



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO E DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS MISTOS EM AÇO E MADEIRA NA OBRA DE JEAN PROUVÉ:
ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE VEDAÇÃO EM MADEIRA**

Beatriz Guilhermino Rodrigues da Costa

Área de concentração

Projeto, Espaço e Cultura

Linha de Pesquisa

Produção do espaço: Processos Urbanos,
Projeto e Tecnologia

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Albenise Laverde

Financiamento

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de
Minas Gerais

Uberlândia, 2025



a	b	c	d	e

Imagens capa:
a) Abrigos desmontáveis, 1939. Fonte: Sulzer (2000);
b) Edifício Permali, 1945. Fonte: Sulzer (2005);
c) Casa Standard, 1950. Fonte: Sulzer (2005);
d) Casa Prouvé, 1954. Fonte: Sulzer (2008);
e) Casa para Melhores Dias, 1956. Fonte: Sulzer (2008).

BEATRIZ GUILHERMINO RODRIGUES DA COSTA

**SISTEMAS CONSTRUTIVOS MISTOS EM AÇO E MADEIRA NA OBRA DE JEAN PROUVÉ:
ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE VEDAÇÃO EM MADEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração

Projeto, Espaço e Cultura

Linha de Pesquisa

Produção do espaço: Processos Urbanos, Projeto e Tecnologia

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Albenise Laverde

Financiamento

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

Uberlândia

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C837 Costa, Beatriz Guilhermino Rodrigues da, 1997-
2025 Sistemas construtivos mistos em aço e madeira na obra de Jean Prouvé: [recurso eletrônico] : análise das técnicas de vedação em madeira / Beatriz Guilhermino Rodrigues da Costa. - 2025.

Orientadora: Albenise Laverde.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Modo de acesso: Internet.

DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.630>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Arquitetura. I. Laverde, Albenise, 1978-, (Orient.). II.
Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU: 72

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1I, Sala 234 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4433 - www.ppgau.faued.ufu.br - coord.ppgau@faued.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Arquitetura e Urbanismo				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico PPGAU				
Data:	vinte e um de novembro de 2025	Hora de início:	9:00	Hora de encerramento:	10:56
Matrícula do Discente:	12322ARQ004				
Nome do Discente:	Beatriz Guilhermino Rodrigues da Costa				
Título do Trabalho:	Sistemas construtivos mistos em aço e madeira na obra de Jean Prouvé: análise das técnicas de vedação em madeira				
Área de concentração:	Projeto, Espaço e Cultura				
Linha de pesquisa:	Projeto, Tecnologia e Ambiente: processos e produção				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	A experimentação construtiva na obra de Jean Prouvé: análise dos sistemas mistos aço e madeira				

Reuniu-se de forma remota pela plataforma Conferência Web, em conformidade com a PORTARIA nº 36, de 19 de março de 2020 da COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, pela Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, assim composta: Ivan Manoel Rezende do Valle - UnB/FAU, Rita de Cássia Pereira Saramago - FAUeD.UFU e Albenise Laverde - PPGAU.FAUeD.UFU orientadora da candidata.

Iniciando os trabalhos a presidente da mesa, Prof.^a Dr.^a Albenise Laverde, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadoras, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos,

conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Albenise Laverde, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/11/2025, às 11:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cassia Pereira Saramago, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/11/2025, às 11:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivan Manoel Rezende do Valle, Usuário Externo**, em 22/11/2025, às 19:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6877492** e o código CRC **7B003942**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, à minha família, pelo apoio constante e pela base que sempre me sustentou. Aos meus pais, Giannine e Gilberto, por acreditarem em mim e me ensinarem, com o exemplo, o valor da dedicação e do equilíbrio. À minha irmã, Heloísa, por compartilhar a vida comigo e estar sempre por perto com carinho, leveza e incentivo.

Ao meu namorado, Matheus, pela paciência, pela presença constante e pelo apoio incondicional em todos os momentos, especialmente nos períodos de maior intensidade e entrega.

Às amigas de toda a vida, Rafaela, Carolina, Victória, Maria Beatriz e Sophia, agradeço pelas conversas, pelo afeto, pela amizade mantida ao longo dos anos e por tornarem os dias mais leves, mesmo à distância.

Às amigas que a graduação me proporcionou, Maísa, Beatriz, Laura B., Laura M. e Mariana, agradeço pela amizade construída, pelo apoio constante e pelas experiências compartilhadas, que enriqueceram minha trajetória.

Às amigas que o mestrado me proporcionou, Maria Eliza e Roberta, pela parceria e amizade construídas ao longo dessa jornada, com quem compartilhei experiências significativas tanto em âmbito acadêmico quanto pessoal.

Agradeço também à Turma 11 do PPGAU/UFU, por ter tornado o percurso mais rico e divertido. As trocas, as comemorações e a convivência com o grupo foram parte essencial dessa etapa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Uberlândia (PPGAU/UFU), pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa em um ambiente de aprendizado e crescimento. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo apoio concedido por meio da bolsa de mestrado (PAPG – ARQUITETURA E URBANISMO, convênio 5.10/2022), que foi fundamental para a realização deste trabalho.

Por fim, à minha orientadora Albenise, expresso minha profunda gratidão pela orientação cuidadosa, pela confiança e pela parceria construída ao longo dos anos. Desde a graduação, nas Iniciações Científicas (PIBIC e PIVIC), nos projetos de concurso, no Trabalho de Conclusão de Curso e, agora, no mestrado, sua presença foi essencial para meu amadurecimento acadêmico e pessoal.

RESUMO

Nas últimas décadas, as discussões sobre sustentabilidade e eficiência no uso de recursos naturais têm se intensificado na concepção do Ambiente Construído, especialmente diante dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida das edificações. Nesse contexto, destacam-se as potencialidades do uso da madeira em associação a outros materiais, como o aço, na composição de sistemas mistos de vedação vertical. Essa combinação permite maior versatilidade construtiva, facilidade de manutenção e desmontagem, reaproveitamento de componentes e aplicação da madeira em diferentes técnicas — em sua forma maciça ou industrializada — ampliando sua adequação a distintos contextos produtivos. O presente trabalho teve como objetivo analisar diferentes técnicas de sistemas de vedações verticais em aço e madeira desenvolvidas por Jean Prouvé, identificando os principais aspectos que tornam essas soluções construtivas passíveis de aplicação no contexto atual. A relevância deste trabalho é tanto teórica quanto técnica, ao contribuir para o aprofundamento das pesquisas sobre sistemas construtivos mistos, ainda pouco abordados na literatura, e ao discutir caminhos possíveis para o desenvolvimento de soluções mais racionais e sustentáveis na arquitetura. A metodologia adotada envolveu pesquisa bibliográfica e documental, redesenho e modelagem tridimensional das obras selecionadas, além da experimentação construtiva por meio de modelos reduzidos, elaborados com o auxílio da impressão 3D de componentes. Essa abordagem permitiu compreender a lógica de montagem, as relações entre materiais e o comportamento estrutural e formal dos sistemas, possibilitando uma análise integrada de suas dimensões técnicas, ambientais e socioeconômicas. Os resultados demonstram que os princípios construtivos de Prouvé, baseados na racionalização, modularidade e desmontabilidade, mantêm plena atualidade quando reinterpretados à luz das tecnologias e materiais disponíveis atualmente. Conclui-se que os sistemas mistos em aço e madeira configuram soluções construtivas viáveis, sustentáveis e adaptáveis, capazes de conciliar inovação tecnológica, eficiência material e responsabilidade ambiental, reafirmando a pertinência do legado de Jean Prouvé frente aos desafios da construção civil do século XXI.

Palavras-chave: pré-fabricação; sistemas mistos; construções em madeira; reutilização; Jean Prouvé.

ABSTRACT

In recent decades, discussions about sustainability and efficient use of natural resources have intensified in the design of the Built Environment, especially given the environmental impacts associated with the life cycle of buildings. In this context, the potential of using wood in combination with other materials, such as steel, in the composition of mixed vertical fencing systems stands out. This combination allows for greater construction versatility, ease of maintenance and disassembly, reuse of components, and the application of wood in different techniques — in its solid or industrialized form — expanding its suitability for different production contexts. This study aimed to analyze different techniques for vertical fencing systems in steel and wood developed by Jean Prouvé, identifying the key aspects that make these construction solutions applicable in the current context. This study is both theoretically and technically relevant, contributing to the deepening of research on mixed construction systems, still little discussed in the literature, and discussing possible paths for developing more rational and sustainable solutions in architecture. The methodology adopted involved bibliographic and documentary research, redesign and three-dimensional modeling of the selected works, and constructive experimentation using scale models created with the aid of 3D printing of components. This approach allowed us to understand the assembly logic, the relationships between materials, and the structural and formal behavior of the systems, enabling an integrated analysis of their technical, environmental, and socioeconomic dimensions. The results demonstrate that Prouvé's construction principles, based on rationalization, modularity, and disassembly, remain fully relevant when reinterpreted in light of currently available technologies and materials. The conclusion is that mixed steel and wood systems represent viable, sustainable, and adaptable construction solutions capable of reconciling technological innovation, material efficiency, and environmental responsibility, reaffirming the relevance of Jean Prouvé's legacy in the face of the challenges of 21st-century construction.

Keywords: prefabrication; mixed systems; wooden constructions; reuse; Jean Prouvé.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia produtiva da madeira roliça.....	43
Figura 2 – Cadeia produtiva da madeira serrada.	44
Figura 3 – Sequência de imagens referentes ao pátio da escola Corneille em Versalhes, Jacques Anglade, 2007.	51
Figura 4 – Exemplos de efeito do <i>wood weathering</i>	52
Figura 5 – Cadeia produtiva do MLC.	55
Figura 6 - Cadeia produtiva do CLT.....	55
Figura 7 - Sequência de imagens da produção de CLT com madeira de reaproveitamento. ...	56
Figura 8 - Elementos básicos da madeira, do maior ao menor.	57
Figura 9 – Princípios da Economia Circular na cadeia construtiva da madeira.	64
Figura 10 – Sequência de imagens que vinculam pré-fabricação à sustentabilidade.	67
Figura 11 – Sequência de imagens relativa à trajetória de uso da madeira por Jean Prouvé. 71	
Figura 12 – Sequência de imagens relativa à diversidade de painéis de vedação vertical desenvolvidos por Jean Prouvé entre 1930 e 1960	73
Figura 13 – Sequência de imagens referentes às primeiras aplicações da madeira em vedações verticais	74
Figura 14 – Sequência de imagens referente aos painéis metálicos criados em 1935 por Jean Prouvé	75
Figura 15 – Detalhes de painéis da patente nº 865.235 "Abrigo desmontável"	76
Figura 16 – Esquema de montagem de um abrigo desmontável.....	77
Figura 17 – Painéis de vedação vertical S.C.A.L.....	78
Figura 18 – Sequência de imagens referentes ao edifício de projetos da S.C.A.L., 1939	79
Figura 19 – Sequência de imagens relativas à construção desmontável F 8 x 8 m B.C.C.	80
Figura 20 – Sequência de imagens relativa às construções desmontáveis para vítimas de guerra	81
Figura 21 – Comparação entre os painéis de vedação vertical de 1939 e 1944.	81
Figura 22 – Sequência de imagens referente à casa desmontável 8 x 8 construída em Sarre	82
Figura 23 – Sequência de imagens referente às reconstruções ocorridas entre 1945 e 1948	83
Figura 24 – Sequência de imagens referentes às obras com sistemas construtivos similares	84
Figura 25 – Sequência de imagens referente às casas Standard.....	86

Figura 26 – Projeto do painel de vedação vertical com face externa em alumínio e interna em madeira.	87
Figura 27 – Sequência de imagens referentes à Casa da família de Jean Prouvé	88
Figura 28 – Composição de painéis de vedação vertical na fachada sul da casa de Jean Prouvé	88
Figura 29 – Sequência de imagens referentes à casa de Jean Prouvé	89
Figura 30 – Sequência de imagens relativa à Casa para Melhores Dias	90
Figura 31 – Sequência de imagens referente à aplicação da madeira ao final da década de 1950	91
Figura 32 – Sequência de imagens referentes às obras da década de 1960.....	91
Figura 33 - Sequência de imagens referentes ao Clube da Juventude, 1967.....	92
Figura 34 - Linha do tempo das fases de Jean Prouvé.....	93
Figura 35 - Processos experimentais de ensino e projeto.....	96
Figura 36 - Modelos de estudo de Kazuyo Sejima e Sou Fujimoto.....	97
Figura 37 - Modelos de estudo de Frank Gehry e Peter Zumthor.....	98
Figura 38 - Sequência de imagens dos modelos de obras de Zanine Caldas na exposição “Centenário Zanine”	99
Figura 39 - Planta e vistas – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	103
Figura 40 - Detalhamento das vigas de piso – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.....	104
Figura 41 – Experimentação contínua dos pórticos centrais.	104
Figura 42 - Detalhamento do pórtico central – Construção desmontável para vítimas de guerra.	105
Figura 43 - Estrutura de cobertura – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	106
Figura 44 - Detalhamento da treliça central – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x9.....	106
Figura 45 – Comparativo dos painéis de vedação vertical da patente de 1939 com os das Construções desmontáveis para vítimas de guerra de 1944.	107
Figura 46 – Acabamento dos painéis de vedação vertical – Construção desmontável para vítimas de guerra.	108
Figura 47 - Perfis de conexão dos painéis de vedação vertical – Construção desmontável para vítimas de guerra.	109

Figura 48 - Processo de montagem – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	111
Figura 49 - Processo de remontagem da Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6 pela Galerie Patrick Seguin.....	112
Figura 50 - Ficha técnica – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	114
Figura 51 - Tábuas de fechamento dos painéis de vedação vertical.....	115
Figura 52 - Composição do painel de vedação vertical cego (face externa).	116
Figura 53 - Imagens painéis de vedação vertical.....	117
Figura 54 - Estrutura de piso – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.....	118
Figura 55 - Modelagem pórtico central – Construção desmontável para vítimas de guerra.....	118
Figura 56 – Modelagem treliça central – Construção desmontável para vítimas de guerra.....	119
Figura 57 - Modelagem vigas metálicas – Construção desmontável para vítimas de guerra.	119
Figura 58 - Montagem modelo 3D – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.....	120
Figura 59 - Peças de um painel de vedação vertical impressas – Construção desmontável para vítimas de guerra.	122
Figura 60 - Modelagem 3D gabarito para montagem dos painéis – Construção desmontável para vítimas de guerra.	123
Figura 61 - Montagem do painel de vedação vertical com o gabarito.....	124
Figura 62 - Componentes de madeira – Modelo Reduzido Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.....	125
Figura 63 - Componentes metálicos – Modelo reduzido Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	125
Figura 64 - Sequência de imagens - Modelo reduzido Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	126
Figura 65 - Imagens comparativas dos painéis de vedação vertical prototipados em impressão 3D e em lâmina de madeira.	127
Figura 66 - Bases metálicas de estruturação do piso – Casa Standard.	130
Figura 67 - Possibilidades de implantação – Casa Standard.....	130
Figura 68 - Estrutura de piso – Casa Standard.	131
Figura 69 - Detalhamento de pórtico e viga vazada – Casa Standard.	132
Figura 70 - Detalhamento de componentes de cobertura – Casa Standard.	134

