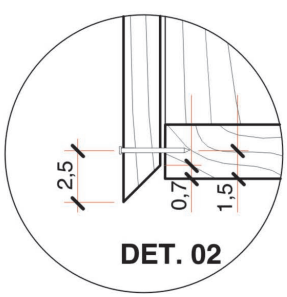


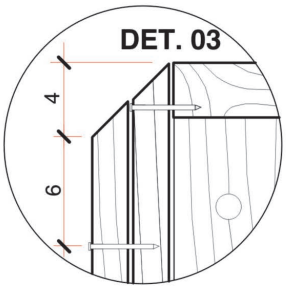


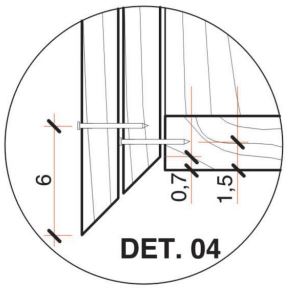
TÁBUA p05 (vista e corte)

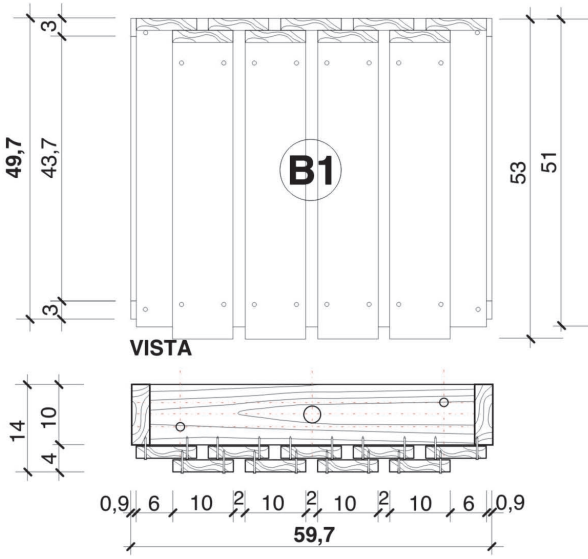
COMPONENTE (corte)

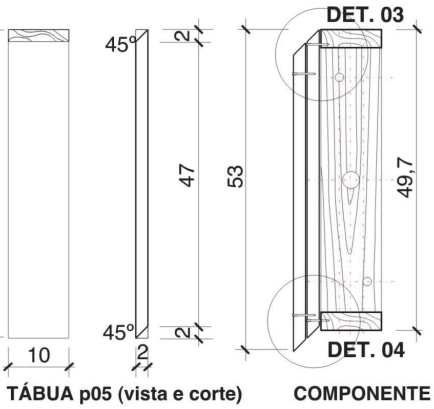
PLANTA PAINEL B1- pregação 1ª camada de tábuas p05







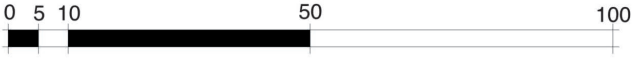




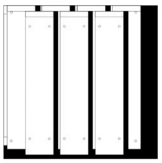
TÁBUA p05 (vista e corte)

COMPONENTE (corte)

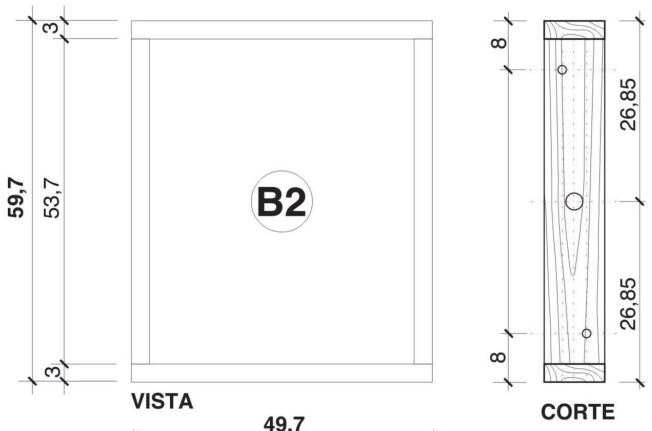
PLANTA PAINEL B1- pregação 2ª camada de tábuas p05

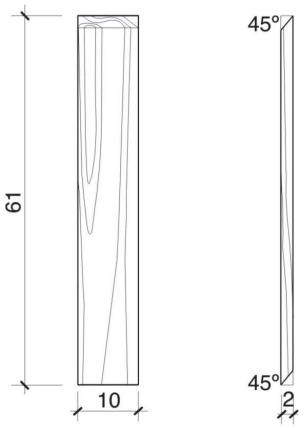


Medidas em centímetros

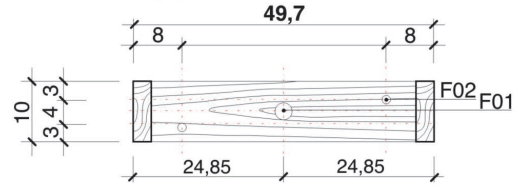


A **Figura 5.19** ilustra o Projeto executivo do componente B2. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

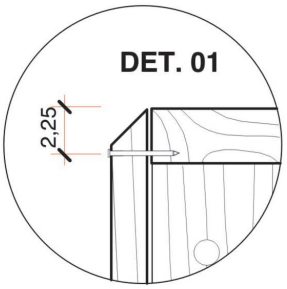


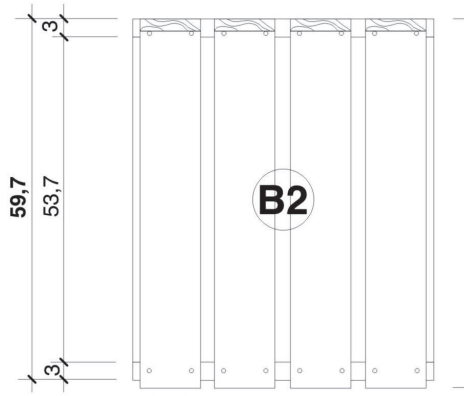


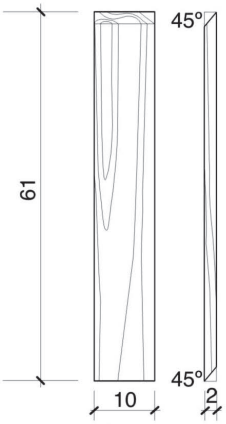
Tábuas de madeira - 7 peças
(1,50 a 2,10 x 10,00 x 61,00cm)



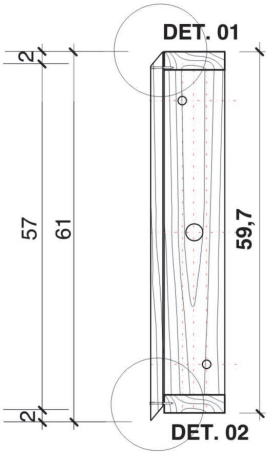
PLANTA PAINEL B2



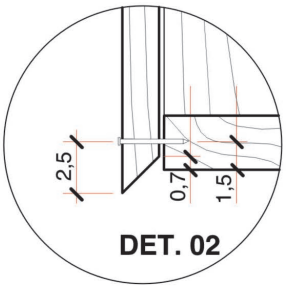


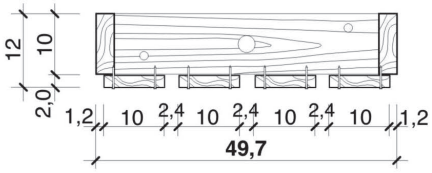


TÁBUA p06 (vista e corte)

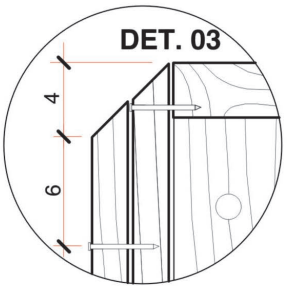


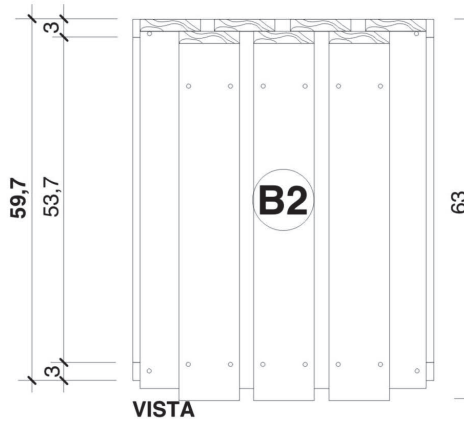
COMPONENTE (corte)



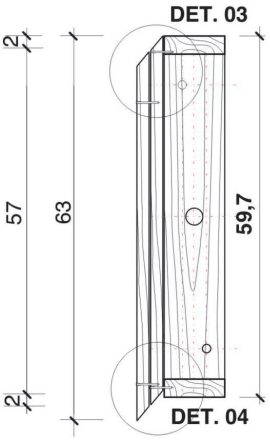


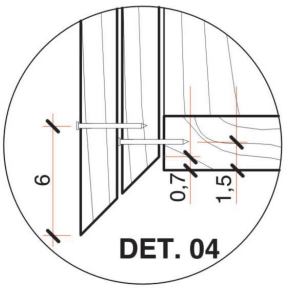
PLANTA PAINEL B2- pregação 1ª camada de tábuas p06

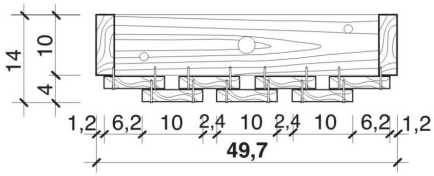








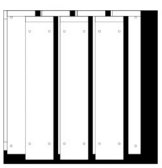




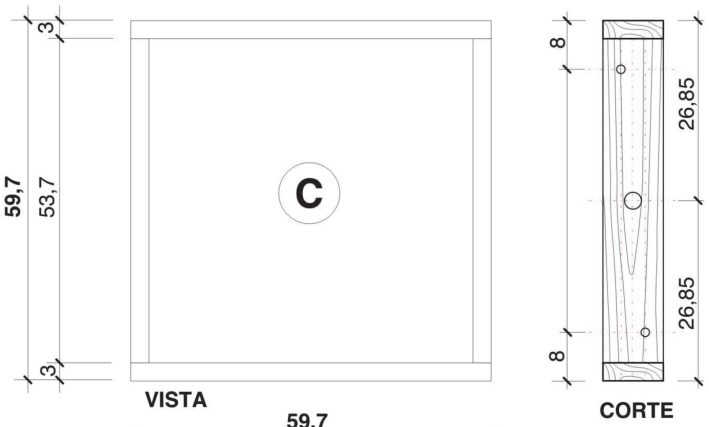
PLANTA PAINEL A- pregação 2ª camada de tábuas p06

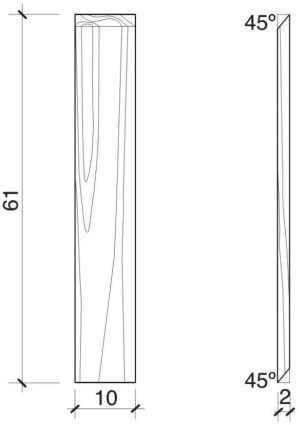


Medidas em centímetros

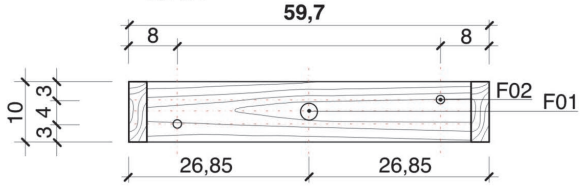


A **Figura 5.20** ilustra o Projeto executivo do componente C. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

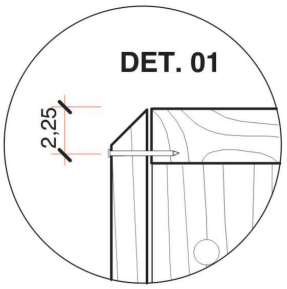


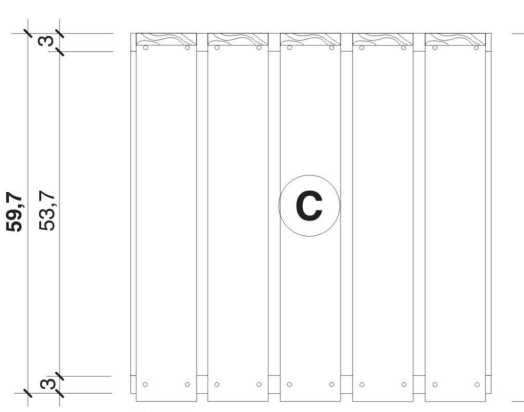


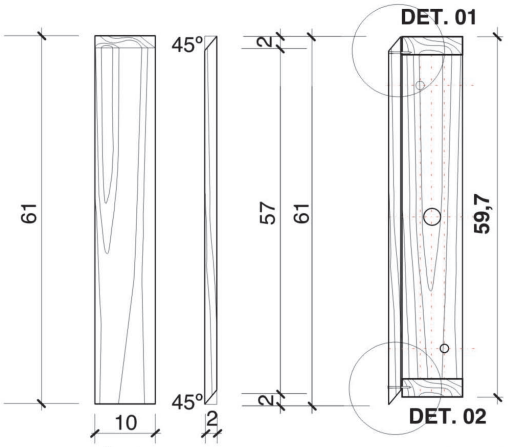
Tábuas de madeira - 7 peças
(1,50 a 2,10 x 10,00 x 61,00cm)



PLANTA PAINEL C

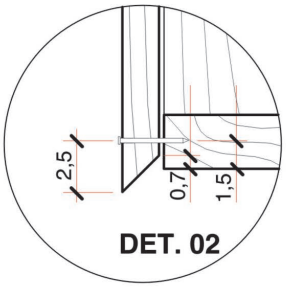


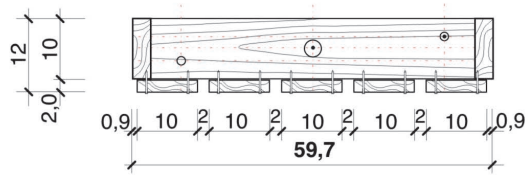




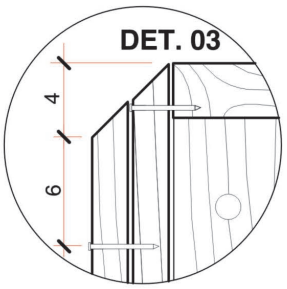
TÁBUA p06 (vista e corte)

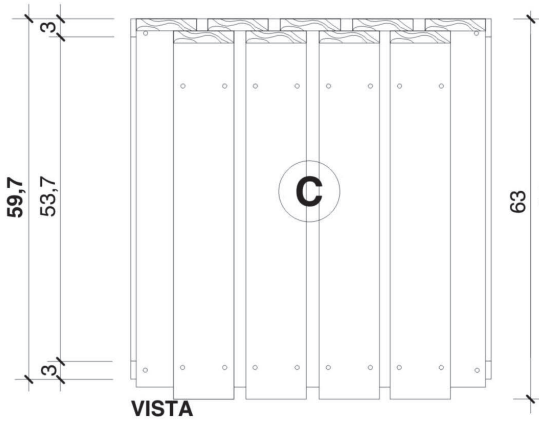
COMPONENTE (corte)

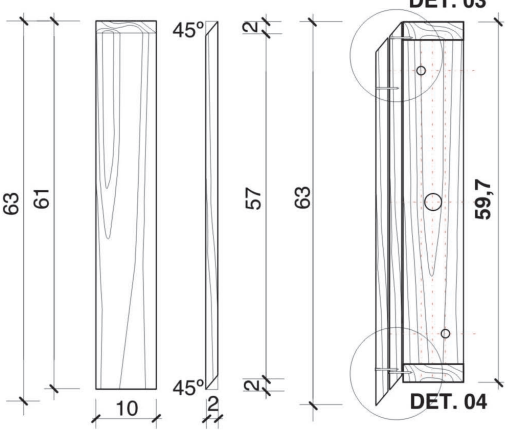


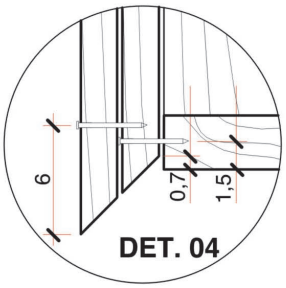


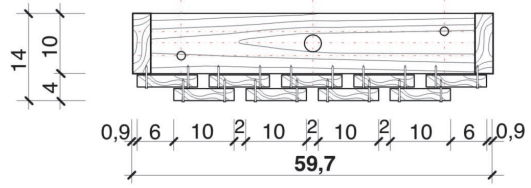
PLANTA PAINEL C - pregação 1ª camada de tábuas p05