Figura 71 - Detalhamento painéis de vedação vertical – Casa Standard.	136
Figura 72 - Detalhamento conexões – Casa Standard.....	137
Figura 73 - Imagens referentes à utilização de painéis de forro em alumínio – Casa Standard.	137
Figura 74 - Ordem de montagem – Casa Standard.	139
Figura 75 - Montagem sobre estrutura de concreto – Casa Standard.	140
Figura 76 - Ficha técnica Casa Standard.	141
Figura 77 - Modelagem painéis de vedação vertical – Casa Standard.	142
Figura 78 - Imagem da composição da estrutura central – Casa Standard.....	143
Figura 79 - Modelagem painéis de cobertura – Casa Standard.....	144
Figura 80 - Modelagem final – Casa Standard.....	144
Figura 81 - Organização dos componentes pré-fabricados – Casa Standard.	147
Figura 82 - Sequência de imagens - processo de instalação do piso – Casa Standard.	148
Figura 83 - Imagens referentes ao processo de instalação da estrutura central – Casa Standard.	149
Figura 84 - Sequência de imagens – Modelo reduzido Casa Standard.....	149
Figura 85 - Planta com layout – Casa para Melhores Dias.	153
Figura 86 - Projeto núcleo hidráulico – Casa para Melhores Dias.....	154
Figura 87 - Fotos da reconstrução – Casa para Melhores Dias.	155
Figura 88 – Croquis de estudo do processo de montagem – Casa para Melhores Dias.....	156
Figura 89 - Divulgação processo de montagem – Casa para Melhores Dias.	157
Figura 90 – Sequência de imagens referentes ao processo de remontagem – Casa para Melhores Dias.	158
Figura 91 - Ficha técnica obra 3.....	159
Figura 92 - Modelagem componentes de concreto – Casa para Melhores Dias.....	160
Figura 93 - Modelagem painéis de vedação vertical – Casa para Melhores Dias.....	161
Figura 94 - Modelagem estrutura principal – Casa para Melhores Dias.	162
Figura 95 - Modelagem final - Casa para Melhores Dias.....	162
Figura 96 - Organização de peças estruturantes do piso – Modelo reduzido Casa Para Melhores Dias.....	164
Figura 97 - Processo de impressão 3D – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.....	165

Figura 98 – Montagem dos componentes de concreto – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.....	166
Figura 99 - Instalação perfis de fixação inferiores – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.	166
Figura 100 - Instalação dos painéis de vedação vertical – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.....	167
Figura 101 - Sequência de imagens – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.	167
Figura 102 - Fluxo simplificado de produção do aço.	184
Figura 103 – Zoneamento bioclimático por desempenho térmico e umidade relativa.	189

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temas referentes às publicações sobre Jean Prouvé.	27
Gráfico 2 – Publicações sobre Jean Prouvé ao longo das décadas.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Organização de atividades de pesquisa bibliográfica e documental.....	32
Quadro 2 – Organização de atividades de sistematização de dados.	34
Quadro 3 – Organização de atividades de simulação e experimentação construtiva.....	36
Quadro 4 - Técnicas de aplicação da madeira maciça em vedações verticais.	47
Quadro 5 - Técnicas de utilização de <i>Mass Timber</i> em vedações verticais.....	53
Quadro 6 - Técnicas de utilização de laminados em vedações verticais.....	57
Quadro 7 - Técnicas de utilização de particulados em vedações verticais.....	59
Quadro 8 - Técnicas de utilização de fibrosos em vedações verticais.....	61
Quadro 9 - Painéis compostos para utilização em vedações verticais.	65
Quadro 10 - Componentes do sistema construtivo – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	109
Quadro 11 - Comparação entre os processos de montagem – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.	128
Quadro 12 - Componentes do sistema construtivo – Casa Standard.....	138
Quadro 13 - Comparação entre os processos de montagem – Casa Standard.	150
Quadro 14 - Componentes do sistema construtivo – Casa para Melhores Dias.	155
Quadro 15 - Comparação entre os processos de montagem – Casa para Melhores Dias. ...	168
Quadro 16 - Descrição de materiais para composição de custos segundo tabela SINAPI MG e SP 2024.....	194
Quadro 17 - Estimativa de custos de materiais - painéis de vedação vertical.	195
Quadro 18 - Comparação de custos estimados para construção do sistema de vedação vertical de uma edificação 6X6m com os painéis analisados.....	196
Quadro 19 – Síntese da análise dos painéis de vedação vertical.	201

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEC	Arquitetura, engenharia e construção
B.C.C.	Bureau Central de Constructions
BIM	Building Information Modeling/Management
CIMT	Compagnie Industrielle de Matériel de Transport
CLT	Cross Laminated Timber
CNAM	Conservatoire National des Arts et Métiers
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CNIT	Centre des Nouvelles Industries et Technologies
COV	Compósito orgânico volátil
DfD	Design for Disassembly
DfMA	Design for Manufacturing and Assembly
DLT	Dowel Laminated Timber / Madeira Laminada Cavilhada
HDF	High Density Fiberboard
LVL	Laminated Veneer Lumber
MDP	Medium Density Particleboard
MLC	Madeira Lamelada Colada
NLT	Nail Laminated Timber / Madeira Lamelada Pregada
OSB	Oriented Strand Board
PB	Particle Board
PLA	Ácido Polilático
PSL	Parallel Strand Lumber
S.C.A.L.	Société Central des Alliages Legers
SIP	Structural Insulated Panel
SVVIE	Sistemas de vedações verticais internas e externas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	22
JUSTIFICATIVA	25
OBJETIVOS.....	31
METODOLOGIA	31
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	38
1. O EMPREGO DA MADEIRA EM VEDAÇÕES VERTICAIS	40
1.1. MADEIRA MACIÇA	43
1.2. MADEIRA INDUSTRIALIZADA	52
1.2.1. Derivados da madeira.....	56
1.2.1.1. Laminados	57
1.2.1.2. Particulados.....	59
1.2.1.3. Fibrosos	61
1.2.2. Painéis compostos.....	65
2. OS SISTEMAS DE VEDAÇÃO MISTOS EM AÇO E MADEIRA NA OBRA DE JEAN PROUVÉ	68
2.1. A ATEMPORALIDADE DAS OBRAS DE JEAN PROUVÉ	71
2.1.1. Década de 1930/40: Segunda Guerra Mundial e escassez de recursos como motivação inicial.....	74
2.1.2. Década de 1940: o pós-guerra e a reconstrução da França	79
2.1.3. Década de 1950: a crise habitacional na França	85
2.1.4. Década de 1960: Consultoria Atelier Jean Prouvé	91
3. EXPERIMENTAÇÃO CONSTRUTIVA COM MODELOS REDUZIDOS	94
3.1. CONSTRUÇÃO DESMONTÁVEL PARA VÍTIMAS DE GUERRA – 1944	101
3.1.1. Compreensão projetual: transferência de informações para o modelo reduzido	102
3.1.2. Modelagem tridimensional como etapa intermediária de análise construtiva	115
3.1.3. As relações entre a prototipagem e a pré-fabricação	120

3.2.	CASA STANDARD – 1950	129
3.2.1.	Compreensão projetual: transferência de informações para o modelo reduzido	129
3.2.2.	Modelagem tridimensional como etapa intermediária de análise construtiva ..	142
3.2.3.	As relações entre a prototipagem e a pré-fabricação	145
3.3.	CASA PARA MELHORES DIAS – 1956	151
3.3.1.	Compreensão projetual: transferência de informações para o modelo reduzido	151
3.3.2.	Modelagem tridimensional como etapa intermediária da análise construtiva ..	160
3.3.3.	As relações entre a prototipagem e a pré-fabricação	163
4.	EXPLORANDO OS DADOS: ANÁLISE DE APLICABILIDADE NO CONTEXTO ATUAL.....	170
4.1.	AS RESPOSTAS ALCANÇADAS POR MEIO DA PROTOTIPAGEM	172
4.2.	ANÁLISE DOS PAINÉIS DE VEDAÇÃO VERTICAL	178
4.2.1.	Aspectos de ordem ambiental	178
4.2.2.	Aspectos técnicos	187
4.2.3.	Aspectos socioeconômicos.....	192
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	202
	REFERÊNCIAS	208
	APÊNDICE A – NORMATIVAS VIGENTES RELACIONADAS À CONSTRUÇÃO E AOS SUBSISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA	214
	APÊNDICE B – TABELA DE ORGANIZAÇÃO DE OBRAS DE JEAN PROUVÉ	215
	APÊNDICE C – PROCESSO DE PROTOTIPAGEM DAS OBRAS SELECIONADAS.....	235

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as discussões envolvendo a sustentabilidade e a dimensão ambiental na concepção do Ambiente Construído têm sido crescentes, especialmente no que tange à otimização de recursos naturais e à redução dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida das edificações. Estas preocupações não se limitam às etapas da construção, mas se estendem também ao uso contínuo das edificações e sua manutenção, enfatizando a importância do desenvolvimento de estratégias que minimizem a geração de resíduos e incentivem o reaproveitamento de materiais.

A utilização da madeira na construção civil pode ser considerada como uma resposta na busca de soluções mais sustentáveis, por ser um material de fontes renováveis e pela sua capacidade de capturar e armazenar carbono, contribuindo significativamente para a redução da pegada de carbono das edificações. Atualmente, diversas pesquisas procuram ampliar o uso da madeira por meio da combinação com outros materiais como o concreto e o aço, na intenção do desenvolvimento de sistemas construtivos que promovam a redução do uso de materiais que dependam de combustíveis fósseis para serem produzidos, potencializando as qualidades de cada material construtivo e contornando suas possíveis limitações. Em relação ao aço, trata-se de um material que, mesmo existindo a possibilidade de reciclagem, incorpora elevada quantidade de energia em sua fabricação, por outro lado, possui potencial de reaproveitamento de peças por meio do reuso, este aspecto pode minimizar o impacto ambiental de sua cadeia produtiva.

Dentro deste debate, o presente trabalho está inserido no macroprojeto de pesquisa intitulado '*A experimentação construtiva na obra de Jean Prouvé: análise dos sistemas mistos aço-madeira*', que investiga os diferentes sistemas construtivos mistos com madeira desenvolvidos pelo profissional em sua trajetória, evidenciando esses sistemas como uma estratégia interessante para minimizar determinadas limitações do material e potencializar suas qualidades e versatilidade de utilização por meio de processos industrializados e em associação a diferentes materiais. Este trabalho analisa especificamente os painéis de vedação vertical desenvolvidos por Jean Prouvé, com o objetivo de identificar os principais aspectos que tornam suas soluções construtivas passíveis de aplicabilidade no contexto atual.

A partir da macro pesquisa, foram evidenciadas diferentes possibilidades combinatórias dos sistemas construtivos mistos em aço e madeira, especialmente quando aplicados em sistemas de vedação vertical. Os vedos podem ser considerados como um subsistema construtivo que empregam alto volume de matéria-prima e estão sujeitos a

substituições frequentes ao longo de sua vida útil, principalmente, quando utilizados externamente, com grande área de exposição a diferentes fenômenos. Para garantir segurança, conforto e eficiência das edificações, as vedações verticais devem seguir requisitos de estabilidade e resistência estrutural, desempenho térmico, desempenho acústico, estanqueidade, segurança contra incêndio, além de durabilidade e manutenibilidade¹, requerendo contínuas pesquisas que aliem aspectos de ordem ambiental, técnica e econômica no desenvolvimento de possíveis inovações. Nesse sentido, os sistemas mistos em aço e madeira têm se mostrado promissores na medida que atendem a vários destes aspectos, além de oferecerem a possibilidade de mitigar certas limitações inerentes do uso da madeira, facilitando sua aplicação tanto na forma maciça quanto industrializada.

Este trabalho também procurou explorar o principal princípio metodológico projetual de Jean Prouvé, como a utilização da experimentação construtiva na concepção da materialidade, na intenção de compreender seu papel no desenvolvimento de inovações na área técnico-construtiva a partir do uso de modelos físicos reduzidos. Assim, a análise de suas obras e do seu legado arquitetônico, especialmente no que diz respeito ao uso inovador da madeira na concepção de componentes e construções pré-fabricadas, ressalta a relevância contemporânea de seus princípios e técnicas nos dias atuais.

O tema deste trabalho intitulado *‘Sistemas construtivos mistos em aço e madeira na obra de Jean Prouvé: análise das técnicas de vedação em madeira’* tem como principais unidades de análise:

- A busca do equilíbrio entre novas tecnologias construtivas e princípios da sustentabilidade relacionados à pré-fabricação e ao reuso do material madeira;
- A ampliação das possibilidades construtivas do material madeira para uso em vedações verticais;
- Análise dos sistemas mistos em aço e madeira desenvolvidos por Jean Prouvé identificando as condições de aplicabilidade no contexto atual nacional.

Estes assuntos, correlacionados, permitem uma contextualização sobre o tema, na intenção de compreender em que medida os sistemas mistos em aço e madeira desenvolvidos

¹ Conforme a ABNT NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE, de 2021.

por Jean Prouvé para vedações verticais atenderiam a determinados indicadores de aplicabilidade no contexto atual.

JUSTIFICATIVA

No atual contexto de crescimento das discussões sobre a sustentabilidade no Ambiente Construído, a madeira emerge como importante material na busca por práticas arquitetônicas que minimizem os impactos ambientais, promovam a eficiência energética e otimizem o uso de recursos naturais. Segundo Herzog *et al.* (2004), além de armazenar quantidades significativas de gás carbônico da atmosfera, o uso da madeira contribui para a redução das emissões de gases do efeito estufa. Trata-se de um material de fácil biodegradação, proveniente de fonte de recurso renovável, o que acontece tanto por meio dos plantios florestais quanto pelo manejo de florestas nativas.

Por possuir características renováveis que a tornam um recurso de baixo impacto ambiental, a madeira pode atender a várias necessidades contemporâneas de construção. Quando em combinação com outros materiais, suas potencialidades podem ser ampliadas, aliando as propriedades de cada material a fim de maximizar o desempenho e a durabilidade da construção. De acordo com Lehmann (2013), a utilização de sistemas mistos com madeira e aço pode resultar em uma construção mais leve e com menor consumo de materiais, reduzindo a pegada de carbono total da edificação. Porém, sua aplicação apresenta alguns desafios envolvendo além da aceitação do mercado, como a ausência de normas e regulamentações adaptadas aos sistemas mistos, o custo e disponibilidade de materiais e a complexidade da construção, exigindo mão de obra especializada para fabricação.

Embora a utilização eficaz da madeira na construção civil apresente desafios significativos, práticas como a pré-fabricação surgem como uma solução promissora. Para Gauzin-Müller (2011), a pré-fabricação oferece vantagens alinhadas aos princípios da sustentabilidade, como a redução do desperdício de materiais, eficiência energética, durabilidade e qualidade dos componentes e edificações, possibilitando a promoção da circularidade dos materiais construtivos.

No entanto, segundo Ghellere e Ino (2021), a escassez de materiais e componentes pré-fabricados de madeira de alta qualidade ainda é um obstáculo no país, limitando a expansão do uso do material e dificultando a adoção de práticas sustentáveis no setor. Diante dessa lacuna, explorar e ampliar as possibilidades construtivas com madeira, especialmente

em combinação com outros materiais como o aço, contribui para alinhar as práticas arquitetônicas nacionais às discussões globais sobre sustentabilidade.

Considerando a relevância dos temas tratados envolvendo a combinação de materiais e a sustentabilidade, surge a seguinte pergunta de pesquisa:

- Quais os limites e potencialidades dos sistemas mistos em aço e madeira em vedações verticais em relação à dimensão ambiental?

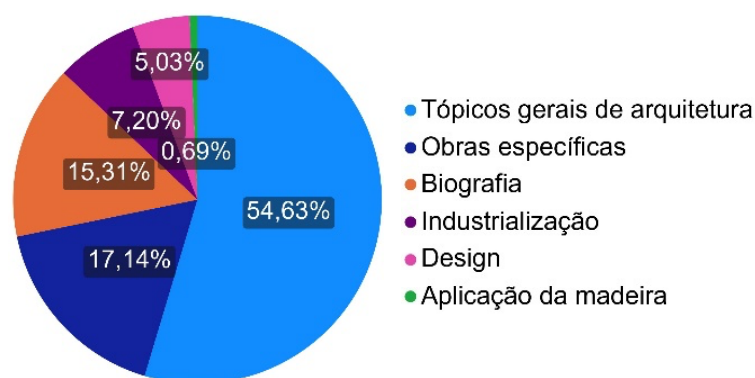
A lacuna de estudos nacionais sobre o uso da madeira na construção civil, especialmente em sistemas mistos e pré-fabricados, destaca a necessidade de pesquisas que abordem a viabilidade e as potencialidades desse material. A pesquisa proposta pretende investigar os limites e as possibilidades da aplicação de sistemas mistos em aço e madeira em vedações verticais, com foco na pré-fabricação e no reuso do material. Esse estudo busca não apenas contribuir na ampliação das pesquisas nacionais, mas também para a evolução das práticas construtivas com madeira no Brasil, alinhando-as às pesquisas internacionais, como visto no trabalho de Gauzin-Müller (2011).

No que se relaciona aos sistemas pré-fabricados, o trabalho de Jean Prouvé alcançou visibilidade e reconhecimento internacional por suas inovações com o uso do aço, embora também tenha desenvolvido sistemas construtivos inovadores associando este material com a madeira em diferentes estados, seja na forma maciça como também industrializada. Suas experimentações construtivas, motivadas por contextos de escassez de recursos, resultaram em soluções técnicas que continuam a inspirar o debate sobre a industrialização da madeira e a reutilização de materiais na arquitetura (Laverde e Oliveira, 2017). Como evidenciado por Raymond Guidot, “a beleza das obras de Prouvé pode ser interpretada como o resultado de um encontro perfeito entre forma e função: uma beleza funcional, que surgiu natural e espontaneamente desse encontro” (Seguin, 2017, p. 29).

A partir de uma análise bibliométrica sobre o profissional realizada em importantes fontes, como os trabalhos de Sulzer (2008) e Seguin (2017), foram observados indícios dos poucos estudos sobre o tema ao longo das décadas. Nessa pesquisa, procedeu-se a categorização das publicações compreendidas entre as décadas de 1920 e 2010, as quais versavam sobre Jean Prouvé e sua produção profissional. A análise evidenciou, conforme apresentado no Gráfico 1, uma prevalência das publicações relacionadas à Arquitetura, seguida de publicações sobre obras específicas do referido profissional e de cunho biográfico.

Posteriormente, destacam-se temáticas concernentes à industrialização e ao design, área na qual Jean Prouvé produziu obras de significativa importância. Contudo, foi revelada uma representatividade diminuta, de apenas 0,69%, relativa à aplicação da madeira em seu trabalho, indicando a pertinência da abordagem desta pesquisa, cuja relevância aumenta a partir do estudo específico sobre criações e patentes de Jean Prouvé envolvendo painéis de vedações verticais e divisórias móveis, lacuna esta já identificada por Sulzer (2000), que considerou ser uma negligência da literatura a falta de estudos sobre este componente, por serem os produtos de maior destaque e a base econômica das Oficinas J. Prouvé ao longo dos anos.

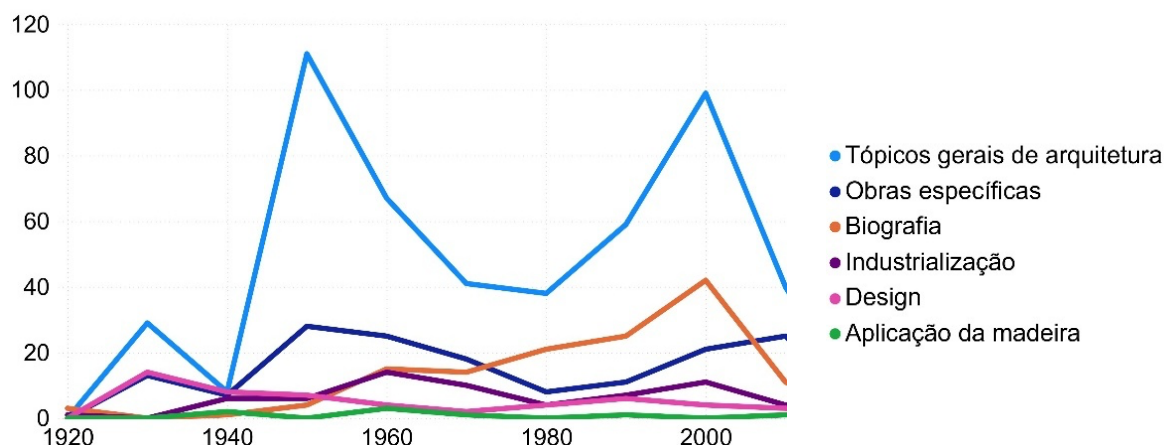
Gráfico 1 – Temas referentes às publicações sobre Jean Prouvé.



Fonte: elaborado pela autora a partir de Seguin (2017).

O Gráfico 2 permite inferir que durante o período compreendido entre as décadas de 1940 e 1950, houve um incremento exponencial nas publicações dedicadas à Arquitetura, coincidindo com a divulgação das obras arquitetônicas com maiores indicadores inovadores desenvolvidos por Prouvé. Estas obras diferenciavam-se pelo uso da pré-fabricação, com a possibilidade de desmontagem, e pelo uso inovador de materiais, como a madeira industrializada, contribuindo significativamente para o aumento da produção bibliográfica e visibilidade do profissional. O subsequente salto significativo de publicações referentes à Arquitetura ocorre na virada do século, mais especificamente nos anos 2000, quando se observa também um crescimento equilibrado no volume de publicações sobre a biografia do profissional e suas obras específicas, denotando o reacender do interesse em sua produção voltada à arquitetura e ao design.

Gráfico 2 – Publicações sobre Jean Prouvé ao longo das décadas.



Fonte: elaborado pela autora a partir de Seguin (2017).

Jean Prouvé utiliza de forma pioneira a integração do aço com a madeira industrializada em sistemas mistos. Um exemplo sobre como o profissional estava atento às inovações que o setor industrial da época oferecia foi a adoção dos painéis Rousseau em vedações horizontais, que, segundo Berthier (2015), podem ser considerados como precursores do CLT (*Cross Laminated Timber*), uma das principais técnicas atualmente estudadas em construções em madeira. A análise mais aprofundada da trajetória e das experimentações desenvolvidas pelo profissional, conforme discutido por Laverde, Costa e Santos (2021), possibilita a compreensão da sua história e do contexto que moldou suas abordagens. Motivado inicialmente pela escassez de matéria-prima durante a ocupação da França na Segunda Guerra Mundial, Jean Prouvé adotou a construção em madeira com uma perspectiva técnica que se assemelhava às construções metálicas, afastando-se das práticas tradicionais da carpintaria e impulsionando o uso da pré-fabricação de elementos em madeira.

Esse enfoque inovador foi evidenciado em projetos como os abrigos desmontáveis de 1939, onde utilizou painéis estruturados e elementos de contraventamento. Segundo Laverde e Oliveira (2017), Prouvé parte do princípio de que a fachada não necessariamente deveria ter função portante, incorporando funções técnicas adaptáveis a diferentes materiais, levando a desenvolver uma de suas mais inovadoras criações, a “fachada cortina”. Conforme destaca Berthier (2015), o legado de Prouvé transcende seu tempo, visto que suas inovações na construção continuam a ressoar em discussões contemporâneas sobre a industrialização sustentável no setor da arquitetura e da construção.

Como já descrito, os painéis de vedação desenvolvidos por Jean Prouvé respondiam a determinadas problemáticas vivenciadas no contexto da Segunda Guerra Mundial, como a escassez de recursos e a necessidade do desenvolvimento de construções desmontáveis. Após este período, outras motivações impulsionaram o profissional, como a industrialização, utilizando da experimentação construtiva para alcançar suas inovações, com destaque aquelas desenvolvidas nos períodos das décadas de 50 e 60. Esta segunda fase coincide parcialmente com o início dos debates internacionais sobre questões ambientais. De acordo com o trabalho de Gauzin-Muller (2011), no final da década de 60, temas como o ciclo de vida dos materiais, impactos ambientais gerados pela construção civil, otimização de recursos naturais, e eficiência energética passaram a ser preocupações na produção da Arquitetura.

Dessa forma, a análise do legado de Prouvé pode fornecer percepções valiosas para a adaptação e aplicação dos sistemas construtivos mistos no contexto atual, onde a escassez de materiais e a necessidade de soluções inovadoras sustentáveis são questões prementes.

A partir da compreensão dos diferentes contextos em que o objeto de estudo foi inserido, o presente trabalho identifica outra pergunta de pesquisa:

- Em que medida os sistemas de vedações mistos em aço e madeira desenvolvidos por Jean Prouvé podem ser aplicados, em resposta a problemáticas atuais?

Há evidências de que as inovações pioneiras de Prouvé tenham uma ressonância particular na atualidade, à medida que a indústria da construção e arquitetura se voltam cada vez mais para abordagens ecologicamente responsáveis, com a busca por práticas de pré-fabricação e reuso de materiais e componentes construtivos. Sua abordagem técnica e visionária continua a inspirar discussões sobre como conciliar a eficiência, a funcionalidade e a sustentabilidade nos projetos arquitetônicos contemporâneos.

A partir do exposto e com base nos estudos sobre as unidades de análise já indicadas neste trabalho, foram identificadas lacunas de pesquisa, com a interrelação de diferentes questões. Primeiramente, destaca-se a necessidade de ampliar os estudos sobre o vínculo entre novas tecnologias construtivas e os princípios da sustentabilidade, especialmente no que tange às práticas de pré-fabricação e reuso. Embora haja discussões internacionais avançadas sobre a adoção de materiais de baixo impacto ambiental e práticas construtivas mais sustentáveis, a bibliografia e práticas nacionais ainda são escassas no que diz respeito às possibilidades construtivas de integrar a madeira a estes princípios. Esse cenário contrasta

com as tendências globais, que promovem o aumento do reaproveitamento de componentes e resíduos, assim como a readequação de usos das edificações e possibilidades construtivas com geração mínima de resíduos.

Outra questão fundamental é a ampliação das possibilidades construtivas da madeira, particularmente em sistemas de vedação vertical, que ainda são pouco explorados no Brasil. A pesquisa procura investigar o potencial da madeira para ser aplicada de maneira mais diversificada em vedações, contribuindo para o desenvolvimento de soluções que sejam competitivas e alinhadas às demandas ambientais e tecnológicas atuais.

Além disso, a análise dos sistemas mistos em aço e madeira desenvolvidos por Jean Prouvé é central para esta pesquisa, visto que esses sistemas apresentam uma abordagem inovadora para combinar materiais com propriedades complementares. O estudo busca identificar as condições de aplicabilidade dessas soluções no contexto nacional, considerando as limitações locais e as oportunidades para adaptar as inovações do profissional às necessidades contemporâneas, como a sustentabilidade e a inserção de novas tecnologias.

Dessa forma, o delineamento do problema de pesquisa emerge da necessidade de avançar em três unidades de pesquisa: o equilíbrio entre novas tecnologias e a sustentabilidade, a ampliação das possibilidades construtivas com madeira em vedações verticais e a aplicação de sistemas mistos no cenário nacional, com base nos propostos por Prouvé. O trabalho de Berriel (2009) reforça que a lacuna reside entre o conhecimento das propriedades da madeira e a criação de métodos projetuais que aliem estética, conforto, durabilidade, rapidez, leveza e economia, como atributos necessários para tornar a madeira competitiva no mercado de construção civil contemporâneo.

A investigação destas problemáticas interligadas busca compreender as potencialidades e os limites da aplicação eficaz da madeira proveniente de plantios florestais no contexto nacional, especialmente, quando utilizada em vedações mistas em aço e madeira, tanto em seu estado maciço como na forma industrializada.