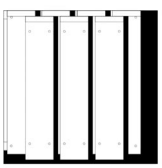


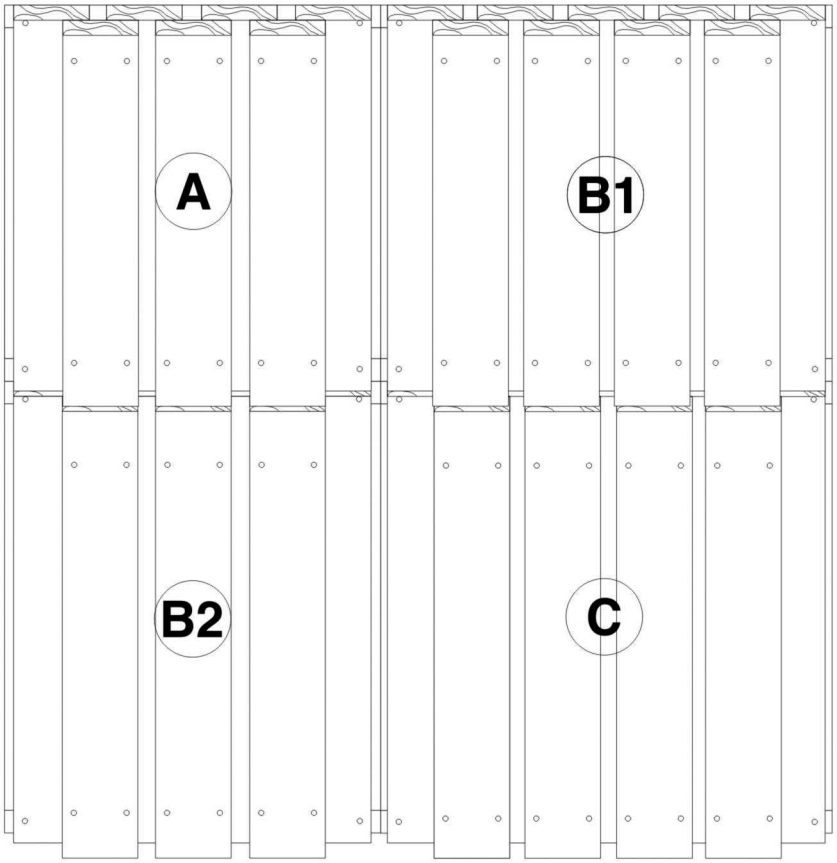


PLANTA PAINEL C - pregação 2ª camada de tábuas p05



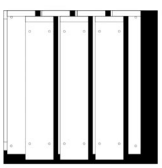
Medidas em centímetros

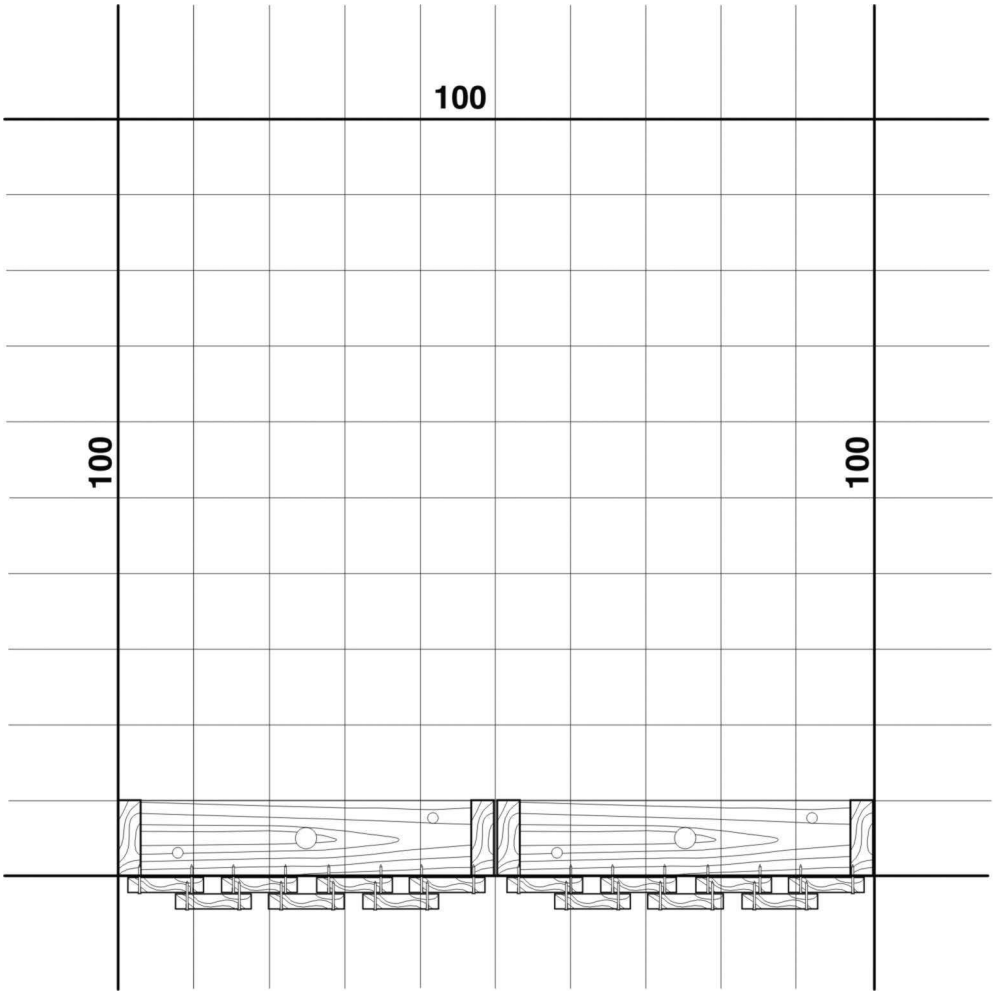


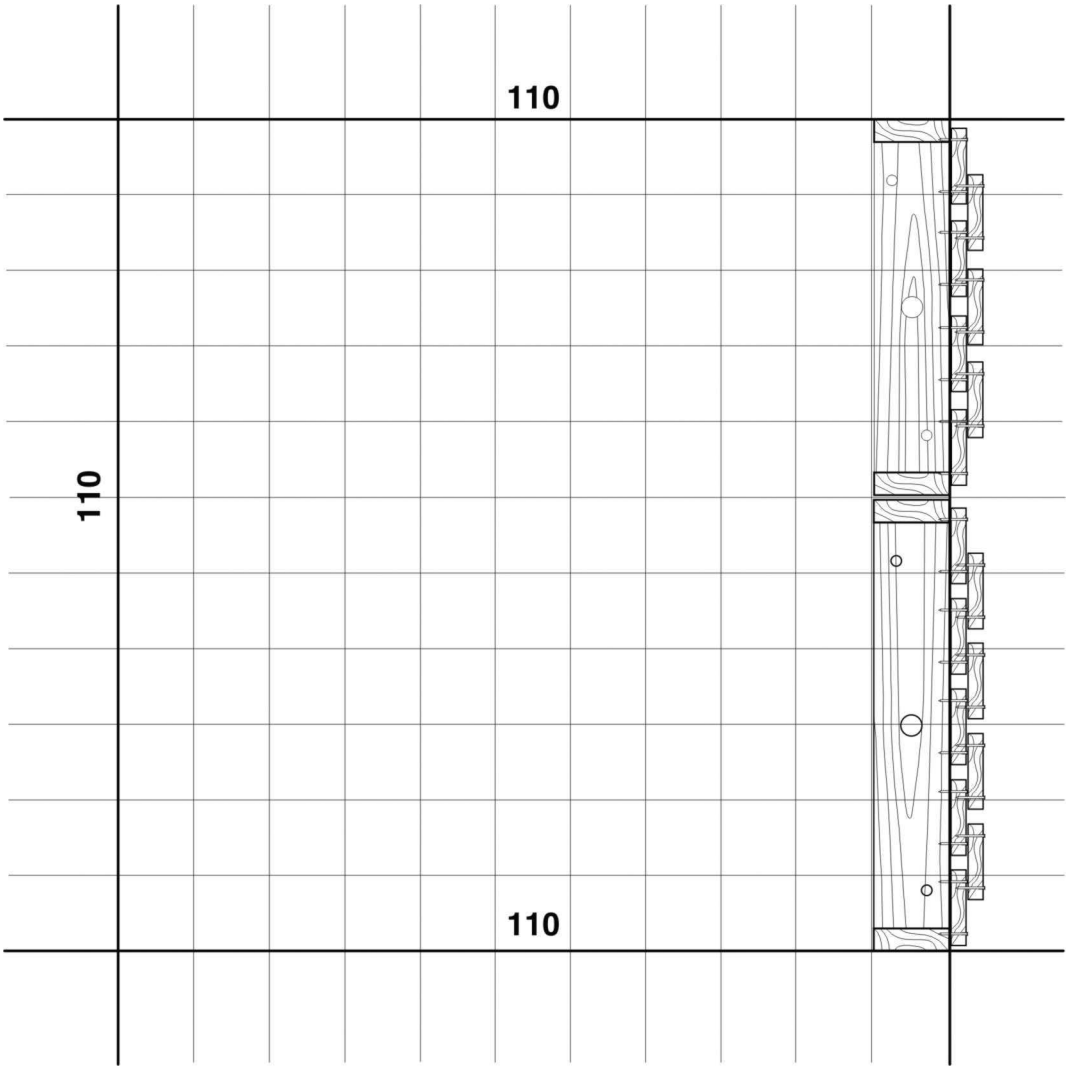


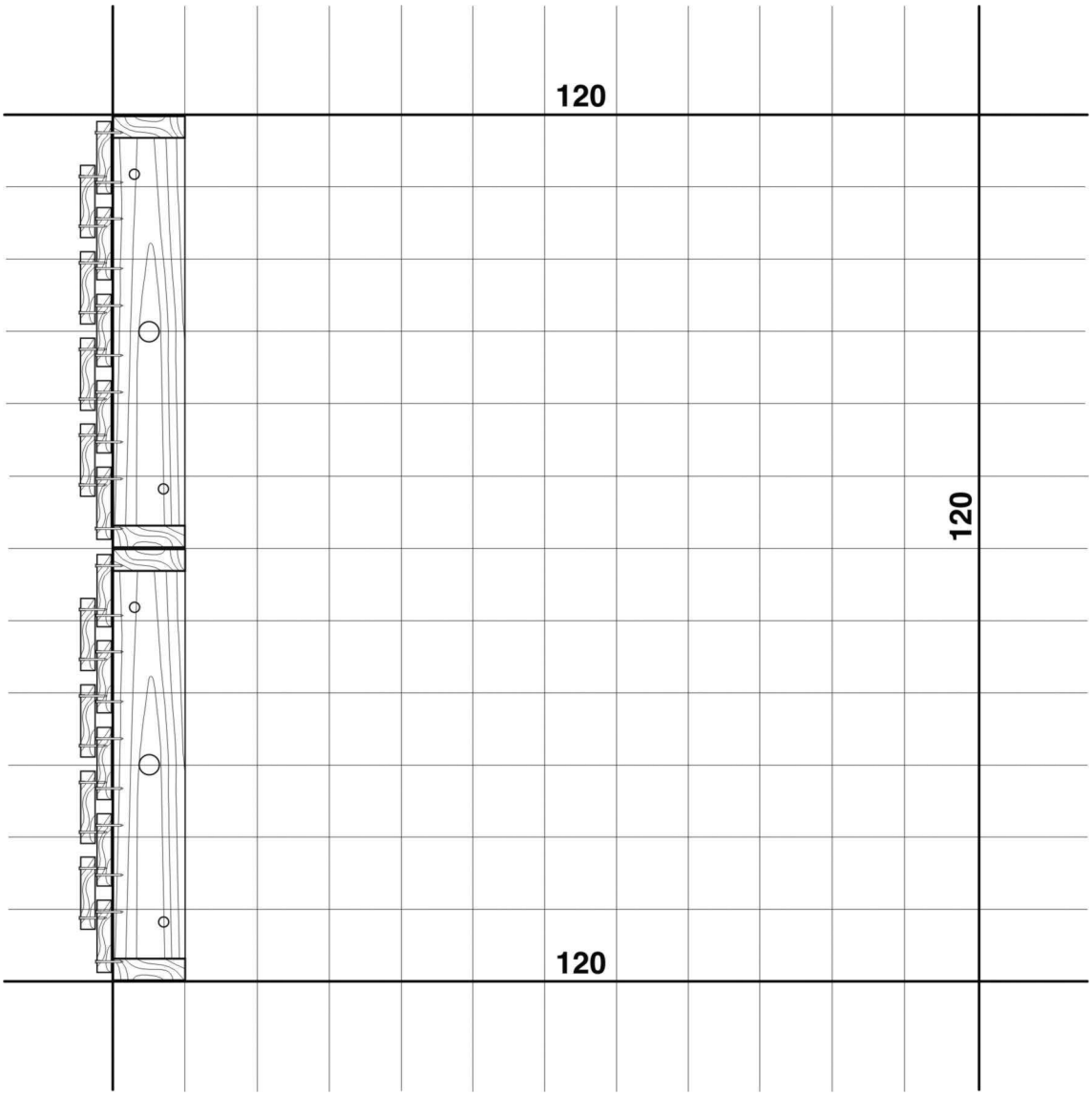
A **Figura 5.21** ilustra em vista dos 4 componentes propostos conforme arranjo utilizado para construir os 3 protótipos. FONTE: Desenhos da Autora (2009).






100
100
100


110
110
110



A **Figura 5.22** ilustra exemplos de retículas projetuais possíveis utilizando os componentes construtivos propostos. FONTE: Desenhos da Autora (2009).

5.3.2 Painéis modulares de madeira – execução e análise da usinabilidade

Diário das ações necessárias à construção:

18 DE DEZEMBRO DE 2008, Campina Grande do Sul-PR. Marcenaria do Sr. Luis R. F. dos Reis. Bracatinga seca gradeada (aproximadamente 1,5 m^3). Problema: não havia madeira suficiente para os painéis projetados na época e as bitolas eram inadequadas. (Figura 5.23).



Figura 5.23 - Bracatinga em 18 de dezembro de 2008. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

18 DE DEZEMBRO DE 2008, Campina Grande do Sul-PR. Serraria do Sr. João Dalphá. Dispôs-se a fornecer 6 m^3 de bracatinga serrada – corte em Janeiro de 2009. Valor: R$ 2.800,00. (Figura 5.24). O objetivo inicial era acompanhar o desdobro da bracatinga.

Contato: Sr. João Dalprá (41) 8442-0072 / 9154-5837.

Empresa: Comércio de Madeiras em Geral Jacob Dalprá e CIA Ltda.

Local: Rua Antônio Meireles Sobrinho, n.º 115 – Engenho Velho – Campina Grande do Sul. CEP. 83430-000.

A tarefa incluiria acompanhar e fotografar algumas etapas como:

1-) medir diâmetro das toras DAP (diâmetro na altura do peito);

2-) observar e registrar a forma de serrar;

3-) registrar detalhes das peças obtidas;

4-) anotar a procedência do material, região em que foram cortadas;

5-) observar se são da mesma área ou se foi necessário obter material de diferentes locais. Quais? (Nomes dos locais);

Perguntar ao pessoal sobre sua experiência no trabalho com bracatinga, tais como:

6-) o material está se comportando como sempre?

7-) alguma dificuldade especial de desdobro deste nosso material?





Figura 5.24 - Serraria do Sr. João Dalphá em 18 de dezembro de 2008.
FONTE: Fotografias da Autora (2009).

8-) alguma observação interessante sobre o material? é muito fino? é muito grosso? serrou bem? o rendimento está dentro do esperado? é bracatinga vermelha ou branca? é a Argentina?

20 DE JANEIRO DE 2009, Campina Grande do Sul-PR. Área próxima à Serraria do Sr. João Dalphá, onde a bracatinga seria cortada. Levantamento fotográfico da área. (Figura 5.25).

21 DE JANEIRO DE 2009, Curitiba-PR. O encarregado das terras recebeu ordens para impedir o corte da bracatinga: “para pesquisa não pode” (Figura 5.26). Em meio à crise no fornecimento de bracatinga os painéis foram reformulados. Como já foi visto, o metaprojeto também pode ser entendido como projeto em movimento, constantemente se adequando às condicionantes mutáveis e inesperadas. Passaram de 120 x 240 cm, que é uma medida muito usual em painéis de madeira em função das chapas de OSB e compensado que fazem o contraventamento em um dos lados. Os novos painéis teriam: 50 x 50 cm, 50 x 60 cm e 60 x 60 cm, e mais do que isto, teriam relações aditivas entre as medidas (Figura 5.27).



Figura 5.26 - Prancheta da autora. Maquetes de madeira balsa. FONTE: Fotografias da Autora (2009).





Figura 5.25 - Área onde a bracatinga seria cortada. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