É a partir dos indícios levantados nos trabalhos consultados e das perguntas surgidas ao longo dos estudos, que se constrói a **hipótese** desta pesquisa:

Os sistemas de vedações verticais mistos em aço e madeira desenvolvidos por Jean Prouvé são passíveis de aplicação no contexto atual, a partir de adaptações com materiais e técnicas contemporâneas, e permitem aliar tecnologia e alguns princípios da sustentabilidade,

ampliando as potencialidades de cada material, assim como minimizando suas limitações a partir da pré-fabricação e reuso.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como **objetivo geral** analisar diferentes técnicas desenvolvidas por Jean Prouvé em sistemas de vedações verticais mistas em aço e madeira, identificando os principais aspectos que tornam suas soluções construtivas passíveis de aplicabilidade no contexto atual. E como **objetivos específicos**:

1. Estudar princípios da sustentabilidade e o equilíbrio entre aspectos de ordem ambiental em associação a novas tecnologias construtivas, principalmente questões voltadas ao reuso e pré-fabricação;
2. Analisar sistemas construtivos voltados à aplicação da madeira em vedações verticais, a partir de diferentes técnicas como madeira maciça e industrializada;
3. Identificar particularidades da produção e aplicação de painéis mistos em aço e madeira para vedações verticais;
4. Investigar por meio do uso de modelos reduzidos possibilidades de experimentações para a compreensão do componente vedação com o uso de materiais mistos.

METODOLOGIA

O presente trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa aplicada, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009), ao passo que busca expandir o conhecimento sobre os sistemas construtivos mistos em aço e madeira aplicados às vedações verticais, visando potenciais aplicações práticas. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa que, segundo Groat e Wang (2013), busca compreender fenômenos complexos em seus contextos específicos, sendo orientada por interpretações e significados, particularmente relevante no campo de arquitetura e design, onde as interações humanas e contextuais são fundamentais. Como destacado pelos autores, essa abordagem envolve vários métodos distintos para coleta e análise de dados. Na presente pesquisa, são utilizados os sistemas de investigação descritivo e exploratório para aprofundar e preencher as lacunas teóricas e práticas identificadas no campo de estudo. Para isso, a metodologia integra diferentes técnicas complementares, de modo que o desenvolvimento da pesquisa compreende as seguintes etapas:

Etapa 1 – Pesquisa bibliográfica e documental

Segundo Severino (2014), a pesquisa bibliográfica é realizada a partir do registro disponível decorrente de pesquisas anteriores, em documentos como livros, artigos e teses, de modo que o pesquisador trabalha a partir das contribuições dos autores em estudos analíticos. Já a pesquisa documental tem como fonte documentos no sentido amplo, como jornais, fotos, documentários, entre outros, e como os textos não tiveram tratamento analítico prévio, o pesquisador desenvolve sua investigação e análise a partir das fontes consultadas. Dessa forma, essa etapa abrangeu uma revisão criteriosa da literatura, com leitura aprofundada da bibliografia básica e identificação de outras fontes de evidência, como documentos, registros e revistas, abordando os seguintes temas (Quadro 1):

Quadro 1 – Organização de atividades de pesquisa bibliográfica e documental.

Pesquisa bibliográfica e documental		
Temas	Materiais e Métodos	Produtos/Metas
Princípios de sustentabilidade na indústria da madeira	Pesquisa em fontes de referência sobre a cadeia produtiva da madeira e a industrialização do material; Vídeos explicativos sobre os processos aplicados na indústria madeireira voltados a diferentes produtos, em especial, aqueles possíveis de adaptação para vedações.	Elaboração de esquemas visuais para compreensão da cadeia produtiva da madeira, produtos e resíduos gerados ao longo do processamento de determinadas matérias primas.
Relações entre racionalização e pré-fabricação	Revisão de literatura na busca de trabalhos atuais em bases de dados e em fontes de referência.	Compreensão das práticas de racionalização e pré-fabricação e seu vínculo com demandas atuais; Levantamento de soluções inovadoras a partir da pré-fabricação da madeira em vedações.
Possibilidades de reuso da madeira	Revisão de literatura na busca de trabalhos atuais em bases de dados e em fontes de referência.	Organização de estudos atuais sobre as possibilidades de reuso da madeira.
Emprego da madeira em vedações verticais com diferentes técnicas	Pesquisa em fontes de referência sobre as possibilidades de uso da madeira em vedações verticais, seja na forma maciça como industrializada.	Banco de dados de obras que empregam a madeira em diferentes estados em vedações verticais.
Sistemas mistos em aço e madeira	Revisão de literatura na busca de trabalhos atuais em bases de dados e em fontes de referência.	Organização de obras que empregam sistemas mistos em aço e madeira.
Sistemas de vedação mistos em aço e madeira na obra de Jean Prouvé	Pesquisa em fontes de referência sobre o emprego de sistemas de vedação mistos em aço e madeira na obra de Jean Prouvé.	Levantamento de obras para estudo, categorização e seleção.

Fonte: elaborado pela autora (2024).

A partir dessa organização, foi realizada uma revisão detalhada, com análise crítica das informações encontradas e identificação de lacunas na literatura existente sobre temas relacionados à sustentabilidade na cadeia produtiva da madeira, principalmente sobre subtemas como reuso e racionalização de recursos, assim como, no estudo das obras de Jean Prouvé para sistematização de dados.

Etapas 2 – Sistematização de dados e identificação dos objetos de estudo

Concomitantemente à revisão bibliográfica e documental, foi realizada a sistematização de dados, na qual os dados coletados referentes às possibilidades construtivas da madeira em sistemas mistos com o aço para vedações verticais nas obras de Jean Prouvé foram categorizados e mapeados sistematicamente de acordo com alguns critérios de análise, englobando:

- A forma de aplicação do material em vedações verticais, com identificação de cada técnica;
- A organização temporal das obras e suas particularidades contextuais;
- As temáticas projetuais em que são utilizados os sistemas mistos, identificando os conceitos referentes a desmontagem, flexibilidade e transportabilidade requeridos.

As atividades de sistematização de dados estão descritas no Quadro 2, com a categorização das obras de Jean Prouvé a partir da organização temporal, possibilitando uma visão ampla do tema de estudo e a correlação com o contexto em que estava inserido. Além disso, os dados foram organizados em formato de planilha editável (APÊNDICE B – Tabela de organização de obras de Jean Prouvé), facilitando a visualização de acordo com critérios de busca e consulta posterior. Essa organização possibilitou a seleção e o estudo das principais obras do profissional que evidenciam a aplicação de sistemas mistos em aço e madeira em vedações verticais, com a seleção das três principais obras para análise aprofundada, na etapa seguinte da pesquisa.

Quadro 2 – Organização de atividades de sistematização de dados.

Sistematização de dados e categorização das obras		
Atividades	Materiais e Métodos	Produtos
Identificação das técnicas utilizadas em sistemas mistos	Pesquisa sobre obras de Jean Prouvé em fontes bibliográficas básicas físicas (Sulzer, 1999, 2000, 2005, 2008) e complementares via internet.	Planilha editável com mais de 200 obras de Jean Prouvé, com aspectos de classificação e organização para consulta posterior.
Classificação temporal	Seleção de exemplares para estudo temporal da utilização da madeira em vedações verticais a partir das obras categorizadas.	Linha do tempo de 1930 a 1960 com as principais obras desenvolvidas por Jean Prouvé com sistemas de vedação vertical em madeira.
Organização a partir de temáticas projetuais	Seleção de três obras de Jean Prouvé com uso de sistemas mistos em aço e madeira em vedações verticais a partir dos exemplares estudados.	Três obras selecionadas para desenvolvimento de seus modelos reduzidos e de painéis de vedação vertical.

Fonte: elaborado pela autora (2024).

Etapas 3 – Experimentação construtiva a partir do uso de modelos reduzidos

Segundo Groat e Wang (2013), a pesquisa de simulação – realizada por meio de protótipos, modelos em escala reduzida ou simulações computacionais – visa replicar, de forma holística, as variáveis relevantes em um cenário ou fenômeno, possibilitando o teste do sistema de estudo em um contexto empírico controlado. Os protótipos e modelos de escala reduzida, conforme destacam Harris e Sabnis (1999), sempre tiveram um importante papel no ensino, na pesquisa e no projeto de arquitetura e engenharia, uma vez que permitem identificar problemas e potencialidades ao longo das etapas de desenvolvimento, construção e interpretação dos estudos experimentais.

A experimentação construtiva está intrinsecamente associada à trajetória profissional de Jean Prouvé, configurando-se como parte central de sua metodologia projetual. Neste trabalho, essa abordagem foi adotada como método complementar de investigação, por meio do desenvolvimento de modelos físicos reduzidos, visando aprofundar a compreensão dos sistemas mistos em aço e madeira aplicados às vedações verticais. Como afirma Valle (2000), as obras em madeira apresentam a particularidade de poderem ser representadas em escala reduzida utilizando o próprio material de sua concepção, o que garante elevada fidelidade material, construtiva e expressiva em relação ao objeto em escala real.

No entanto, diferentemente dos pressupostos apresentados por Valle (2000), neste estudo optou-se pela prototipagem por meio da manufatura aditiva (impressão 3D), não com a intenção de reproduzir fielmente o comportamento material da madeira, mas de investigar em que medida os modelos reduzidos prototipados são capazes de representar e comunicar os princípios do sistema construtivo analisado. Assim, os protótipos desenvolvidos buscaram avaliar aspectos como a compreensão das lógicas de montagem, a leitura dos encaixes e componentes, a complexidade do processo de fabricação, bem como percepções relacionadas ao conforto visual e tátil, estabelecendo uma análise comparativa entre a fidelidade material consagrada nos modelos em madeira e as potencialidades e limitações dos modelos produzidos por impressão 3D.

O programa experimental compreendeu as seguintes atividades: a) estudo projetual e levantamento dos detalhes construtivos; b) modelagem digital dos componentes do sistema construtivo; c) estudo do processo de montagem; d) transição para o modelo físico reduzido: prototipagem por meio de técnica de manufatura aditiva (impressão 3D) com filamentos PLA (Ácido Polilático); e) montagem dos modelos a partir do estudo e da compreensão dos processos construtivos desenvolvidos por Jean Prouvé.

Foram desenvolvidos os modelos reduzidos das três obras selecionadas na Etapa 2 – Sistematização de Dados – com fidelidade aos detalhes construtivos de cada exemplar e, especialmente, dos painéis de vedação utilizados. Essa etapa possibilitou ampliar a compreensão sobre o potencial de aplicação desse sistema no contexto atual, assim como, sobre possíveis limitações do sistema, a partir da identificação das etapas construtivas, dos materiais e processos de emprego possíveis e recursos necessários para execução.

Para a elaboração de modelos reduzidos, foi realizada a modelagem digital das obras selecionadas no *software* Archicad², utilizando como base os desenhos técnicos elaborados por Jean Prouvé e disponíveis na bibliografia consultada. É importante ressaltar a qualidade dos desenhos do Atelier Jean Prouvé, que com o passar das décadas foram aprimorados e compostos por mais detalhes, possibilitando a reprodução futura, tanto em escala real, quanto em modelos reduzidos.

² O Archicad é um *software* BIM (Building Information Modeling/Management) desenvolvido pela Graphisoft para profissionais do setor de arquitetura, engenharia e construção (AEC) projetarem edifícios desde a fase conceitual até as fases de construção e manutenção.

Os conceitos de DfMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) – Projeto para fabricação e montagem, e DfD (*Design for Disassembly*) – Projeto para desmontagem foram aplicados nessa etapa da pesquisa, utilizando como base para ordem de modelagem a sequência real de fabricação e montagem proposta por Jean Prouvé para suas obras, que foi possível a partir de documentários relativos à montagem das obras do profissional no contexto atual, pela Galerie Patrick Seguin. Assim, as obras foram modeladas seguindo a ordem de montagem, visando a obtenção de modelos reduzidos que expusessem o caráter construtivo das obras, com os componentes necessários para a estabilidade da estrutura e contendo uma seção da obra completa, com todas as vedações e revestimentos.

A impressão 3D dos componentes foi realizada a partir da impressora Creality Ender 3 – V3, adquirida nessa etapa da pesquisa para o desenvolvimento do trabalho. A partir da definição do equipamento a ser utilizado, foi necessário estabelecer a escala ideal de prototipagem das obras, em que fosse possível estudar e visualizar os detalhes construtivos, de fácil manuseio e que os componentes tivessem dimensões dentro do limite estabelecido pelo maquinário. Assim, foi definida a escala 1:20 para prototipagem dos modelos reduzidos.

Os componentes construtivos foram impressos em filamento PLA, sendo os componentes de madeira maciça impressos em filamento PLA Madeira Pinus (compósito com madeira), da marca 3D Fila, e os componentes metálicos em filamento PLA PLUS na cor cinza, da marca GTMax3D. Essa diferenciação dos materiais utilizados para impressão foi determinada para aproximar ainda mais os modelos reduzidos às obras reais, além de facilitar a observação e distinção dos materiais durante a análise dos subsistemas construtivos. Porém, nem todos os componentes de madeira foram impressos, pois a madeira industrializada em formato de chapas pôde ser representada por meio de lâmina de madeira Pau Marfim, adquirida na cidade de Uberlândia/MG. Mantendo assim as características naturais do material, como sentido das fibras, textura e sensorialidade.

Quadro 3 – Organização de atividades de simulação e experimentação construtiva.

Simulação e experimentação construtiva		
Atividades	Materiais e Métodos	Produtos
Estudo projetual - análise das obras selecionadas	Fontes documentais físicas e digitais (livros, documentários, fotografias) disponíveis sobre as obras selecionadas; Instrumentos para documentação.	Etapas de projeto e construção das obras, materiais utilizados, técnicas empregadas.

Modelagem 3D e documentação	Fontes documentais físicas e digitais disponíveis sobre os projetos das obras selecionadas; Instrumentos para desenho; <i>Softwares</i> de modelagem e documentação.	Desenhos técnicos e modelagem 3D das obras selecionadas e dos painéis de vedação, assim como seus detalhes construtivos.
Prototipagem - desenvolvimento de modelos reduzidos	Aquisição de impressora 3D (Creality Ender3-V3); <i>Software</i> fatiador (Creality Print); filamentos PLA para impressão 3D; lâmina de madeira Pau Marfim; esquadro; escalímetro; cola bastão; cola instantânea.	Modelos reduzidos das obras selecionadas em etapa de montagem, para entendimento das etapas construtivas.