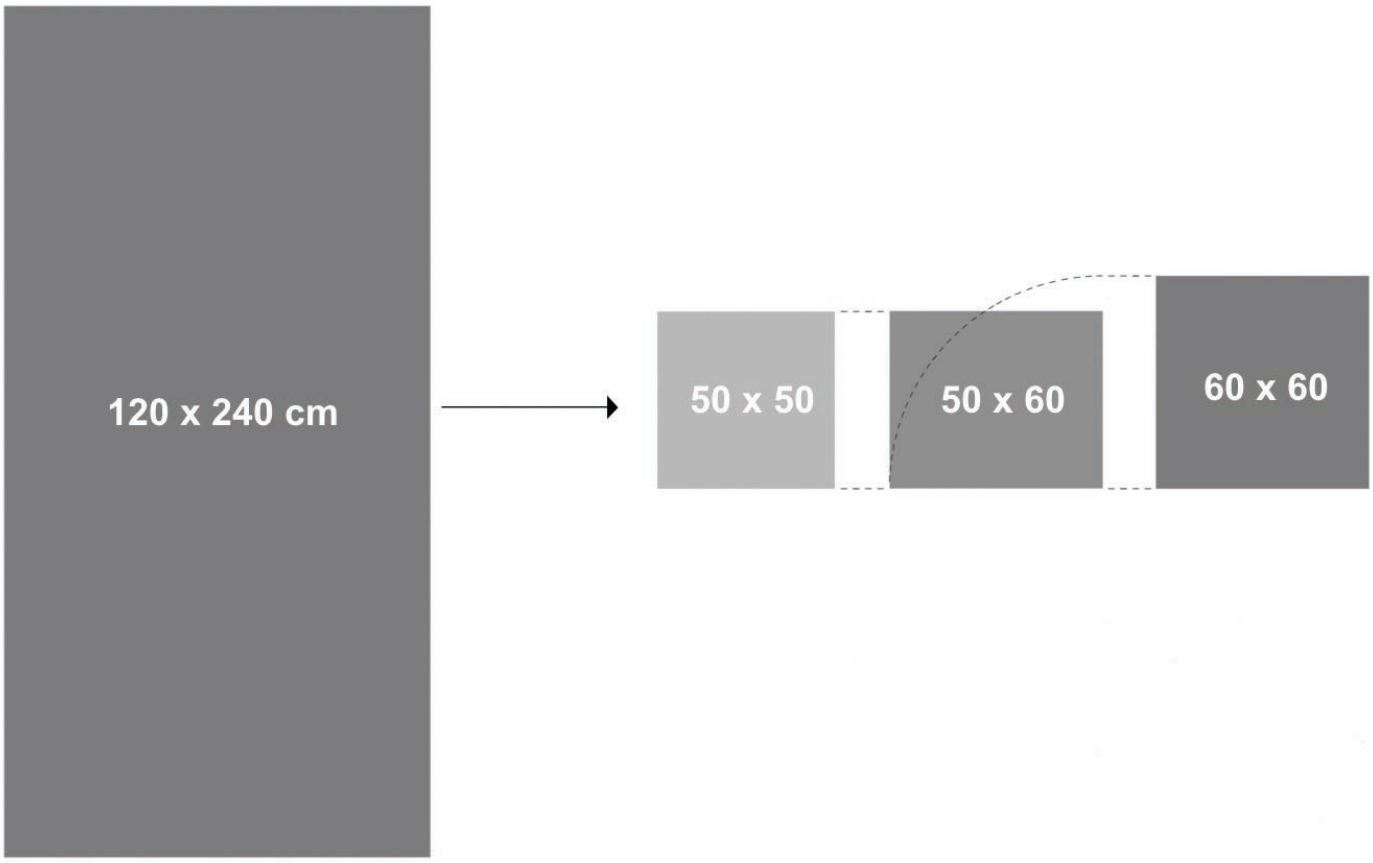


Figura 5.27 - Tamanho dos painéis, antes e depois da reformulação do projeto. FONTE: Desenho da Autora (2009).

9 DE FEVEREIRO DE 2009 (2ª feira) - Chegada da bracatinga seca do marceneiro Luis R. F. dos Reis na Confraria Moveleira - marcenaria do arquiteto Gerson Issao - Rua Iapó, n.º 1777, Prado Velho - Curitiba-PR. (Figura 5.28).



Figura 5.28 - Bracatinga em 10 de fevereiro de 2008. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

10 DE FEVEREIRO DE 2009 (3ª feira) - Algumas peças inteiras foram passadas no desengrosso para avaliar as seções possíveis de serem alcançadas. (Figura 5.29). Depois de obtidas as seções, houve retorno à prancheta para desenhar os painéis (Figura 5.1 a 5.18).

11 DE FEVEREIRO DE 2009 (4ª feira) - As peças foram serradas com 70 cm de comprimento. EQUIPAMENTO UTILIZADO: SERRA CIRCULAR / 1 HOMEM TRABALHANDO, assistente André. (Figura 5.30). Em seguida, no mesmo dia, as peças foram aplainadas. EQUIPAMENTO UTILIZADO: PLAINA / 1 HOMEM TRABALHANDO, assistente André (Figura 5.31). Depois o desengrosso foi ajustado pelo Sr. Antenor para as medidas pretendidas. (Figura 5.32). E todas as peças passaram pelo desengrosso. EQUIPAMENTO UTILIZADO: DESENGROSSO / 1 HOMEM TRABALHANDO, assistente André. (Figura 5.33). E a comparação entre as peças em 18 de dezembro de 2008 e as mesmas ao final do dia 12 de fevereiro de 2009. (Figura 5.34).



Figura 5.29 - Peças de bracatinga sendo passadas no desengrosso. FONTE: Fotografias da Autora (2009).



12 DE FEVEREIRO DE 2009 (5ª feira) - As peças foram serradas com 10 cm de largura. EQUIPAMENTO UTILIZADO: SERRA GIRATÓRIA / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.35). Re-avaliando com o auxílio do Sr. Antenor o tamanho e posição dos parafusos. Método empírico. Todos os dias eu saía da marcenaria e ajustava os desenhos às decisões tomadas. Neste dia, o Sr Antenor,



Figura 5.30 - Peças de bracatinga serradas com 70 cm de comprimento. FONTE: Fotografias da Autora, 2009).





Figura 5.31 - Peças de bracatinga sendo aplainadas. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

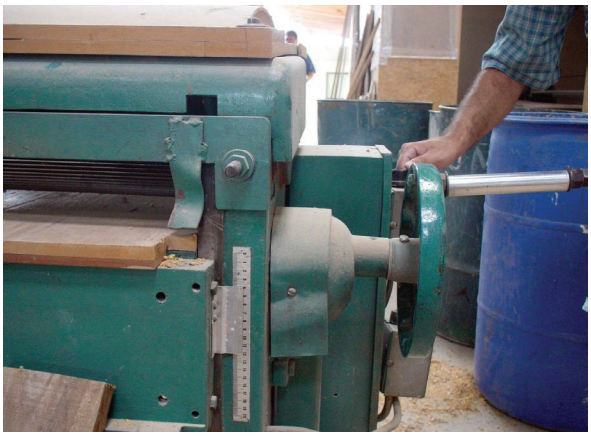


Figura 5.32 - Desengrosso sendo ajustado pelo Sr. Antenor para as medidas pretendidas. FONTE: Fotografias da Autora (2009).



Figura 5.33 - Peças de 70 cm sendo passadas pelo desengrosso. FONTE: Fotografias da Autora (2009).



Figura 5.34- Comparação entre a madeira bruta e a madeira beneficiada. FONTE: Fotografias da Autora (2009).



Figura 5.35 - Peças de bracatinga sendo serradas com 10 cm de largura. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

marceneiro desde 1971, me disse: “Qualquer peça de bracatinga com mais de 1,5 m de comprimento vai torcer e empenar e com mais de 10 cm de largura vai encanoar”. Foi um momento de certeza de que o projeto era apropriado às características do material. (Figura 5.36). Depois de serradas com 10 cm de largura as peças foram passadas novamente pelo desengrosso. EQUIPAMENTO UTILIZADO: DESENGROSSO / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.37). As peças foram classificadas em 3 grupos: 1º - sem rachaduras ou nós (pilha do meio); 2º - com pequenas rachaduras e nós vivos ou íntegros (pilha da esquerda); e 3º - com rachaduras, nós mortos e podridão (pilha da direita). ANÁLISE VISUAL / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.38). As peças que compõem a estrutura dos painéis ficaram com 2,9 x 10 cm acabadas. (Figura 5.39).



Figura 5.36 - Reunião com Sr. Antenor, marceneiro desde 1971. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

13 DE FEVEREIRO DE 2009 (6ª feira) - Estruturas dos painéis parafusadas com parafusos Philips 6,0 x 70. EQUIPAMENTO UTILIZADO: PARAFUSADEIRA / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.40). Peças sendo marcadas com as posições dos furos. (Figura 5.41). Painéis sendo furados com broca 11. EQUIPAMENTO UTILIZADO: FURADEIRA HORIZONTAL / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.42). Painéis parafusados com parafusos (10 x 80). EQUIPAMENTO UTILIZADO: CHAVE DE BOCA / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.43). Painéis unidos e lixados. EQUIPAMENTO UTILIZADO: LIXADEIRA ELÉTRICA / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.44).



Figura 5.39 - Peças com medidas finais. FONTE: Fotografias da Autora (2009).



Figura 5.37 - Peças com 10 cm de largura passando novamente pelo desengrosso. FONTE: Fotografias da Autora (2009).





Figura 5.38 - Classificação das peças. FONTE: Fotografias da Autora (2009).





Figura 5.40 - Peças sendo parafusadas. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

16 DE FEVEREIRO DE 2009 (2ª feira) - Tábuas sendo cortadas com ângulo de 45º. EQUIPAMENTO UTILIZADO: SERRA GIRATÓRIA / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.45). Tábuas sendo fixadas com pinadeira / utilização de gabaritos. EQUIPAMENTO UTILIZADO: PINADEIRA / 1 HOMEM TRABALHANDO, marceneiro Luís. (Figura 5.46).

16 DE FEVEREIRO DE 2009 (2ª feira) - 17h30 – Painéis prontos e unidos constituindo 1 m^2 de parede (Figura 5.47).



Figura 5.41 - Peças sendo marcadas com a posição dos furos. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

20 DE JULHO DE 2009 (2ª feira) até 27 DE JULHO DE 2009 - (Figura 5.48 / Figura 49). As 8 peças-sistema, sendo 4 de ipê e 4 de pinus, foram produzidas pelo Sr. Antenor, que trabalhou sozinho das 17h30 às 20h00, sem gabaritos e sem o auxílio da autora, que apenas deixou o projeto com ele. Apesar de uma aparente complexidade inicial do sistema, depois que o marceneiro o compreende não há dificuldade na execução.



Pequenas alterações de projeto, com relação ao projeto original, como os furos excêntricos (Figura 5.50) para diminuir as tensões da madeira, foram feitas nesses protótipos, e constituem uma evolução com relação ao protótipo anterior. Outra diferença é com relação à seção transversal das peças estruturais que no protótipo de pinus ganharam espessura ficando com 4 x 10 cm, para aumentar a resistência das peças. As mesmas peças no protótipo de ipê foram mantidas com 3 x 10 cm, mas poderiam ter sido reduzidas para 2,0 x 10 cm sem qualquer transtorno.

As alterações necessárias durante o processo de produção dos componentes de pinus e ipê devem-se às características tecnológicas das espécies. Por exemplo, com relação à pregação das tábuas



Figura 5.42 - Furação das peças. FONTE: Fotografias da Autora (2009).





Figura 5.43 - Painéis sendo parafusados um ao outro. FONTE: Fotografias da Autora (2009).





Figura 5.44 - Painéis unidos e lixados. FONTE: Fotografias da Autora (2009).





Figura 5.45 - Tabuas sendo cortadas com ângulo de 45º. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

na estrutura dos painéis, que foi feita com a pinadeira na bracatinga e no pinus, nós previámos que teríamos problemas de trabalhabilidade com o ipê. A previsão era que teríamos que primeiro furar as tábuas e depois pregar. Surpreendentemente, a pinadeira mostrou-se eficiente e as tábuas de ipê foram fixadas também desta maneira, num processo rápido e fácil.

Para uma produção em escala industrial, serão necessários alguns gabaritos metálicos, fixados sobre bancadas de trabalho para facilitar a montagem dos componentes sem recorrer a trenas, e para conseguir dimensões finais exatas e homogêneas. A realização dos protótipos em uma marcenaria teve um caráter muito mais de apropriação de uma experiência com os materiais e, mais do que a materialização de um projeto, constituiu parte da metodologia de projeto proposta aqui. Constituiu etapa preliminar, em um movimento natural de projeto que incluiu ações e retrocessos, resolvendo, à medida que os problemas surgem durante a construção dos protótipos, as questões técnicas e plásticas inerentes ao sistema.



Figura 5.46 - Tábuas sendo fixadas à estrutura dos painéis com pinadeira. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

5.3.3 Dados comparativos com outros elementos de vedação

A tabela abaixo tem apenas um caráter ilustrativo, pois não apresenta dados conclusivos. Compara o preço de tijolos de barro produzidos em larga escala com painéis de madeira produzidos de maneira artesanal. Portanto, as paredes de madeira têm um preço superior às de alvenaria, mas com perspectivas de redução através da produção industrializada. No atual estágio de utilização da madeira no país não é possível prever o preço que componentes como esse terão no futuro, mas é certo dizer que os ganhos ambientais – em comparação à energia gasta durante o processo e utilização de recurso mineral dos tijolos de barro – são evidentes.





Figura 5.48 - Peças de pinus e ipê. FONTE: Fotografias da Autora (2009) e Figura 5.49 - Protótipos prontos. FONTE: Fotografias da Autora (2009).





Figura 5.47 - Painéis de bracatinga prontos e unidos constituindo 1 m² de parede. FONTE: Fotografias da Autora (2009).



Figura 5.50 - Furos excêntricos nos novos protótipos. FONTE: Fotografias da Autora (2009).

Descrição	Componentes	Unidade	$ Material	$ Mão de Obra	$ Total	Total geral
Parede alvenaria Interna (10 cm de espessura)	Tijolos de barro maciços (5x10x21), arg. mista (1:4+130 Kg cim/m³)	m²	21,41	19,68	41,09	
	Chapisco parede interna, arg. Cim/pedra, traço 1:4, e=7 mm	m²	1,12	2,66	3,78 x 2 = 7,56	
	Emboço parede interna, arg. mista, e=20 mm	m²	2,62	7,75	10,37 x 2 = 20,74	
	Reboco parede interna, arg. Areia/cal hidr. 1:1,5 e=5 mm	m²	0,96	6,64	7,60 x 2 = 15,20	
	Pintura PVA Interna c/ massa e selador	m²			13,34 x 2 = 26,68	**R$ 111,27**
Parede alvenaria Externa (21 cm de espessura)	Tijolos de barro maciços (5x10x21), arg. Mista (1:4+130 Kg cim/m³)	m²	44,38	31,32	75,70	
	Chapisco parede externa, arg. Cim/ pedra, traço 1:4, e=7 mm	m²	1,12	2,66	3,78 x 2 = 7,56	
	Emboço parede externa, arg. Mista, e=20 mm	m²	2,95	7,75	10,70 x 2 = 21,40	
	Reboco parede externa, arg. Pré-fabricada e=5 mm	m²	2,19	7,06	9,25 x2 = 18,50	
	Pintura PVA externa c/ massa e liq. preparador	m²			15,93 x 2 = 31,86	**R$ 155,02**
Parede composta (madeira + gesso acartonado)	Placa de gesso acartonado colocada	m²			78,00 : 2 = - aprox. 39,00	
	Painel de bracatinga (estrutura + vedação)	m²		**200,00**	**0,08 m3 36,00**	
	Chapa de OSB / Chapa de compensado	m²			x	
	Material isolante (barreira de vapor)	m²			5,00	**R$ 305,00**
	Pregos / parafusos	m²			**25,00**	

TABELA 5.2 - COMPARAÇÃO DE PREÇOS ENTRE PAREDES COM DIFERENTES COMPOSIÇÕES.

FONTE: SEOP – Secretaria de Estado de Obras Públicas - Governo do Estado do Pará, RESOLUÇÃO 080/08 de 2008.

Na tabela abaixo são comparados o peso de 1 m² de parede de alvenaria com 1 m² de parede de madeira: com relação ao peso próprio, a parede de madeira (de densidade média) é 3,5 vezes inferior ao de alvenaria. Isso representa uma grande vantagem, visto que

as fundações serão muito menos solicitadas, podendo ser menores e menos danosas ao meio ambiente. Com relação ao tempo de montagem em obra, a montagem a seco também representa uma grande economia com mão de obra, pois pode reduzir para cerca de 1/3 o tempo necessário para a construção das paredes.

TABELA 5.3 - COMPARAÇÃO ENTRE 1 M² DE PAREDE DE ALVENARIA (TIJOLOS MACIÇOS 5 X 9 X 20 CM) E 1 M² DE PAREDE DE BRACATINGA (PAINÉIS 15 X 50 X 50 CM)

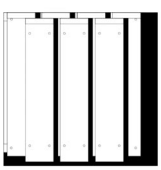
	160 KG PESO APROX. DE 1 m² de parede de alvenaria de tijolos maciços 5 x 9 x 20 cm Total = 80 tijolos Necessidade de argamassa, emboço, reboco, etc. / tempo de secagem	**45 KG** PESO APROX. DE 1 m² de parede de bracatinga de painéis 15x50x50 cm Total: 4 painéis Obra seca
PESO		
TEMPO OBRA	**45 minutos**	**15 minutos**
CUSTO	**R$ 155,00**	**R$ 305,00** (feita artesanalmente - sem economia de escala)

5.4 CONCLUSÕES / RESUMO CAPÍTULO V

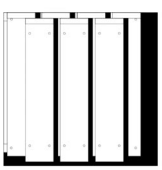
O objetivo do projeto era oferecer alternativa para a construção de paredes estruturais ou de vedação mais leves, de montagem mais rápida e a seco e que utilizam madeira que é matéria prima renovável em sua composição. A aplicação da fórmula proposta na tese foi executada em madeira com os seguintes valores: 50 x 50 x 10 cm; 50 x 60 x 10 cm e 60 x 60 x 10 cm. Para a fabricação dos componentes em madeira foram utilizadas peças de madeira maciça e pregos (ou pinos / pinadeira). No caso da madeira, deve-se fabricar os componentes com – 1,5 mm de cada lado, ou seja, n - 3 mm x n - 3 mm, para garantir que eles ocupem o vão dimensional. A união entre os componentes é feita através de parafusos, arruelas e porcas de aço. Para a produção em escala industrial, serão necessários gabaritos metálicos para agilizar o processo de montagem dos componentes. A realização dos protótipos em uma marcenaria serve primordialmente para resolver o projeto, portanto constituiu parte da metodologia de projeto proposta nesta tese. Os componentes apresentam uma série de vantagens em relação às técnicas já existentes que serão apresentadas nos resultados do capítulo 6.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS



“...há quem passe pela floresta e só enxergue lenha para fogueira...”
Leon Tolstoi

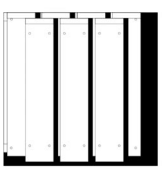


6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Um dia perguntei: “mãe, você acha que eu estou sendo uma boa mãe?” E minha mãe me respondeu que sim. Insisti: “mas o que eu poderia fazer para melhorar?” E ela me respondeu: *“Você precisa ter mais fé”.* Passaram-se uns dias e tive notícias do meu professor de yoga, que estava há 12 dias escalando montanhas cobertas de neve no Himalaia, sem banho e comendo frugalmente. Francisco contou que chegou ao topo da montanha mais alta antes de um grupo de alpinistas alemães e, percebendo que estes precisavam de ajuda, voltou para ajudá-los. Não pode deixar de olhar espantado seus narizes que sangravam muito e, depois, surpreendeu-se ao ver que seu próprio nariz estava em carne viva. Ao ser perguntado como havia chegado, ele respondeu: *“caminhei sem pensar, num exercício de fé”.* Escrever uma tese é algo parecido, não se pode pensar muito, não se deve a cada instante olhar o que foi feito e muito menos o que falta a fazer para concluir o trabalho; é preciso seguir em frente, onde incertezas são muito mais abundantes do que certezas, num exercício de fé.

Os diversos assuntos desta tese pareceram por vezes não ter relação alguma entre si, caminhar entre eles com uma grande agulha e muita linha foi, acima de tudo, um exercício de fé. Às vezes, a costura reta e precisa pode ser interpretada como certeza, mas certeza objetiva nunca houve; outras vezes a costura é torta e chega a sair do tecido [ou papel], o que remete à ideia de abandono, que também é falsa. Dúvidas, questionamentos, estão por toda parte e também em toda arte e, por isso, são bem vindos. Por mais que um olhar de indignação se arme num primeiro momento, é preciso respirar e lembrar que este trabalho foi realizado entre áreas distintas do conhecimento, onde ainda não se formou sequer um léxico consistente. Sim, temos madeira. Sim, temos arquitetos. Mas sabemos fazer arquitetura de madeira? A resposta é que estamos ainda aprendendo a pensar a arquitetura, não apenas a arquitetura de madeira, mas a arquitetura do nosso tempo, do século XXI. E estamos aprendendo, ao longo do tempo, de um tempo de mudanças aceleradas e de muita informação e pouco conhecimento. Ao mesmo tempo em que a arquitetura torna-se a cada dia uma matéria mais colorida e multifacetada, crescem igualmente os desafios e complexidades. A figura do arquiteto está em crise e corre o risco de se extinguir se não houver a tomada de consciência de que seu papel está muito além da prancheta ou do computador, devendo permear todo o processo mecânico, coordenando de ponta a ponta o processo, desde a produção dos produtos até a obra pronta.

Assim, este capítulo apresenta as considerações finais e conclusões sobre as reflexões feitas ao longo da pesquisa teórica e sua apropriação na execução do projeto dos protótipos. A proposta era refletir sobre arquitetura, mais do que qualquer outra coisa, e o objetivo foi cumprido. Em muitos assuntos a discussão pode e deve ser aprofundada, afinal, conhecimento de verdade leva tempo para ser adquirido e mais tempo ainda para se



consolidar. Em outros assuntos, soluções melhores serão encontradas em breve, e assim espero. E, se as questões aqui levantadas e organizadas tiverem contribuído com isso, mesmo que de maneira singela, este trabalho terá valido a pena.

6.1 RESULTADOS DA PESQUISA

6.1.1 Resultados gerais da pesquisa

O objetivo geral deste estudo era investigar e refletir sobre o projeto de arquitetura como um todo e propor soluções de projeto e produção de componentes (painéis) constituídos por peças curtas de madeira maciça para paredes.

Como resultados, o trabalho apresenta:

1. Reflexões sobre o projeto de arquitetura e o *metaprojeto* construtivo como um conjunto de ferramentas para uso diário do arquiteto – principalmente o uso de retícula projetual, modelos de categoria e coordenação dimensional –, como instrumento de racionalização e otimização do processo de concepção e construção da arquitetura;
2. Solução de projeto de peças-sistema construídas com peças curtas (com comprimentos inferiores a 70 cm) de madeira maciça, produzidas dentro de um esquema de pré-fabricação aberto, com uma propriedade aditiva que permite que se construa uma infinidade de longitudes e alturas com apenas 4 componentes para paredes de vedação e/ou estruturais, passíveis de serem montadas a seco;
3. Demonstração de sua viabilidade através da construção de protótipos com três espécies: uma nativa local, a bracatinga (*Mimosa scabrella*); uma exótica de reflorestamento, o pinus (*Pinus* spp.); e uma nativa amazônica, o ipê (*Tabebuia* spp.).

6.1.2 Resultados específicos da pesquisa

Os objetivos específicos desta pesquisa podem ser assim resumidos: Desenvolvimento de componentes construtivos para paredes de vedação e/ou estruturais que levem a melhorias em: qualidade e agilidade dos projetos arquitetônicos, por serem adaptáveis a retículas de projeto; qualidade da construção e redução do tempo de obra, por serem passíveis de serem industrializados e montados a seco; competitividade da madeira como material de construção, reduzindo desperdícios através do aproveitamento de resíduos de madeiras e peças de menor dimensão.