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Etapa 4 – Triangulação e análise dos dados

Através do cruzamento das informações coletadas nas etapas de pesquisa anteriores, foi possível realizar a triangulação dos dados obtidos, verificando a convergência das evidências em direção ao objeto de estudo. Essa etapa permitiu confrontar os princípios discutidos na revisão bibliográfica, como a cadeia produtiva da madeira e sua utilização em vedações verticais, com a análise documental das obras de Jean Prouvé e os resultados da experimentação construtiva com modelos reduzidos.

Na prática, essa triangulação possibilitou compreender, por exemplo, como a racionalização observada nos painéis de vedação vertical de Prouvé, marcada pela diminuição progressiva do número de peças e simplificação das conexões, poderia dialogar com a realidade atual da indústria madeireira, que busca reduzir desperdícios e ampliar o reuso de resíduos. Do mesmo modo, algumas limitações identificadas reforçaram a relevância de soluções mistas em aço e madeira, tal como já experimentadas por Jean Prouvé em sua trajetória profissional.

Além disso, o cruzamento de dados experimentais revelou aspectos construtivos não evidenciados apenas pela documentação histórica, como a necessidade de gabaritos para padronizar a montagem ou o papel estrutural do emprego de sutil curvatura nas ripas de madeira. Ao relacionar esses achados com as demandas atuais de normatização e desempenho foi possível extrair reflexões aplicáveis ao contexto brasileiro, onde os painéis de vedação vertical poderiam ser adaptados às condições bioclimáticas e produtivas locais.

Assim, essa etapa de pesquisa não apenas reforçou a validade dos resultados obtidos, como também ampliou a compreensão crítica sobre a aplicabilidade contemporânea dos

sistemas de vedação vertical mistos em aço e madeira, evidenciando o potencial do legado de Prouvé em diálogo com os desafios atuais da construção civil.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O **capítulo introdutório** apresenta o tema de pesquisa, suas unidades de análise, assim como os conceitos estudados, as perguntas de pesquisa e a estruturação geral do trabalho. Expõe também a justificativa de pesquisa, os objetivos almejados e a metodologia utilizada para alcançá-los, com a descrição detalhada das etapas de desenvolvimento da pesquisa.

O **Capítulo 1 – O emprego da madeira em vedações verticais** – aborda as diferentes formas de utilização da madeira em vedações verticais, desde seu estado natural até produtos industrializados. Discute o conceito de sustentabilidade na indústria da madeira, com ênfase em princípios de pré-fabricação e reuso do material. São apresentados ainda os produtos derivados da madeira aplicáveis ao subsistema estudado e as possibilidades de uso da madeira em sistemas mistos com o aço, destacando seus limites e potencialidades de aplicação em vedações verticais, em preparação para as análises posteriores.

O **Capítulo 2 – Os sistemas de vedação mistos em aço e madeira nas obras de Jean Prouvé** – engloba primeiramente a apresentação do profissional Jean Prouvé e de suas práticas de experimentação com sistemas construtivos mistos em aço e madeira. Discorre sobre a atemporalidade em suas obras, apresentando princípios utilizados ao longo de sua trajetória, com características replicáveis nos dias atuais, além das particularidades presentes nos sistemas construtivos desenvolvidos pelo profissional. Neste capítulo também é realizada a análise de suas obras a partir de aspectos técnicos e construtivos específicos, com a seleção das principais obras voltadas à elaboração de três modelos reduzidos dos sistemas estudados, a partir da categorização de critérios.

O **Capítulo 3 – Experimentação construtiva a partir da elaboração de modelos reduzidos** – apresenta os critérios de seleção das obras destinadas à experimentação, assim como as etapas de análise, redesenho, modelagem tridimensional, detalhamento e confecção dos modelos reduzidos. Ao longo do processo, são identificadas questões relativas à construtibilidade e ao comportamento dos painéis mistos em aço e madeira. Com base nas obras analisadas e nos modelos dos sistemas de vedação vertical mistos em aço e madeira empregados, são realizados estudos de aplicabilidade e adaptabilidade ao contexto atual.

O **Capítulo 4 – Explorando os dados: análise de aplicabilidade no contexto atual** – reúne, cruza e interpreta as informações apresentadas nos capítulos anteriores, evidenciando as particularidades e potencialidades dos sistemas mistos em aço e madeira quanto à sua aplicação no contexto atual. A análise é conduzida a partir de três dimensões interdependentes: ambiental, técnica e socioeconômica.

Por fim, o **Capítulo 5 – Considerações finais** – retoma as perguntas de pesquisa e verifica o atendimento aos objetivos e à hipótese formulada. São apresentadas as conclusões do estudo e apontadas possíveis direções para o desenvolvimento de pesquisas futuras, reforçando as contribuições teóricas e práticas da investigação.

1. O EMPREGO DA MADEIRA EM VEDAÇÕES VERTICAIS

As vedações verticais compõem o subsistema construtivo responsável por delimitar verticalmente a edificação e seus ambientes, como fachadas, paredes e divisórias internas. Além de contribuírem para a conformação volumétrica e a compartimentação dos espaços, os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) se articulam de forma estreita com os demais elementos construtivos, recebendo influências e, ao mesmo tempo, influenciando diretamente o desempenho global da edificação (ABNT, 2021).

A ABNT NBR 15575-4 estabelece critérios mínimos de resistência mecânica, desempenho térmico e acústico, segurança contra incêndios e durabilidade para as vedações verticais em edificações habitacionais. Sua versão mais recente incorporou aprimoramentos importantes relacionados a aspectos como premissas de projeto, estanqueidade, desempenho térmico e acústico, durabilidade e manutenibilidade do subsistema construtivo (ABNT, 2021).

Entre os diversos pontos de atenção, a norma destaca que os SVVIE devem: resistir às solicitações decorrentes da fixação de peças suspensas; dificultar a propagação de incêndios, evitando a inflamação generalizada no ambiente de origem e a geração de fumaça em quantidade que prejudique a evacuação; apresentar estanqueidade à água proveniente de chuvas ou outras fontes; atender aos requisitos mínimos de desempenho térmico e acústico, conforme critérios normativos; e manter sua capacidade funcional ao longo da vida útil de projeto, desde que sejam realizadas as manutenções periódicas recomendadas pelos fornecedores.

Complementando a ABNT NBR 15575, a ABNT NBR 11678 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas – define essas divisórias como sistemas construtivos que compartimentam ou definem os espaços internos da edificação, estendendo-se do piso ao forro ou teto. São compostas por painéis modulares e seus componentes, e caracterizam-se por possuírem massa inferior a 60 kg/m² (ABNT, 2016).

No método de coordenação modular³ as dimensões dos componentes estão interrelacionadas por um denominador comum. Para as vedações verticais, essa coordenação é fundamental, pois contribui para a eficiência e a racionalização na produção,

³ O método de coordenação modular é definido pela ABNT NBR 15873 – Coordenação modular para edificações (ABNT, 2024) como “coordenação dimensional mediante a utilização do módulo básico ou de um multimódulo”.

comercialização e transporte dos elementos construtivos. No Brasil, o módulo básico adotado (M) é de 100 mm, utilizado no projeto de componentes. Para escalas maiores, como o projeto arquitetônico da edificação, são adotados multimódulos, como 10M (1.000 mm). Também são previstos incrementos submodulares, como M/2 (50 mm), M/4 (25 mm) e M/5 (20 mm), adequados para componentes menores, como espessuras de painéis, camadas de acabamento ou peças especiais de fechamento.

De acordo com Barata (2008), o subsistema de vedações verticais pode ser classificado conforme critérios definidos pelo Laboratório de Sistemas Construtivos (LABSISCON/FAU/USP): quanto à participação estrutural (estruturais ou não estruturais); quanto à estabilidade (autoportantes ou não portantes); quanto à localização (vedações internas ou externas); e segundo características como mobilidade, flexibilidade, peso, dimensões e função estrutural (vedações leves – necessariamente não estruturais; vedações pesadas estruturais; vedações pesadas não estruturais; vedações estruturais de baixo peso).

Ghellere (2020) ressalta que os painéis de vedação vertical são soluções adaptáveis a diferentes contextos e ao processo de pré-fabricação, podendo ser tanto elementos estruturais quanto exclusivamente de vedação. Seu desempenho térmico e acústico varia conforme a constituição em camadas, e suas dimensões podem ser tanto reduzidas quanto ampliadas, conforme as demandas do projeto.

Como enfatizado por Rezende (2016), os componentes das vedações verticais são oriundos do processamento de diferentes materiais, os quais adquirem propriedades específicas para cada aplicação. No Brasil, o uso da madeira nesse subsistema ainda é limitado quando comparado a outros materiais. No entanto, a madeira apresenta qualidades que podem ampliar sua aplicação, como propriedades físicas e mecânicas adequadas, versatilidade e diversas formas de utilização.

Segundo Barata (2008), a fabricação de painéis de vedação vertical em madeira pode gerar benefícios significativos à sociedade e à sustentabilidade, como: o aumento da oferta de produtos madeireiros a partir de áreas florestais manejadas com uso racional e integral da matéria-prima; a melhoria nas propriedades dos produtos compostos de madeira, ampliando seu campo de aplicação; e o uso da madeira como alternativa ou complemento aos materiais metálicos na construção civil e na fabricação de bens de consumo.

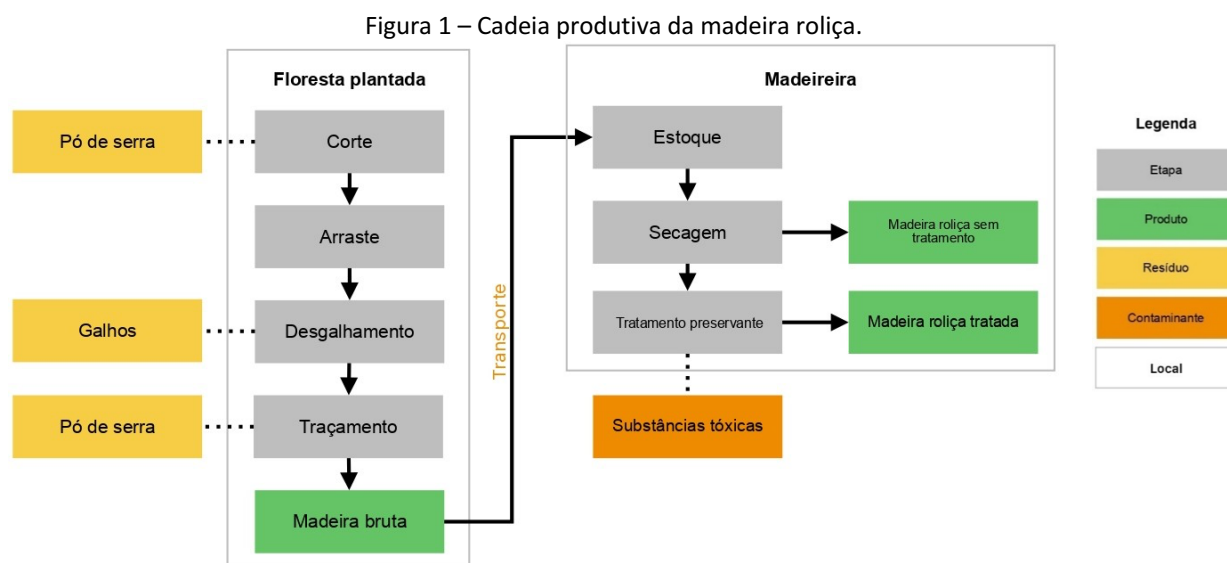
O uso da madeira em vedações verticais se dá por meio de diferentes técnicas, com variados níveis de industrialização, conforme os requisitos de cada projeto. Ao se conceber

uma edificação em madeira, é fundamental consultar normativas específicas aplicáveis ao material e seus derivados. No Brasil, ainda não há uma norma geral dedicada exclusivamente ao subsistema de vedações verticais em madeira. Contudo, como demonstrado no APÊNDICE A – NORMATIVAS VIGENTES RELACIONADAS À CONSTRUÇÃO E AOS SUBSISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA, há normas em desenvolvimento, sendo a ABNT NBR 16936, voltada para Edificações em *light wood frame*, a principal referência atual para o projeto de vedações verticais com esse material.

A seguir, são descritas e exemplificadas algumas técnicas de utilização da madeira em vedações verticais, com suas características e propriedades, abrangendo aplicações que vão desde o material em seu estado mais natural até as formas mais industrializadas.

1.1. MADEIRA MACIÇA

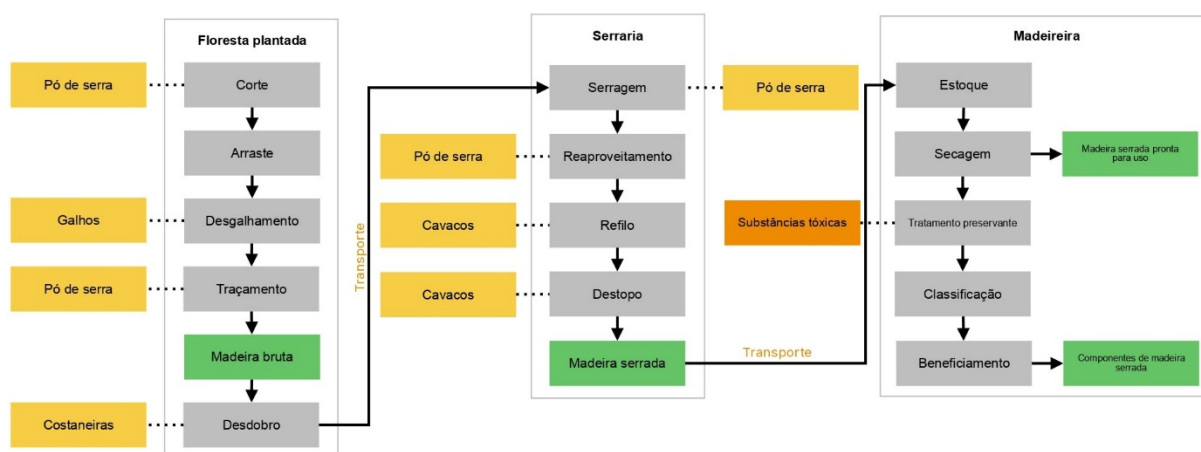
A **madeira maciça roliça** é o produto com menor grau de processamento da madeira. Consiste em um segmento de fuste de árvore, em que, de acordo com Zenid (2009), na maioria dos casos a casca não é retirada. Sua cadeia produtiva (Figura 1) inicia-se na floresta plantada, com as fases de corte, arraste, desgalhamento, destopo e traçamento das toras. A fase subsequente, do transporte, diz respeito à remoção das toras da área de corte, e carregamento até o caminhão de transporte, e deste até a madeireira, ou à indústria processadora. Em geral, o material é tratado com produtos preservativos da madeira, tendo como produto a madeira roliça tratada, que pode ser utilizada no subsistema de vedações verticais de diferentes formas, unindo funcionalidade à expressão arquitetônica desejada.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

A **madeira maciça serrada** é produzida em unidades industriais chamadas serrarias, onde as toras são processadas mecanicamente, transformando a peça originalmente cilíndrica em peças quadrangulares ou retangulares, de menor dimensão. As principais operações realizadas em sua cadeia produtiva incluem o desdobro, em que a tora sofre cortes longitudinais resultando em peças menores que podem ser denominadas pranchas ou tábuas, com duas faces paralelas entre si, mas com cantos irregulares; o esquadrejamento, com a divisão em peças de menor comprimento; o destopo das peças e o pré-tratamento (Figura 2). Este, segundo Zenid (2009), pode ser dispensado pela indústria quando a secagem da madeira é feita em estufas, imediatamente após o desdobro das toras, e não deve ser considerado como um tratamento definitivo.