RESULTADOS – VANTAGENS E MELHORAMENTOS DO SISTEMA PROPOSTO EM COMPARAÇÃO ÀS TÉCNICAS JÁ EXISTENTES:

1-) Os painéis, por serem pequenos, podem ser transportados por veículos menores e carregados por apenas uma pessoa;

2-) Os painéis aproveitam em sua fabricação peças de menor seção, ou seja, aproveitam madeiras provenientes de plantios mais jovens ou resíduos de madeiras utilizadas para a produção de outros componentes já existentes no mercado, por exemplo, as madeiras tropicais utilizadas para a fabricação de pisos, decks e demais elementos construtivos;

3-) Outra vantagem deste sistema é o fato de, com apenas quatro tamanhos de painéis, ser possível fechar, tanto em longitude, quanto em altura, uma infinidade de vãos diferentes em arquitetura. Esse princípio aditivo permite que haja variedade, diferentemente do que geralmente acontece em construções com painéis, em que se fica limitado à largura e altura do painel como definidores das larguras e alturas dos espaços. Esse é o grande diferencial deste produto;

4-) O sistema permite conceber um projeto dentro de uma grade cartesiana tridimensional: {(x.y.z.) para todos os valores inteiros positivos}, com a possibilidade de trabalhar com três retículas homogêneas de projeto em arquitetura: uma grelha M1 (100 cm), uma grelha M2 (110) e uma grelha M3 (120 cm). As divisões equivalentes para refinamentos dimensionais são, portanto, (M1)/2 (50 cm + 50 cm), (M2)/2 (50 cm + 60 cm) e (M3)/2 (60 cm + 60 cm);

5-) O sistema permite que os arquitetos trabalhem com grelhas de projeto variadas, por exemplo: grelhas homogêneas: 1,00 x 1,00 m; 1,10 x 1,10 m; 1,20 x 1,20 m; e grelhas tartan: 1,00 x 1,10 m; 1,00 x 1,20 m, e assim por diante;

6-) Por se tratar de um esquema de pré-fabricação aberto, os componentes “dialogam” com outros componentes já existentes no mercado;

7-) Os componentes adequam-se à coordenação modular decimétrica, o que facilita a sua interação com outros materiais da construção civil;

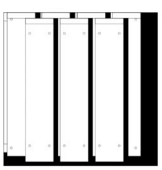
8-) Por se tratar de uma fórmula matemática que estabelece relações e não medidas efetivas, os painéis podem ser produzidos em escalas diferentes desta apresentada na tese, por exemplo, no caso de uma obra pública.

6.2 PROPOSTAS PARA CONTINUIDADE DA PESQUISA

São muitas as vertentes possíveis de continuidade desta pesquisa:

A-) Com relação ao projeto de arquitetura e o *metaprojeto* construtivo:

- Aprofundar o estudo sobre metodologia de projeto arquitetônico e sua relação



com a materialização da arquitetura;

- Aprofundar os estudos relacionados ao projetar com madeira, ou seja, as questões diretamente relacionadas ao projeto da arquitetura de madeira, de componentes ou artefatos;

B-) Com relação ao desenvolvimento de peças-sistema:

- Desenvolvimento das peças-sistema propostas na tese, suas interfaces com outros materiais, peças com aberturas (portas e janelas) e o desenho e detalhamento dos cantos;
- Desenvolver componentes pertencentes a outros modelos de categoria propostos por Oliveri (1972), como, por exemplo, para planos verticais e horizontais utilizando a madeira.

C-) Com relação às experiências construtivas:

- Continuar realizando experiências construtivas como um apoio ao projeto de arquitetura, com o objetivo inicial de resolver questões do projeto, eminentemente técnicas, plásticas e funcionais;
- Como uma etapa posterior, realizar ensaios construtivos com as peças-sistema propostas, sobre uma laje de reação, para comparar os desempenhos dos componentes com relação às diversas espécies;
- Em última etapa, construção de protótipos e realização de ensaios de desempenho térmico, acústico, entre outros; sempre considerando a possibilidade de retroceder e alterar o projeto, com vistas a melhorá-lo progressivamente.

6.3 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O objetivo principal deste trabalho era investigar e refletir sobre o projeto de arquitetura como um todo e propor soluções de projeto de componentes constituídos por peças curtas de madeira maciça para paredes. O desenvolvimento de componentes, ou peças-sistema, se apresenta como uma alternativa para agregação de valor à matéria prima e geração de renda e empregos em diversos setores, além de aumentar a participação da madeira na construção e mercado nacionais. No que tange às construções de madeira, a prática demonstra que se precisa trabalhar a favor do desenvolvimento de uma tecnologia nacional e contra preconceitos culturais nos diversos segmentos econômicos da população.

Dessa forma, o conhecimento das características e propriedades tecnológicas da madeira e o projeto de *peças-sistema* são apresentados como ponto de partida para o desenvolvimento de tecnologias, projetos e obras que utilizem a madeira, como maneira de promover o uso deste material no Brasil.

Assim, podemos concluir que a única estratégia possível para melhorar os projetos de arquitetura e a sua concretização nas obras é a consideração do processo de produção como de fundamental importância, como balizador capaz de orientar a concepção e o desenvolvimento dos sistemas e dos projetos. Fazer uso apenas de materiais que sejam absolutamente indispensáveis para a realização dos componentes e da obra, além de procurar inserir alternativa renovável, faz parte desta metodologia proposta. Todo o material deve trabalhar, na plenitude de suas características, onde a preocupação com a construção, seus processos de produção, a tectônica resultante e sua manutenção são determinantes. Quando o emprego correto dos materiais e da energia necessária para a produção, uso e manutenção são determinantes, os projetos resultam naturalmente mais sustentáveis.

A arquitetura progressivamente se transforma, o canteiro de obras se transforma num *canteiro de montagem* de peças e elementos pré-fabricados. Painéis, vigas e instalações fabricados em oficinas, não pertencentes a um único sistema, mas a diversos sistemas abertos possibilitando um diálogo colorido e multifacetado. O construtor pragmático é o que consegue reduzir os materiais e a construção a poucas e simples operações de encaixe entre sistemas compatíveis. O arquiteto pragmático busca compor sistemas que minimizem o consumo de energia e seus impactos ambientais, o uso preciso de materiais leves junto a recursos passivos que aproveitem as características do terreno, a concepção de sistemas construtivos para montagem a seco que prevejam o possível desmonte dos componentes, a eliminação de acabamentos aderentes como vernizes ou pinturas, etc. São geradas naturalmente organizações que se estabelecem por relações sistêmicas. E a lógica ou linguagem dos projetos contemporâneos é tão múltipla, variada e complexa quantos e como forem os sistemas pelas quais se organiza.

Os sistemas atuais de construções em madeira são por regra geral sistemas abertos. Oferecem uma grande flexibilidade no que se refere ao uso individualizado e também em combinação com outros sistemas. São concebidos como produtos e podem ser considerados como *peças-sistema*, desenhados para utilização como parede, piso ou cobertura. Em arquitetura, o *metaprojeto* (principalmente o uso de retícula projetual e modelos de categorias) assume correlações com os sistemas abertos de projetação, modulares ou não e com sistemas tecnológicos que permitam pré-fabricação. O fato do metaprojeto ser um tipo de “obra aberta” faz com que as suas proposições possam existir mesmo não estando moduladas com outros materiais. Enquanto a coordenação modular depende de uma série de cadeias produtivas industriais, que não conversam entre si, um metaprojeto em madeira permite ampla liberdade de configuração com outros materiais, sem necessitar de uma coordenação de medidas muito rigorosa.

A noção de construção com componentes envolve, sem dúvida, a associação de elementos construtivos e a eliminação dos cortes e ajustes na obra, ou do emprego de

materiais com dimensões indeterminadas, como as argamassas. Mas a construção com componentes representa mais do que isso. Ela implica, para o arquiteto, na liberdade de aproveitar a seu gosto tantos componentes quantos forem necessários e das mais variadas origens no projeto. No desenvolvimento de sistemas abertos estão as bases para uma reorganização da ordem construtiva.

Trabalhos complementares com ênfase em Políticas Públicas serão extremamente necessários para viabilizar a inserção da madeira na construção nacional. Falta-nos – a nós, cidadãos brasileiros – pensar o Brasil mais seriamente e falta – a nós, Arquitetos e Urbanistas – sermos mais ativos nos processos decisórios. Com nosso aporte técnico, a indústria da construção civil poderá avançar com relação à qualidade dos produtos em diversas esferas: a econômica, a plástica e a ambiental simultaneamente. Com relação ao fomento e à gestão de florestas, que conciliem espécies de crescimento rápido com espécies nativas de crescimento lento, constituem uma maneira de aumentar a biodiversidade em Território Nacional e garantir um suprimento rico e variado de madeiras aptas a serem utilizadas em produtos duráveis na arquitetura e construção.

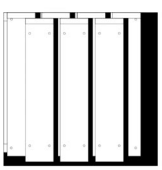
O maior embate ao uso da madeira em nosso país é essencialmente cultural. E, parte do problema é gerado pela falta de conhecimento dos próprios arquitetos. Uma vez assimilada pelos profissionais de projeto, a madeira entrará automaticamente nos outros setores, o da produção de componentes e da construção. Parte-se da ideia de que melhorando o desempenho de componentes e técnicas construtivas em madeira – aliando os conhecimentos das propriedades da madeira com suas possibilidades e vantagens como material de construção – se consiga promover a madeira como uma excelente opção, aumentando sua competitividade na arquitetura e construção civil brasileiras.

A prática de projeto precisa evoluir e incluir em suas etapas o desenvolvimento de produtos, levando em conta os processos mecânicos e as etapas construtivas. Uma solução para os problemas atuais enfrentados pela arquitetura seria o desenvolvimento tecnológico e arquitetônico simultâneos. O

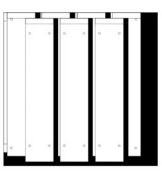
arquiteto voltaria a coordenar as etapas, não mais como o ***"mestre construtor"***, parte arquiteto, parte construtor, parte engenheiro civil e de produção, parte cientista de materiais, mas como um amálgama que une as diferentes figuras e eventos que concorrem para que a arquitetura aconteça.

Para a produção em escala industrial das peças-sistema propostas neste trabalho, serão necessários gabaritos metálicos para agilizar o processo de montagem dos componentes. A realização dos protótipos em uma marcenaria – serve primordialmente para resolver o projeto –, portanto, constituiu parte da metodologia de projeto proposta nesta tese: definir as matizes de um pensamento arquitetônico contemporâneo, em que projeto e produção de componentes são inerentes ao *projetar* e, portanto, tarefa do arquiteto. Para que isso se efetive, é importante, incluir, no ensino de projeto, dentro das universidades, experiências projetuais e construtivas associadas, desde os primeiros anos do curso de arquitetura, como forma de aumentar a visão técnica e a apreensão da tectônica, ingredientes que só são passíveis de apropriação através da experiência.

Por fim, como foi dito no início desta tese, uma experiência é algo que nos acontece, nos toca, se apodera de nós, nos tomba e nos transforma. Portanto, não se trata de algo sob nosso controle, porque somos parte do processo, caminhamos todos por uma floresta de muitas trilhas possíveis. Uma pesquisa exploratória requer certo grau de abertura, de disponibilidade para a experiência assim entendida. Da mesma maneira que as trilhas são variadas, as descobertas são múltiplas e surpreendentes. Os objetivos principais foram alcançados, refletir sobre uma nova prática arquitetônica de projeto, voltada para o desenvolvimento de componentes de madeira. Mais do que isso, foi possível experimentar pelo caminho, houve tempo para tocar e sorver o perfume das três espécies utilizadas nos protótipos, carregar os componentes por longos corredores e no carro, montar e desmontar, fotografar, escrever, e, entre enganos e acertos, uma proposta foi delineada. Agora é preciso experimentar, na busca de um *saber fazer* que só pode ser construído com a prática e ao longo do tempo.



REFERÊNCIAS



1 ÁBALOS, I. **A boa-vida.** Visita guiada às casas da modernidade. Barcelona: Editorial Gustavo Gilli, 2003.

2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190/97**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <http:www.abnt.org.br>. Acesso em: 14/12/2008.

4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5706/77**: Coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1977.

5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5730/82**: Símbolos gráficos empregados na coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1982.

6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5731/82**: Coordenação modular da construção. Rio de Janeiro, 1982.

7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5725/82**: Ajustes modulares e tolerâncias. Rio de Janeiro, 1982.

8 AFLALO, Marcelo; MÜLLER, Dominique Gauzin; MARTINS, Alberto; WISNIK, Guilherme. **Madeira como estrutura**: a história da Ita – Wood as structure: the story of Ita. São Paulo: Paralaxe, 2005.

9 BARBOSA, Juliana Cortez; INO, Akemi. Cadeia Produtiva de Habitação em Madeira de Reflorestamento – Análise do Ciclo de Vida (LCA) e Indicadores de Sustentabilidade. In: VII EMBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 2000, São Carlos. **Anais...**, São Carlos, 2000.