Figura 2 – Cadeia produtiva da madeira serrada.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

A etapa de secagem da madeira é a etapa intermediária entre o processamento primário (serraria) e o secundário (beneficiamento) da madeira, e é a mais importante para a qualidade do material. Segundo Lelis *et al.* (2001), a secagem possibilita o aumento da resistência natural ao apodrecimento e ao ataque de insetos, visto que madeiras com teores de umidade abaixo de seu ponto de saturação das fibras não são degradadas por fungos. Além disso, essa etapa propicia melhorias de algumas propriedades mecânicas da madeira, como dureza, resistência à compressão e flexão, melhoria das propriedades de isolamento térmico e acústico, assim como da usinagem da madeira, além de agregar valor ao produto final. Entretanto, se não for conduzida de maneira adequada e controlada, pode causar a perda total do material.

Como evidencia Zenid (2009), existem dois tipos de secagem: natural e artificial. Na primeira, deixam-se as peças ao ar livre, depois de desdobradas, em pilhas, com espaço para ventilação entre as peças e montes. Depende de fatores ambientais, que não são controláveis, como temperatura, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos, e pode levar meses ou anos para ser concluída. A secagem artificial, em contrapartida, reduz o tempo necessário para a obtenção da madeira seca e apresenta a vantagem de destruir os micro-organismos e insetos que deterioram a madeira úmida. A secagem natural é muitas vezes usada como pré-secagem, sendo a fase final feita em estufas.

Ao examinar a cadeia produtiva da madeira, é crucial focar nos princípios de sustentabilidade que devem guiar o setor, como a gestão responsável dos recursos florestais, a eficiência no uso dos materiais, a redução de resíduos, a minimização dos impactos ambientais e a promoção do desenvolvimento social nas comunidades envolvidas. Integrar esses princípios na cadeia produtiva não só assegura a preservação dos ecossistemas, mas também promove uma indústria mais equitativa. Segundo Sample e Sedjo (1996), o manejo florestal sustentável surgiu com o objetivo de evitar perturbações sociais e econômicas causadas pela escassez de madeira na Europa do século XVIII. Com o tempo, essa prática evoluiu para um processo altamente técnico, baseado em modelos que simulam o crescimento das florestas, a mortalidade das árvores e os riscos associados, com o intuito de estabelecer níveis de extração de madeira que pudessem ser mantidos indefinidamente. Essa prática é considerada como um prosseguimento simultâneo de objetivos ecológicos, econômicos e sociais mutuamente dependentes. Assim, exige o cumprimento simultâneo de três condições: ecologicamente saudável, economicamente viável e socialmente responsável.

O aproveitamento das florestas naturais ou plantadas, através de Projeto de Manejo Florestal aprovado pelo IBAMA, é a forma correta de utilizar estes recursos naturais, por partir do princípio de sustentabilidade, ou seja, prevendo uma utilização que permita a recomposição da floresta de uma determinada área, viabilizando-a econômica, socialmente e ambientalmente (Zenid, 2009, p. 17).

A pré-fabricação em madeira destaca-se como uma estratégia construtiva eficiente e sustentável, capaz de aliar tecnologia, racionalização e uso consciente dos recursos naturais. A **madeira beneficiada** é obtida pela usinagem das peças serradas, agregando valor às mesmas. Podem incluir as operações de aplainamento, molduramento, torneamento, desengrosso, desempeno, destopamento, recorte, furação, respigado, ranhurado etc., resultando em uma ampla gama de produtos que podem ser utilizados na construção civil e

em diferentes componentes do subsistema de vedações verticais, com função estrutural ou não.

Segundo Gauzin-Müller (2011), há uma forte correlação entre a industrialização do processo construtivo e a arquitetura sustentável, uma vez que a pré-fabricação reduz o consumo energético, minimiza o desperdício de materiais e promove a reutilização e a reciclagem de componentes, contribuindo significativamente para a redução do impacto ambiental. A padronização e a repetição de elementos, princípios fundamentais da pré-fabricação, favorecem a otimização dos materiais e dos detalhes construtivos, reforçando a compatibilidade com edifícios de baixo consumo energético.

Além desses aspectos, a pré-fabricação propicia uma abordagem mais racional e controlada da construção. De acordo com Herzog *et al.* (2004), a racionalização envolve a segmentação da obra em componentes padronizados, a organização precisa das etapas de produção e montagem, bem como a especialização da mão de obra. Essa sistematização melhora a produtividade e a qualidade da construção, ao mesmo tempo em que simplifica a gestão de resíduos. Complementarmente, Silva (2020) e Tavares *et al.* (2021) reforçam que a modularidade e a pré-fabricação promovem a flexibilidade no uso da madeira e ampliam as possibilidades de reutilização e circularidade, elementos essenciais em uma arquitetura comprometida com a sustentabilidade.

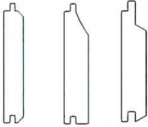
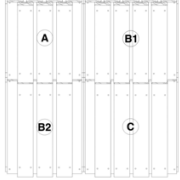
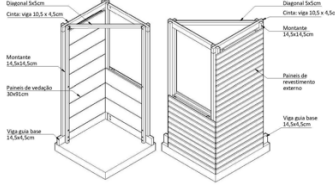
Entretanto, como observado anteriormente, ao longo da cadeia produtiva da madeira, especialmente no processamento de toras em madeira serrada, um volume significativo de resíduos é gerado. Para Fagundes (2003), esse volume pode ser associado a fatores como qualidade da matéria-prima processada, mudança geométrica do produto, ausência de medidas de proteção às toras, adoção de técnicas menos apuradas de desdobro, escolha incorreta das ferramentas de corte, adoção de velocidade de corte inadequada, espessura do corte das serras, e secagem de forma inadequada da madeira serrada. Segundo o autor, há duas principais possibilidades de atuação no que diz respeito a resíduos do processamento da madeira. Em primeiro lugar, a melhor utilização da matéria-prima através de medidas de redução das sobras pela utilização de técnicas, equipamentos e processos adequados. A segunda possibilidade seria um correto gerenciamento dos resíduos gerados, para esse material ser tratado como uma nova matéria-prima, com diferentes opções de uso, possibilitando a manutenção do efeito carbono aprisionado.

A seguir, são apresentadas algumas das técnicas de utilização da madeira maciça no subsistema de vedações verticais (Quadro 4).

Quadro 4 - Técnicas de aplicação da madeira maciça em vedações verticais.

Madeira maciça			
Técnica	Descrição / Características	Imagem	Exemplo de aplicação
Toras empilhadas	Full Round – Técnica estrutural composta por toras inteiras de seção circular, empilhadas horizontalmente e fixadas entre si por encaixes longitudinais e elementos mecânicos. Possui baixo grau de processamento e elevada resistência, pois a orientação natural das fibras da madeira não é interrompida. Utiliza ranhuras de alívio para controle de fissuras, o que também melhora e impregnação.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/section-loghomes-11.html . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Log home outlet. Disponível em: https://www.loghomeoutlet.com/exteriors . Acesso em: 19 out. 2025.
	Swedish Cope – Técnica estrutural com toras roliças, em que é feito corte arredondado para encaixe longitudinal e melhor assentamento entre as peças, que são fixadas por parafusos. Possui baixo a médio grau de processamento e elevada resistência.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/section-loghomes-11.html . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Log home outlet. Disponível em: https://www.loghomeoutlet.com/exteriors . Acesso em: 19 out. 2025.
	“D” Log – Técnica estrutural com toras perfiladas em seção “D”, combinando uma face plana e outra curva. Apresenta encaixes longitudinais e fixação mecânica. Possui grau moderado de processamento devido à uniformização das peças. Concilia estabilidade dimensional com expressão visual da madeira maciça.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/section-loghomes-11.html . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Pan Abode homes. Disponível em: https://www.panabodehomes.com/page/d-log . Acesso em: 19 out. 2025.
	Dovetail – Técnica estrutural com toras de seção retangular, unidas por encaixes tipo cauda de andorinha nos cantos. Apresenta alto grau de precisão manual ou CNC (Controle Numérico Computadorizado). Fixação por encaixes e elementos mecânicos. Possui maior estabilidade de montagem e estanqueidade do sistema.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/section-loghomes-11.html . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Log homes of America. Disponível em: https://www.loghomesofamerica.com/ . Acesso em: 19 out. 2025.

	Square Log – Técnica estrutural com toras retilíneas de seção quadrada, unidas por encaixes simples ou intertravados com fixação por parafusos. Possui médio grau de processamento e permite melhor alinhamento, garantindo estabilidade de montagem e estanqueidade do sistema.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/section-loghomes-11.html. Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Honest Abe. Disponível em: https://tinyhouseme.com/partner/honest-abe-log-homes/. Acesso em: 19 out. 2025.
Madeira em toras como revestimento	Saddle Notch – Técnica de revestimento que simula vedação de toras empilhadas, utilizando elementos vazados semi-circulares sobre estrutura independente. As peças são unidas por encaixe, com fixação mecânica. Possui baixo a médio grau de processamento, com função estética e de proteção superficial.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/log-siding.html. Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: The Woodworkers Shoppe. Disponível em: https://www.woodworkersshoppe.com/4-outstanding-corner-systems-for-log-siding-cabins.html. Acesso em: 19 out. 2025.
	Butt-n-pass – Técnica de revestimento com elementos que reproduzem o aspecto das toras empilhadas, sobre estrutura independente. As peças são unidas por encaixe aparente, com fixação mecânica. Possui baixo grau de processamento, com função estética, de estanqueidade e proteção.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/log-siding.html. Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/log-siding.html. Acesso em: 19 out. 2025.
	Dovetail – Técnica de revestimento com peças entalhadas em cauda de andorinha, aplicadas sobre subsistema portante independente. As peças são unidas por encaixe preciso, com fixação mecânica. Possui médio grau de processamento, com alto grau de precisão manual ou CNC.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/log-siding.html. Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Wooden dream homes. Disponível em: https://www.woodendreamhomes.com/log-siding.html. Acesso em: 19 out. 2025.
Tábua e mata-junta	Técnica tradicional em que as tábuas são dispostas verticalmente, e as juntas entre elas são cobertas por réguas chamadas "mata-juntas". A modulação de aplicação dessa técnica varia de acordo com o espaçamento entre elas. Possui médio grau de processamento, com peças retilíneas fixadas mecanicamente com pregos ou parafusos. A sobreposição de peças garante maior estanqueidade.	 Fonte: Berriel (2009); Zani (2013).	 Fonte: Zani (2013).

Tábuas horizontais – encaixe macho-fêmea	Técnica na qual as tábuas são perfiladas horizontalmente, unidas por encaixes lineares tipo macho-fêmea. A fixação é feita por pregos ou parafusos ocultos. Possui médio grau de processamento e os cortes proposicionais nas peças garantem maior estanqueidade.	 Fonte: Herzog et al. (2004).	 Fonte: Casema. Disponível em: https://casema.com.br/. Acesso em: 19 out. 2025.
Painéis desenvolvidos em pesquisas acadêmicas			
Painel desenvolvido por Berriel (2009)	Sistema portante composto por painéis de vedação constituídos por peças curtas (de comprimento inferior a 70 cm) de madeira serrada, fixados uns aos outros por parafusos. O sistema é passível de ser construído em um esquema de pré-fabricação aberto e com montagem a seco.	 Fonte: Berriel (2009).	 Fonte: Berriel (2009).
Painel desenvolvido por Ghellere (2020)	Sistema de vedação vertical em madeira serrada, composto pela sobreposição de painéis de vedação que se encaixam em montantes em cruz, e painéis de revestimento externo com função de estanqueidade, proteção contra intempéries e qualidades termo-acústicas. Para vedar um pé direito de 2,4 m é necessário sobrepor 7 unidades do painel de vedação proposto.	 Fonte: Ghellere (2020).	 Fonte: Ghellere (2020).

Fonte: elaborado pela autora (2025).

A partir das técnicas apresentadas é possível observar que, mesmo a madeira maciça sendo a forma de utilização do material mais próxima à sua condição natural, seus componentes advêm de níveis graduais de processamento, que as aproximam ou afastam de aspectos como estabilidade, estanqueidade e práticas sustentáveis. Técnicas que utilizam maior quantidade de madeira roliça demandam menos energia para fabricação, porém consomem mais matéria-prima. Já a ampliação do grau de processamento da madeira, como nos diferentes trabalhos com toras, revestimentos e perfis de madeira serrada, reduz o volume de matéria-prima utilizado, mas gera maior quantidade de resíduos e demanda energética. Tais escolhas evidenciam que os impactos ambientais associados ao uso da madeira não dependem exclusivamente de sua origem natural, mas das estratégias construtivas, tecnológicas e culturais que orientam seu emprego.

Nesse contexto, a prática de Jacques Anglade se destaca por propor uma abordagem material e construtiva que concilia o uso consciente da madeira com as exigências contemporâneas de sustentabilidade. Como argumenta Berthier (2016), a materialidade da madeira deve ser investigada de maneira pragmática, profundamente comprometida com a

busca da experiência e do saber fazer. Ainda segundo o autor e Morelli (2024), a prática profissional de Jacques Anglade promove uma arte de construção que valoriza a utilização da madeira maciça, conciliando saberes tradicionais e desafios contemporâneos. Suas obras elegantes e leves, construtivamente inovadoras, fazem parte de uma abordagem que visa reduzir o paradoxo entre a reivindicação arquitetônica de um material natural e a artificialidade das suas atuais condições de produção. Porém, o seu trabalho não consiste em oferecer baixa tecnologia artesanal como alternativa à alta tecnologia industrial, mas o desenvolvimento de um pensamento original sobre tecnologia, alinhado às preocupações ambientais e sociais contemporâneas.

Em entrevista concedida a Morelli (2024), Anglade apresenta ser fiel à abordagem de utilização de madeiras pouco ou nada transformadas, privilegiando o uso de materiais locais, ainda que por vezes utilize madeira industrializada. O profissional enfatiza a importância de satisfazer as necessidades dos espaços de acordo com os recursos disponíveis, e incentiva modos de produção e consumo mais respeitosos com o material madeira. Essa postura demonstra um posicionamento ambientalmente consciente, que não se baseia apenas em parâmetros técnicos de desempenho, mas em uma lógica de adequação entre os recursos disponíveis, as necessidades do espaço e o respeito pelas qualidades intrínsecas do material. Ao incentivar modos de produção e consumo mais ajustados ao contexto e ao material, Anglade contribui para uma sustentabilidade que é, ao mesmo tempo, técnica, ecológica e cultural.

O pátio da escola Corneille em Versalhes (Figura 3) exemplifica essa abordagem e representa algumas particularidades das obras de Anglade, explorando as características sensoriais da madeira ao mesmo tempo em que aplica a racionalização no projeto, com geometria complexa. Ao utilizar uma única dimensão de seção de madeira maciça em toda a obra, questões relativas à montagem e proporção são simplificadas a partir da pré-fabricação, facilitando seu reaproveitamento. A obra conta com vedações verticais compostas por pequenas seções de madeira maciça, que, empilhadas, compõem as fachadas. Essas vedações não suportam cargas, e delas são subtraídas certas seções de madeira, gerando paredes texturizadas de cheios e vazios, de acordo com o grau de abertura desejado⁴.

⁴ Notas de aula da disciplina Tópicos Especiais: Construções em madeira. Ministrada pela Prof.^a Dr^a Albenise Laverde, em 2018, FAUed UFU.

Figura 3 – Sequência de imagens referentes ao pátio da escola Corneille em Versalhes, Jacques Anglade, 2007.



Fonte: Berthier (2017).

A abordagem de Anglade, segundo Berthier (2016), busca a promoção das características físico-mecânicas naturais das diferentes espécies, em vez de pensar em termos de transformações do material ou tratamentos químicos. Sugere que sua obra seja inserida numa cultura tectônica da arquitetura, que procura superar a dualidade entre forma construída e forma artística, explorando o potencial da expressão poética e sensorial do material e de sua forma de implementação.

Essa valorização da materialidade natural e da integralidade da madeira também se reflete na importância de escolhas conscientes em relação às espécies utilizadas nos processos construtivos. A incorporação de espécies alternativas ao processo de escolha e especificação da madeira empregada na construção civil, em contraposição aos impactos ambientais causados pelo uso intensivo e constante de determinadas espécies, segundo Zenid (2009), representa um avanço significativo rumo à preservação e à sustentabilidade das florestas brasileiras, especialmente no setor que mais consome esse recurso no país.

Como todo material orgânico, a madeira está sujeita à decomposição por ação de intempéries e de organismos xilófagos em geral. Como destacam Lelis *et al.* (2001), o conhecimento sobre o comportamento de cada espécie é fundamental para a defesa contra a decomposição precoce e o prolongamento indefinido da matéria-prima. Em contrapartida, as sociedades que utilizam a madeira há várias gerações estão acostumadas com o envelhecimento natural do material e até mesmo tiram partido dos padrões cromáticos decorrentes das ações do intemperismo sobre a fachada – o chamado *wood weathering* (Figura 4).

Figura 4 – Exemplos de efeito do *wood weathering*.

a) Mudanças na aparência da madeira; b) Residência com mais de 400 anos na Suíça; c) Fachada em madeira na Áustria.



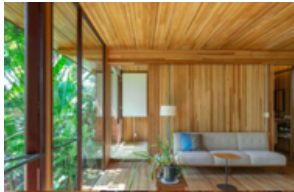
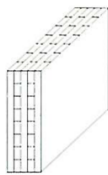
Fonte: a) Sandak *et al.* (2019); b) e c) Aflalo (2020).

De acordo com Sandak *et al.* (2019), na maioria dos casos, o *wood weathering* é causado por fatores abióticos e se manifesta como uma alteração de cor, rachaduras na superfície, mudança no brilho e aumento da rugosidade da superfície. Sua intensidade e extensão dependem das condições locais, do histórico climático, tipo de material, função do elemento, detalhes arquitetônicos e propriedades específicas da superfície, além de sofrer alterações por meio da radiação solar, umidade, mudanças de temperatura, poluentes ambientais e ações de certos microrganismos. Em geral, biomateriais brutos desprotegidos sofrem intemperismo rapidamente na subsuperfície, deixando o interior intacto. As diferenças na descoloração podem ser muito perceptíveis na mesma fachada, especialmente em edifícios onde a água e a radiação solar não são espalhadas uniformemente pela superfície.

1.2. MADEIRA INDUSTRIALIZADA

Atualmente, a produção de madeira industrializada – também conhecida como *Mass Timber* ou madeira estrutural composta – aumentou significativamente. Esses produtos são formados pela junção de elementos menores de madeira, como peças serradas e lamelas, por meio de adesivos, cavilhas, pregos ou parafusos, gerando componentes estruturais de maiores dimensões, aptos ao uso na construção civil e com possibilidades compositivas de aplicação em vedações verticais (Quadro 5). Como apresentado por Zenid (2009), no Brasil esses produtos são produzidos com pinus ou eucalipto, em um processo que, com menor ou maior grau de sofisticação, ampliam as dimensões da madeira, distribuindo os seus defeitos físicos e otimizando as propriedades mecânicas do produto.

Quadro 5 - Técnicas de utilização de *Mass Timber* em vedações verticais.

Mass Timber			
Técnica	Descrição / Características	Imagem	Exemplo de aplicação
Glulam – Glued Laminated Timber / MLC – Madeira Lamelada Colada	Painel estrutural composto por lamelas de madeira dispostas com as fibras paralelas ao comprimento da peça, coladas com adesivos industriais resistentes à umidade e prensadas com prensa hidráulica mecanizada. Possui alto grau de industrialização, elevada capacidade estrutural e estabilidade dimensional. Pode receber tratamento para uso externo e ser aplicado tanto como estrutura quanto como vedação aparente.	 Fonte: Herzog <i>et al.</i> (2004).	 Fonte: Prêmio IBRAMEM 2025. Disponível em instagram.com/ibramem1983 . Acesso em: 19 out. 2025.
CLT – Cross Laminated Timber / Madeira Lamelada Colada Cruzada	Painel estrutural formado por camadas cruzadas de madeira serrada seca, geralmente em número ímpar (3, 5, 7 ou 9), coladas perpendicularmente. Possui alto grau de industrialização e apresenta elevada rigidez estrutural nas duas direções. Pode ser utilizado como elemento de vedação e estrutura em sistemas construtivos completos.	 Fonte: Herzog <i>et al.</i> (2004).	 Fonte: Leonardo Finotti. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/802165/minimod-catucaba-mapa/585cab0be58ece953e00037f-minimod-catucaba-mapa-photo . Acesso em: 19 out. 2025.
NLT – Nail-Laminated Timber / Madeira Lamelada Pregada	Painel estrutural composto por lamelas de madeira fixadas mecanicamente com pregos. Permite uso de madeira local com menor grau de processamento e industrialização. Possui estabilidade estrutural adequada, mas pode apresentar alterações dimensionais em função de variações de umidade. Pode ser utilizado como elemento de vedação e estrutura em sistemas construtivos completos.	 Fonte: Naturally Wood. Disponível em: https://www.naturallywood.com/engineered-wood-products/nail-laminated-timber-nlt/ . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Autodesk. Disponível em: https://www.autodesk.com/design-make/articles/mass-timber-construction . Acesso em: 19 out. 2025.
DLT – Dowel-Laminated Timber / Madeira Lamelada Cavilhada	Painel estrutural composto por lamelas de madeira unidas exclusivamente por cavilhas, sem uso de adesivos ou conectores metálicos. Utiliza diferenças de densidade e umidade entre as peças e cavilhas para garantir fixação por fricção. Possui grau médio de industrialização, sendo recomendado para ambientes com baixa variação higrotérmica.	 Fonte: Naturally Wood. Disponível em: https://www.naturallywood.com/engineered-wood-products/dowel-laminated-timber-dlt/ . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Shigeru ban architects. Disponível em: https://shigerubanarchitects.com/works/?_work=timber-and-bamboo . Acesso em: 19 out. 2025.

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Segundo Aflalo (2023), os diferentes produtos disponíveis atualmente que compõem o universo da madeira industrializada retratam processos industriais rápidos e sustentáveis, que transformam as etapas de criação, desenho, fabricação e montagem. Esses processos evidenciam uma crescente demanda por sistemas construtivos de baixo impacto ambiental, com maior eficiência, desempenho e acessibilidade econômica e social. De acordo com Miranda e Brazolin (2023), o protagonismo do *Mass Timber* está relacionado à utilização de matérias-primas provenientes de florestas plantadas, próximas aos centros consumidores e com alta produtividade, aliada a processos automatizados de projeto, fabricação e usinagem, que conferem agilidade e precisão à construção.

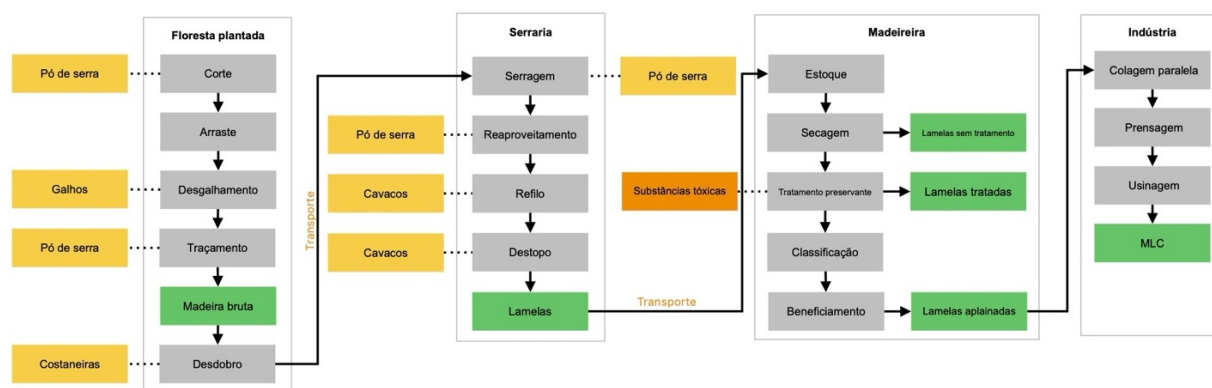
De modo geral, o emprego da madeira industrializada envolve métodos construtivos fortemente vinculados ao processo de produção dos componentes, caracterizados por um elevado grau de pré-fabricação (Chiletto *et al.*, 2024). A cadeia produtiva da madeira industrializada inicia-se com o beneficiamento das toras retiradas da floresta, que são transformadas em lamelas. Essas passam por secagem, tratamento químico, ressecagem em estufa e posterior classificação visual e mecânica. Após essa etapa, as lamelas são emendadas no comprimento desejado, aplainadas e, então, passam pelas fases de colagem, prensagem e usinagem, etapas que asseguram padronização e desempenho técnico aos componentes finais.

Apesar da elevada industrialização envolvida, é possível estabelecer estratégias para reduzir impactos ambientais durante o processo. Segundo Berriel (2009), a utilização preferencial de madeira maciça, selecionada entre espécies de qualidade, permite minimizar o uso de colas sintéticas de difícil reciclagem e de tratamentos químicos com elevada toxicidade, frequentemente utilizados na fabricação de produtos *Mass Timber*, como a MLC (madeira lamelada colada) e CLT (madeira lamelada colada cruzada). Complementando essa abordagem, Herzog *et al.* (2004) destacam a importância da escolha criteriosa das espécies utilizadas e da classe de produto à base de madeira mais adequada para cada tipo de aplicação, a fim de garantir durabilidade e compatibilidade com as exigências específicas do projeto.

Entre os principais produtos que compõem o sistema *Mass Timber* atualmente, destacam-se a MLC e a CLT. Ambos possuem função estrutural e compartilham grande parte das etapas produtivas, diferenciando-se principalmente nos métodos de colagem e orientação das lamelas, como ilustrado nas Figuras 5 e 6. Pela resistência à compressão e

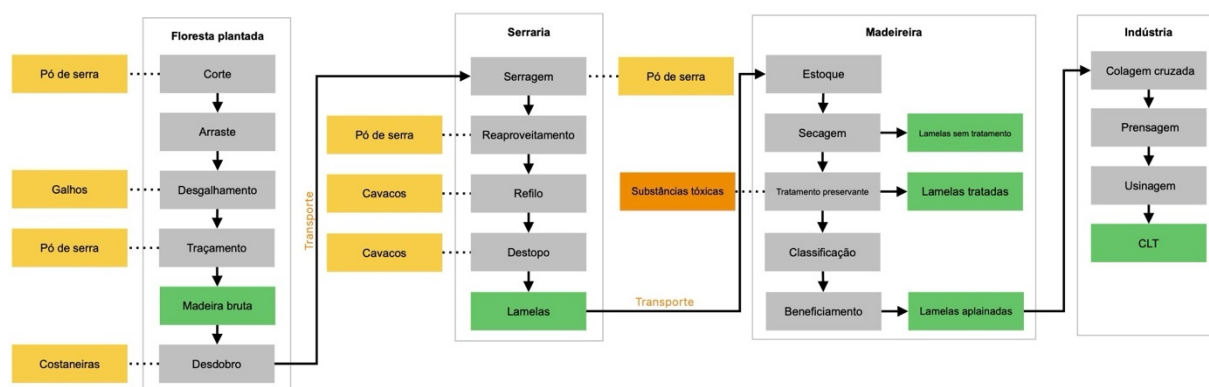
pela capacidade de distribuição homogênea das cargas, esses sistemas permitem a substituição de estruturas convencionais compostas por pilares e vigas, favorecendo construções mais rápidas e racionalizadas.