10 BARNABÉ, Marcos Fagundes; MOURA, Jorge Daniel de Melo. Experiência de implantação de habitação de interesse social: o emprego da madeira de reflorestamento e alvenaria estrutural. **Madeira arquitetura e engenharia**, v. 1, n. 3, Londrina, 2000.

11 BATISTA, Fábio Domingos. **A Tecnologia Construtiva em Madeira na Região de Curitiba**: da Casa Tradicional à Contemporânea. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, 2007.

12 BENDER, R. **Una Visión de la construcción Industrializada.** Barcelona: Editora Gustavo Gilli, 1976.

13 BERRIEL, Andréa B. M. S. **Madeira e Morada:** A Habitação de Madeira como Opção para o Século XXI. Curitiba: Dissertação (Mestrado) - PUC-PR em convênio com UFRGS, Curitiba, 2002.

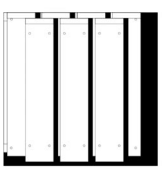
14 BENEVENTE, V. A. **Durabilidade em Construções de madeira**: uma questão de projeto. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1995.

15 BENÉVOLO, Leonardo. **O Último Capítulo da Arquitetura Moderna.** Lisboa: Edições 70, 1985.

16 BITTENCOURT, Rosa Maria. **Concepção Arquitetônica da Habitação em Madeira.** Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

_____. Concepção arquitetônica da habitação em madeira. In: BITTENCOURT, R. M.; HELLMEISTER, J. C. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo: EPUSP - Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1995.

17 BITTENCOURT, Rosa Maria; MELLO, Roberto Lecomte de. Projetar em madeira: uma nova abordagem. In: XI-Ebramem – Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina, 2008.



18 BLASER, Werner. **Mies van der Rohe**. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

19 BLASER, Werner. **West meets East, Mies van der Rohe**. Basel, 1996.

20 BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H. **Le Corbusier: 1910-1965.** Zurich: Les Editions d'Architecture Zurich, 1967.

21 BRAGHIERI, N. **Casas de Madeira.** Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2005.

22 BRUNA, Paulo J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2002.

23 BUNGE, Mário. **Epistemologia:** Curso de Atualização. São Paulo: T. A. Queiroz Editor Ltda, 1980.

24 BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira.** São Paulo: Nobel, 1991.

25 BUTTERFIELD B. G.; MEYLAN B. A. **Three-dimensional structure of wood.** Londres: Chapman and Hall, 1972.

26 CAPORIONI, Garlatti; TENCA-MONTINI. **La cordinación Modular.** Barcelona: G.G., 1971.

27 CARVALHO, Paulo Ernani Ramalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2003.

28 CASTELNOU, Antônio. **Arquitetura Londrinense**: expressões de intenção pioneira. Londrina: A. Castelnou, 2002.

29 CASTELNOU, Antônio. **Arquitetura Art Déco em Londrina.** Londrina: A. Castelnou, 2002.

30 CHING, Francis D. K. **Arquitectura**: Forma, Espacio y Orden. México: G. Gili, 1989.

31 CORBUSIER, Le. **El Modulor.** Barcelona: Poseidon, 1976a.
_____. **El Modulor 2.** Barcelona: Poseidon, 1976b.
_____. **Por uma Arquitetura.** São Paulo: Perspectiva, 1981.

32 COSAC, Charles; MASTROBUONO, Marco Antônio. **Farnese (objetos).** Catálogo da Mostra de objetos de Farnese de Andrade (1926-96). São Paulo: Cosacnaify, 2005.

33 COSTA, Lúcio. **Documentação Necessária.** Arquitetura Civil 2. São Paulo: FAUUSP/ MEC-IPHAN, 1975.

_____. **A arquitetura jesuíta no Brasil.** Arquitetura Religiosa. São Paulo: FAUUSP/ MEC-IPHAN, 1978.

_____. **Arquitetura**. Biblioteca Educação é Cultura. Rio de Janeiro: Bloch; Fename, 1980. p. 5- 8.

34 COX, Cristián Fernandes. **El orden complejo.** Teoría básica del proceso proyectual. Prólogo de: Josep María Montaner. Santiago do Chile: Imprensa Salesianos S.A., 2004.

35 CURTIS, J. R. William. **Le Corbusier, Ideas e Formas**. Madri: Hermann Blume, 1987.

36 DROSTE, Madalena. **Bauhaus Archiv 1919-1933**. Berlim: Taschen, 1994.

37 EMY, Amand Rose. **Traité de l'Art de la Charpenterie**. Rio de Janeiro: Xérox do Brasil, 1985.

38 ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa; MORAES, Poliana Dias de. Sistemas abertos em madeira como proposta para habitações de interesse social. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil. In: XI EBRAMEM – Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina, 2008.

39 FABROWSKI, Fernando José; MUÑIZ, Graciela Inês Bolzon de; MAZZA, Maria Cristina M.; NAKASHIMA, Tomoe; KLOCK, Umberto; POSSAMAI, João Carlos; NISGOSKI. Silvana. Anatomia comparativa da madeira das variedades populares da bracatinga (*Mimosa scabrella Bentham*). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 65-73, 2005.

40 FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Mini dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1977.

41 FICHER, Sylvia. Edifícios Altos no Brasil. **ESPAÇO & DEBATES**: Revista de Estudos Regionais e Urbanos, São Paulo, Núcleo de Estudos Regionais e Urbanos, 1981.

42 FRAMPTON, Kenneth. **Studies in tectonic culture**: the poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture. Illinóis: Edited by John Cava, 1996.

43 FRITZ, Alexander D.; UBILLA, Mario S.; UGARTE, Juan José G.; BUSTAMANTE, Waldo G.; ENCINAS, Felipe; FÜST, Anete F.; MARTÍNEZ, Paula T.; BAIXAS, Juan I. F.; RIDELL, Rafael C.; SANTA MARIA, Hernán. O. **Manual de diseño Construcción, montaje y aplicación del muro envolvente – diseño por envolvente para la vivienda de madera.** Pontifícia Universidade Católica do Chile, 2007.

44 GALFETI, Gustau Gili. **Casa Refúgio/Private Retreats**. Barcelona: Gustavo Gili, 1995.

45 GLASSER, David E. Considerações Estruturais. In: SNYDER, James C.; CATANESE, Anthony. **Introdução à Arquitetura**. Rio de Janeiro: Campus Ltda, 1984.

46 GONÇALVES, Josilena M. Z. **Integração das Artes no Paraná – 1950-1970**: a conquista do espaço público. Tese (Doutorado) - FAU-USP, São Paulo, 2006.

47 GÖTZ, K. H.; HOOR, D.; MÖHLER, K.; NATTERER, J. **Construire en bois**. Lausanne: Universitaires Romandes, 1987.

48 GREVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann. **Introdução à coordenação modular da construção**: uma abordagem atualizada. Porto Alegre: ANTAC (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído), 2007. Coleção Habitare, 9.

49 HEIDEGGER, Martin. ***La esencia del habla.*** In: De cumino al abla. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1987.

50 HERTZBERGER, Herman. **Lições de Arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

51 HERZOG, T.; VOLZ, M.; NATTERER, J. **Construire en bois 2**. Lausanne: Universitaires Romandes, 1998.

52 IMAGUIRE JR, Key. **A Casa de Araucária**: Arquitetura Paranista. Tese (Concurso) - UFPR, Curitiba, 1993.

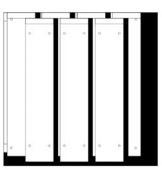
_____ **A Casa de Araucária**: Estudo Tipológico. Curitiba, 2001. No prelo.

53 INO, Akemi. ***Princípios Básicos para Garantir a Durabilidade de uma Construção em Madeira.*** São Leopoldo, workshop Durabilidade das Construções, Ghab, USP, 1997.

_____. **Sistema Estrutural Modular em Eucalipto Roliço para Habitação.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1992.

_____. A Classificação de sistemas construtivos em madeira, alguns exemplos de construção de madeira para habitação no Brasil. In: IV EBRAMEM, 1992, São Carlos. **Anais...**, São Carlos: LaMEM/ EESC/USP. v. 5, 1992. p. 29-37.

54 IPT. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. Coordenador Oswaldo Poffo Ferreira. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; SVMA: Sinduscon: (Publicação IPT; 2980), 2003.



55 IPT/SHAM. **Cartilha para Construção de Casas de Madeira.** São Paulo: IPT, 1980.
_____. **Alternativas Tecnológicas para Construção de Habitação de Interesse Social.** Campos do Jordão: Construção Habitacional Utilizando Madeira de Reflorestamento. São Paulo: IPT, 1984.

56 IRAM. Instituto Argentino de Racionalização de Materiais. **Coordenación Modular de la Construción.** Tradução de: *ABC Modular*. Informe n. 4, maio 1965, publicado por NKB, Nordic Building Regulations Committee, Argentina, Publicação Técnica, n. 8, 1973.

57 IWAKIRI, Setsuo. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005.

58 JAMES, William. **Pragmatismo.** São Paulo: Editora Martin Claret, 2006. Texto integral. (Traduzido de *Pragmatism and other essays* – Conferências pronunciadas no Instituto Lowell, em Boston em 1906 e na Universidade de Colúmbia, em Nova Iorque, no início de 1907).

59 JAMES, William. **A vontade de crer**. São Paulo: Edições Loyola, 2001. (Título original: *The Will to Believe*. Conferência dirigida aos grêmios filosóficos da Universidade de Yale e Brown University, publicado em 1896).

60 JAMES, Willian; BERGSON, Henri. Pragmatismo / William James. Tradução de: Jorge Caetano da Silva. In: BERGSON, Henri. **Cartas, conferências e outros escritos**. Seleção de textos e tradução de: Franklin Leopoldo e Silva. São Paulo: Nova Cultural, 1989. Coleção Os Pensadores.

61 JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. **Cartilla de Construccion com Madera.** Proyectos de Desarrolo Tecnologico en el Area de los Recursos Forestales Tropicales. 3. ed. Lima: PADT-REFORT, 1980.

62 KATINSKY, Júlio Roberto. **Casas Bandeiristas, Nascimento e Reconhecimento da Arte em São Paulo.** São Paulo: IGEOG-USP, 1976.

63 KIERAN, Stephen; TIMBERLAKE, James. **Refabricating Architecture How Manufacturing Methodologies Are Poised to Transform Building Construction.** Nova Iorque: McGraw-Hill, 2004.
_____. **Lobolly House Elements of a New Architecture.** Nova Iorque: Princeton Architectural Press, 2008.

64 KOLMANN, Franz. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones.** Madrid: Instituto Florestal de Investigaciones y experiências y servicio de la madera, 1959.

65 KOOGAN, Abrahão; HOUAISS, Antônio. **Enciclopédia e dicionário ilustrado.** 3. ed. Rio de Janeiro: Seifer, 1998.

66 LACOMBE, Octavio. **O projeto como descoberta**. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp418.asp>. Acesso em: 22/05/2009.

67 LAMPRECHT, Bárbara. **Richard Neutra.** 1892-1970. Formas criadoras para uma vida melhor. Köln: Taschen, 2004.

68 LAROCA, Cristine. **Habitação Social em Madeira**: uma alternativa viável. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
_____. **Desenvolvimento de protótipo de habitação social em madeira de reflorestamento e avaliação do desempenho termo-acústico.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

69 LAVOISIER, Antoine Laurent. **The elements of chemistry**. Chicago: Enciclopédia Britânica, 1952.

70 LEMOS, Carlos. **Cozinhas etc.** São Paulo: Perspectiva, 1972.

71 MAHFUZ, Edson da Cunha. Nada provém do nada. A produção arquitetônica vista como transformação do conhecimento. **Revista Projeto**, São Paulo, n. 69, 1984.

_____. **Ensaio sobre a razão compositiva**: uma investigação sobre a natureza das relações entre as partes e o todo na composição arquitetônica. Belo Horizonte: AP Cultural, 1995.

72 MARCH, Lionel. Rudolph M. Schindler Space Reference Frame, Modular Coordination and the "Row". **Nexus Network Journal**, v. 5, n. 2, 2003.

73 MARCH, Lionel; SHEINE, Judith. **RM SCHINDLER Composition and Construction.** Londres: Ernest & Sohn, 1995.

74 MARTÍNEZ, Alfonso Corona. **Ensaio sobre o projeto.** Tradução de: Lise Spaltemberg. Revisão técnica de: Silvia Fisher. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2000.

75 MARTINO, Arnaldo. **Habitação Social Urbana.** Projeto de Habitação Multifamiliar de Econômica Produção, em Ocupações Urbanas de Médias Densidades e com um Metaprojeto Espacial e Construtivo, Brasil – 1990/2000. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1990.

76 MASCARÓ, Juan Luis. **Infra-estrutura habitacional alternativa.** Porto Alegre: Sagra, 1991.

_____. **O Custo das Decisões Arquitetônicas.** São Paulo: Edição Nobel, 1985.

77 MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia Elvira Raffo. **A Construção na Economia Nacional.** São Paulo: Edição Pini, 1981.

_____. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios.** Porto Alegre: Sagra: DC Luzzatto, 1992.

78 MASCARÓ, Lúcia Elvira A. Raffo. **Energia na Edificação**: estratégia para minimizar seu consumo. São Paulo: Projetos, 1991.

_____. **Coordenación modular, que es?** Summa, Buenos Aires, v. 103, p. 20-21, 1976.

_____. **Coordenación modular en la construcción**. Summa, Buenos Aires, v. 103, p. 27-32, 1976.

79 MASCARÓ, L. E. A. R.; ROSSO, R.; ARMELLINI, O.; GANDIA, E.; LABOMBARDA, S.; CHIAPPE, G. **Coordenación modular y normalización**. Summa, Buenos Aires, v. 103, p. 35-44, 1976.

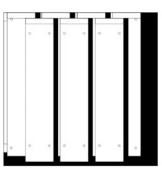
80 MATOS, Jorge L. M. de; LAROCA, Christine; KRÜGER, Eduardo L. Monitoramento da qualidade do protótipo de habitação social em Madeira de reflorestamento desenvolvido para o Estado de Santa Catarina. Universidade Federal do Paraná, Depto. Tecnologia Florestal. In: XI EBRAMEM – Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, 2008, Londrina. **Anais...**, Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2008.

81 MAZZA, C. A. S.; BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. **Distribuição espacial da bracatinga na região metropolitana de Curitiba com imagens de satélite Landsat**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

82 MENDONÇA, Paulo; BOUKEROU, Reda; BRAGANÇA, Luis. Construções Solares Passivas de Madeira em Clima Temperado. In: VII EMBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 2000, São Carlos. **Anais...**, São Carlos, 2000.

83 METELLO, Humberto, CALIL; JUNIOR, Carlito. Habitação de Interesse Social em Madeira: Breve Revisão. In: EBRAMEM **Anais...**, 1998.

84 MIGUEL, Jorge Marão Carnielo. **Casa e lar.** A essência da arquitetura. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp156.asp>. Acesso em: 07/07/2009.



85 MORESCHI, João Carlos. **Propriedades da Madeira.** Apostila Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba: UFPR, 2004.

86 MOURA, Jorge Daniel de Melo. **Utilização e Reutilização da Madeira de Pinus e subprodutos de serraria na construção da Habitação.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

87 MOURA, Jorge Daniel de Melo; BARNABÉ, Marcos Fagundes; SILVA, Ricardo Dias. I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE HABITAÇÃO ECONÔMICA; I WORKSHOP SOBRE HABITAÇÃO ECONÔMICA - HABITAÇÃO DE EMERGÊNCIA, 2005, Londrina. **Anais...**, Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2005. v. 1. 98 p.

88 MOURA, Jorge Daniel de Melo; BARNABÉ, Marcos Fagundes; SILVA, Ricardo Dias. **Teaching wooden construction technology through a low-cost housing design.** In: ACSA NORTHEAST REGIONAL CONFERENCE 2006 IMAG(IN)ING WORLDS TO COME, 2006, QUÉBEC. PROCEEDINGS OF THE ACSA NORTHEAST REGIONAL CONFERENCE 2006 IMAG(IN)ING WORLDS TO COME. QUÉBEC: ASSOCIATION OF COLLEGIATE SCHOOLS OF ARCHITECTURE - ACSA, 2006.

89 MOURA, Jorge Daniel de Melo; BARNABÉ, Marcos Fagundes; SILVA, Ricardo Dias. Habitação de emergencia: uma experiência pedagógica de projeto arquitetônico e canteiro de obras. In: XXI CLEFA - Conferencia Latino Americana de escuelas y facultades de arquitectura, 2005, Loja-EQUADOR. **Anais...**, Loja: Universidad Técnica Particular de Loja UTPL, 2005. p. 296-300.

90 MOURA, Jorge Daniel de Melo; BARNABÉ, Marcos Fagundes. Experiências recentes em habitação de interesse social. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE HABITAÇÃO DE EMERGÊNCIA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA; I WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE HABITAÇÃO ECONÔMICA-HABITAÇÃO DE EMERGÊNCIA; I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE HABITAÇÃO DE EMERGÊNCIA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2004, Londrina. **Anais...**, Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2004. p. 32-42.

91 MUKAROVSKY, Juan. **Escritos de Estética y Semiótica del Arte.** Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A., 1977. Colección Comunicación Visual.

92 NAVARRO, Alessandra Martins. **Sistema de vedação pré-fabricado em madeira de reflorestamento.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

93 NORMAN JR., F. Carver. **Form and Space of Japanese Architecture.** Tokyo: Shokokusha, 1955.

94 OLIVERI, G. M. **Prefabricación o Metaproyecto Constructivo.** Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1972.

95 PARK, Jin-Ho. **Rudolph M. Schindler Proportion, Scale and the "Row*". Nexus Network Journal**, v. 5, n. 2, 2003.

96 PAULI, Gunter. **UPSIZING**. São Paulo: Fundação Zeri do Brasil, 1998.

97 PIÑÓN, Helio. **Teoria do Projeto.** Tradução de: Edson Mahfuz. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2006.

98 PRACHT, Klaus. **Les Systèmes Constructifs en bois.** Paris: Moniteur, 1981.

99 QUARONI, Ludovico. **Proyectar un edifício: ocho lecciones de arquitectura.** Madri: Xarait Ediciones, 1980.

100 RIO, Vivente del. (Org.). **Arquitetura**: pesquisa & projeto. São Paulo: Pro Editores; Rio de Janeiro: FAU UFRJ, 1998.

101 SAYEGH, Simone. Pré-fabricação a limpo (Arquitetos desmistificam os sistemas pré-fabricados de construção e contam como utilizar o recurso com criatividade e competência). **Revista AU**, São Paulo: Pini, ano XIV, n. 37, 1994.

102 SILVA. Elvan. **Uma introdução ao projeto arquitetônico.** 2. imp. Porto Alegre: Ed. da Universidade - UFRGS, 1991.

_____. **A Forma e a Fórmula**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

103 SILVA, Ricardo Dias; MOURA, Jorge Daniel de Melo. Emprego da madeira como elemento de identidade cultural e alternativa à solução da habitação de interesse social. In: XIX CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE ESCUELAS DE ARQUITECTURA, 2001. São Paulo. **Anais...**, São Paulo, 2001. p. 19-22

104 SILVA, Ricardo Dias. **Análise de sistemas construtivos de Madeira na região de Londrina**: aplicação de requisitos de habitabilidade e de projeto. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

105 SILVA, Suely Ferreira da. **Zanine: Sentir e Fazer.** Rio de Janeiro: Agir, 1989.

106 SMITH, Elizabeth. **Case Study Houses**. Köln: Taschen, 2006.

107 STAMATO, Guilherme Corrêa; OLIVEIRA JR, Aires Correa de. Projeto Educação em Madeira. Unesp de Itapeva. In: XI EBRAMEM – Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, 2008. Londrina. **Anais...**, Londrina, 2008.

108 STEELE, James. **Schindler.** Alemanha: Taschen, 2007.

109 STROETER, João Carlos Rodolpho. **Arquitetura: imagem e reflexos.** Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo, São Paulo, 1989.

_____. **Arquitetura e Teorias.** São Paulo: Nobel, 1986.

110 SZUCS, SZÜCS, Carlos Alberto; BATISTA, Fábio Domingos. A tecnologia construtiva em Madeira na região de Curitiba. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil. In: XI EBRAMEM – Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, 2008. Londrina. **Anais...**, Londrina, 2008.

111 VELLOSO, Joana Geraldi; SZÜCS, Carlos Alberto. Detalhes construtivos visando a pré-fabricação da edificação em Madeira para o sistema plataforma. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil. In: XI EBRAMEM – Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, Londrina, 2008. **Anais...**, Londrina, 2008.

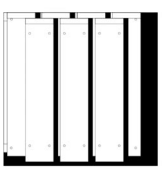
112 VENTURI, Robert. **Complexity and Contradiction in Architecture**. New York: Museum of Modern Art, 1966.

113 XAVIER, Alberto (Org.). **Lúcio Costa: Sobre Arquitetura.** Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962.

114 ZANI, Antônio Carlos. **Repertório arquitetônico e sistemas construtivos das casas de madeira em Londrina.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

_____. **Arquitetura em Madeira.** Londrina: Eduel; São Paulo: Impressora Oficial do Estado de São Paulo, 2003.

_____. **Repertório arquitetônico das casas de madeira de Londrina-Pr.** Londrina: Antônio Carlos Zani, 2005.



SITES / CENTROS DE PESQUISA CONSULTADOS:

<http://www.ipt.br/areas/ctfloresta/lmpd/madeiras/> - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT
<http://www.ibama.gov.br/lpf/> - Laboratório de Pesquisas Florestais - LPF
<http://www.inpa.gov.br/> - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
<http://www.fpl.fs.fed.us/> - *Forest Products Laboratory* - Madison - EUA
<http://www.forestnet.com> - Produtos Florestais
<http://www.itto.or.jp> - *International Tropical Timber Organization* – ITTO
<http://www.prbiodiversidade.pr.gov.br/> - Paraná Biodiversidade
<http://www.seab.pr.gov.br/> - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná - SEAB
<http://portal.unesco.org/> - Unesco
<http://vitruvius.com.br/> - Portal Vitruvius – Universo Paralelo de Arquitetura e Urbanismo

REVISTAS / PERIÓDICOS CONSULTADOS:

01 L' Architecture d'aujourd'hui, n. 328, jun. 2000, p. 44- 46.

02 Noticiário da Coordenação Modular. Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 1, dez. 1969; n. 2, jan. 1970; n. 3, fev. 1970; n. 4, mar. 1970; n. 5, abr. 1970 e n. 6 e 7, jun. 1970 (Encontrados em 2009 nos arquivos do Arquiteto Alfred Willer, professor de Técnicas da Construção de 1965 a 1970 e de Teoria da Arquitetura de 1970 a 1992, na Universidade Federal do Paraná - UFPR).

03 ***Revista AU*** **130** (Revista Arquitetura e Construção), Jan. 2005 – Texto original de Simone Sayegh – "A Pré-fabricação passada a limpo".

04 ***Revista Tectônica*** **13**: monografias de arquitetura, tecnologia y construcción. Madera (II). Jul. 2001.

ENTREVISTAS, DEPOIMENTOS E CONVERSAS TÉCNICAS:

SILVA, Ricardo Dias. Conversação mantida durante todo o desenvolvimento da tese.

INO, Akemi. **Orientação** durante o EBRAMEM 2008 (Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira). Londrina-PR, jul. 2008.

OLGA, Hélio. Conversas durante o EBRAMEM 2008 (Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira). Londrina-PR, jul. 2008.

SCHAITZA, Erich. **Orientação.** Curitiba-PR, jan. 2009.

VIDIGAL, Emerson. **Depoimento.** Curitiba-PR, jan. 2009.