Figura 5 – Cadeia produtiva do MLC.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

Figura 6 - Cadeia produtiva do CLT.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

Além de possibilitar construções rápidas, racionais e tecnicamente eficientes, os sistemas em CLT também podem incorporar estratégias sustentáveis ao longo de sua cadeia produtiva. Um exemplo significativo é a iniciativa da empresa Águia Florestal⁵, que associa o uso da madeira industrializada à gestão responsável de resíduos provenientes da usinagem. Nessa prática, os materiais residuais do processamento de florestas plantadas são reaproveitados para a fabricação de painéis de CLT (Figura 7), conferindo ao sistema construtivo não apenas valor técnico, mas também ambiental. Esses painéis são empregados

⁵ A Águia Florestal é uma empresa brasileira dedicada ao plantio e à industrialização de madeira, com sede em Ponta Grossa (PR). Fundada há mais de 49 anos, possui aproximadamente 13 mil hectares de florestas nativas preservadas, utilizando técnicas avançadas de silvicultura, e produz diversos produtos madeireiros, como toras, madeira serrada, biomassa entre outros, sendo CLT o mais recente.

principalmente em habitações rurais de interesse social, demonstrando como a industrialização da madeira pode estar alinhada a ações de responsabilidade socioambiental e à democratização do acesso à moradia de qualidade.

Figura 7 - Sequência de imagens da produção de CLT com madeira de reaproveitamento.

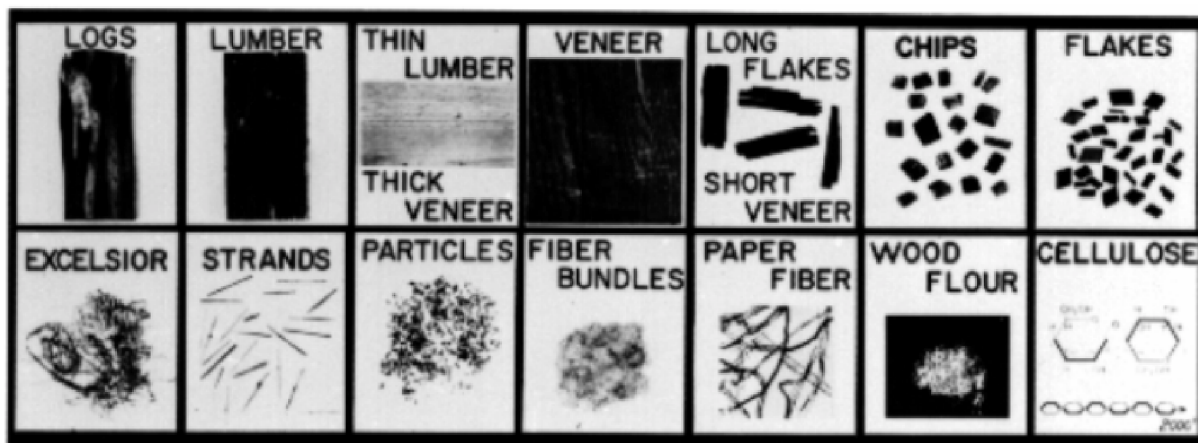


Fonte: arquivo da autora (2025).

1.2.1. Derivados da madeira

Segundo Herzog *et al.* (2004), os produtos derivados da madeira são resultantes do processamento industrial da madeira natural, combinando-a com resinas ou outros materiais para criar produtos com propriedades específicas. São produzidos a partir de lâminas, tiras, partículas e fibras de madeira (Figura 8) ou até de resíduos isentos de impurezas obtidos por meio da reciclagem, formando produtos com diversas possibilidades de aplicação em vedações verticais. Os derivados otimizam os desempenhos da madeira por meio de sua homogeneização, que promove eficiência do ponto de vista mecânico, o que permite reduzir sensivelmente as seções.

Figura 8 - Elementos básicos da madeira, do maior ao menor.



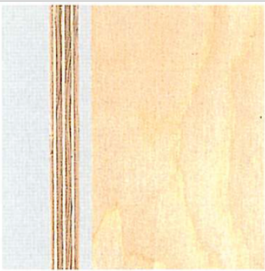
Fonte: Marra (1979) apud Youngquist (1999).

Os produtos de madeira reconstituída têm demonstrado versatilidade crescente, sendo empregados em aplicações cada vez mais complexas. O trabalho de Laverde e Barbosa (2021) apresenta estudos sobre a utilização da madeira reconstituída para estruturas, evidenciando possibilidades de aplicação em diversas formas complexas e algumas vantagens do uso do material, como a possibilidade de uso quase completo da matéria prima, e maior liberdade de dimensionamento das peças para confecção de componentes.

Para Gauzin-Muller (2011), os derivados da madeira conservam seu aspecto aconchegante ao mesmo tempo que oferecem novas possibilidades construtivas, adaptadas às restrições técnicas e econômicas de cada projeto, favorecendo também a competitividade da madeira no setor da construção. Para o desenvolvimento do trabalho, os derivados foram organizados em três grandes classes: laminados, particulados e fibrosos, além de um grupo de painéis compostos.

1.2.1.1. Laminados

Quadro 6 - Técnicas de utilização de laminados em vedações verticais.

Derivados - Laminados			
Técnica	Descrição / Características	Imagem	Exemplo de aplicação
Plywood / madeira compensada	Painel composto por lâminas finas de madeira sobrepostas em camadas de número ímpar, com fibras alternadas perpendicularmente, coladas e prensadas com adesivos industriais. Pode utilizar diferentes espécies de madeira, priorizando as mais resistentes nas lâminas externas. Possui variações para uso estrutural ou não estrutural, dependendo da espécie, número de camadas e tipo de adesivo. Possui	 Fonte: Herzog et al. (2004).	 Fonte: Neem Plywood. Disponível em:

	elevado grau de industrialização e é amplamente utilizado como elemento de vedação ou revestimento, pela sua leveza, rigidez e versatilidade.		https://neemptywood.com/plywoods . Acesso em: 19 out. 2025.
LVL – Laminated Veneer Lumber	Produto estrutural composto por lâminas finas de madeira coladas com as fibras orientadas paralelamente. As lâminas são unidas sob calor e pressão com adesivos resistentes à umidade, resultando em elementos de alta resistência mecânica, estabilidade dimensional e uniformidade. Possui elevado grau de industrialização. Permite a produção de painéis de grandes dimensões que, quando empregados como vedação vertical, pode ser mantido aparente, assumindo função estrutural ou de fechamento, conforme o projeto.	 Fonte: Herzog <i>et al.</i> (2004).	 Fonte: Metsa group. Disponível em: https://www.metsagroup.com/metsawood/explore-wood/kerto-lvl-applications/wall-elements/. Acesso em: 19 out. 2025.

Fonte: elaborado pela autora (2025).

De acordo com Gauzin-Müller (2011), a industrialização da madeira representa um avanço significativo na direção de um aproveitamento mais racional e eficiente da matéria-prima. Por meio de processos industriais, como a laminação e a prensagem, é possível transformar a madeira em lâminas e painéis de alto desempenho, com dimensões e características padronizadas, permitindo sua aplicação em sistemas de vedação e acabamentos interiores com precisão e economia de material. O desenvolvimento de adesivos e vernizes à base de água e com baixa toxicidade contribuiu para ampliar o uso dessas soluções, tornando viável a fabricação de componentes colados com menor impacto ambiental e maior segurança para os trabalhadores.

As técnicas de madeira laminada, como o compensado e o LVL, embora envolvam alto grau de processamento, podem incorporar práticas sustentáveis em diferentes etapas de sua cadeia produtiva. O uso de florestas plantadas como fonte de matéria-prima, a eficiência na transformação da madeira com baixa geração de perdas e a possibilidade de reutilização ou reciclagem parcial dos resíduos são aspectos positivos nesse sentido. Por outro lado, o consumo energético elevado durante o processamento, bem como a utilização de colas sintéticas, ainda que em formulações menos agressivas, apontam para desafios quanto à completa sustentabilidade do sistema.

Além dos aspectos ambientais, a industrialização também se vincula à dimensão social da sustentabilidade. Ainda segundo Gauzin-Müller (2011), a fabricação de painéis laminados requer mão de obra treinada e capacitada para operar máquinas e sistemas de controle de qualidade, o que estimula a formalização do trabalho, a profissionalização de

trabalhadores e a geração de empregos qualificados. Dessa forma, essas técnicas não apenas otimizam o uso da madeira, mas também contribuem para cadeias produtivas mais estruturadas e integradas ao desenvolvimento regional.

1.2.1.2. Particulados

Quadro 7 - Técnicas de utilização de particulados em vedações verticais.

Derivados - Particulados			
Técnica	Descrição / Características	Imagem	Exemplo de aplicação
PB – Particle Board / Aglomerados	Painel fabricado a partir de partículas de madeira obtidas por redução mecânica, aglutinadas com resinas sintéticas e prensadas sob calor. Composto geralmente por três camadas, apresenta partículas mais finas nas superfícies e mais grossas no núcleo. Possui médio a alto grau de processamento, tem boa estabilidade dimensional, superfície lisa e pode ser aplicado como elemento de vedação interna ou substrato para revestimentos. Dentre os aglomerados, está incluído o MDP – <i>Medium Density Particleboard</i> , com alto grau de industrialização, acabamento uniforme e resistência razoável à flexão. Pode ser aplicado em divisórias e painéis de vedação internos.	 Fonte: Herzog et al. (2004).	 Fonte: Licinia Alberti. Disponível em: https://www.archdaily.com/782458/7-eco-loft-jose-maria-de-lapuerta-plus-paloma-campo . Acesso em: 19 out. 2025.
OSB – Oriented Strand Board / Chapas de Flocos Orientados	Painel produzido a partir de partículas alongadas de madeira orientadas em camadas perpendiculares, coladas com resinas sintéticas e prensadas a quente. Com alto grau de industrialização, confere boa resistência estrutural, podendo ser utilizado tanto em vedações internas quanto externas, com bom desempenho mecânico e estabilidade dimensional.	 Fonte: Herzog et al. (2004).	 Fonte: 1º Prêmio Masisa de Arquitetura, 2006. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/projetos/06.066/2656?page=4 . Acesso em: 19 out. 2025.
Waferboard	Painel produzido a partir de partículas dispostas de forma aleatória, coladas com resinas fenólicas e prensadas a quente. Possui médio grau de industrialização e menor controle direcional, sendo utilizado como componente de vedação ou revestimento em sistemas compostos.	 Fonte: Vinawood. Disponível em: https://vinawoodltd.com/blogs/news/waferboard . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Cristina Beltrán. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/980110/paineis-osb-em-interiores-de-um-material-humilde-a-um-recurso-de-design . Acesso em: 19 out. 2025.

PSL – Parallel Strand Lumber	Painel estrutural formado por longas tiras de madeira orientadas paralelamente ao sentido longitudinal, unidas com adesivos estruturais e prensadas continuamente. Pode aproveitar resíduos da produção de LVL em sua fabricação. Possui alto grau de industrialização, apresenta elevada resistência mecânica e é aplicável em sistemas estruturais de vedação.	 Fonte: Naturally wood. Disponível em: https://www.naturallywood.com/engineered-wood-products/parallel-strand-lumber-psl/. Acesso em: 19 out. 2025.	
--	---	---	--

Fonte: elaborado pela autora (2025).

No setor construtivo, o OSB (*Oriented Strand Board*) tem sido amplamente utilizado como fechamento de sistemas *light wood frame*⁶, em tapumes e divisórias internas, devido à sua durabilidade, estabilidade dimensional e resistência mecânica. Sua fabricação, baseada no uso de flocos orientados de madeira colados com resinas sintéticas, permite o aproveitamento de espécies de menor valor comercial e toras de menor qualidade, garantindo bom desempenho estrutural e custo competitivo. No entanto, o uso intensivo de resinas à base de formaldeído compromete sua reciclabilidade e descarte adequado, o que representa um desafio ambiental importante.

No sistema *light wood frame*, a estrutura e a vedação trabalham de forma integrada, compondo uma solução técnica que transita entre a construção tradicional com peças maciças e a industrialização baseada em painéis. Para sua adoção segura e durável, é necessário atender a requisitos técnicos específicos, como a estanqueidade à umidade, o uso de barreiras impermeabilizantes, o correto dimensionamento das bases das paredes e o distanciamento dos componentes de madeira do solo ou de fontes de umidade constante, conforme a ABNT NBR 15575-4 e a ABNT NBR 16936 (ABNT, 2021; ABNT, 2023).

Além do OSB, outros painéis particulados vêm sendo aplicados em contextos similares, com usos mais restritos. O PB (*Particleboard*), por exemplo, é utilizado sobretudo como substrato para revestimentos ou em divisórias internas secas, por apresentar uma superfície lisa e custo reduzido. O MDP (*Medium Density Particleboard*) apresenta características semelhantes, com o diferencial de possuir uma distribuição granulométrica

⁶ A ABNT NBR 16936:2023 – Edificações em *light wood frame* – define sistema *light wood frame* como sistemas construtivos estruturados por peças leves de madeira maciça serrada, ou produto derivado de madeira, com fechamentos em chapas unidas às peças de madeira, formando painéis com resistência e rigidez aplicadas tanto no plano do painel quanto perpendicular a ele (ABNT, 2023).

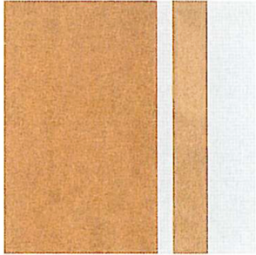
controlada em três camadas, o que garante maior estabilidade e permite aplicação em painéis verticais internos. No entanto, assim como o PB, não possui resistência estrutural significativa, nem boa performance em ambientes úmidos, o que restringe sua aplicação em vedações verticais externas.

O *waferboard*, embora semelhante ao OSB, suas partículas não são orientadas, resultando em desempenho mecânico inferior. Seu uso em vedações verticais é raro e pouco documentado, sendo mais comum como painel temporário. A ausência de normatização clara sobre seu comportamento em sistemas de fechamento limita sua adoção em escala mais ampla. Já os painéis estruturais como LSL (*Laminated Strand Lumber*) e PSL (*Parallel Strand Lumber*), apesar de apresentarem alto desempenho mecânico e estabilidade dimensional, são mais frequentemente aplicados como montantes estruturais, e não como painéis contínuos de vedação. A carência de exemplos construídos com esses materiais aplicados verticalmente como fechamento de fachadas ou paredes internas indica uma possível necessidade de pesquisas. O custo elevado e o foco em aplicações de carga concentrada podem explicar essa limitação, estudos experimentais e detalhamentos específicos poderiam contribuir para analisar sua possível aplicação como painéis de vedação, especialmente em sistemas híbridos.

Dessa forma, observa-se que, embora os painéis particulados representem soluções viáveis e consolidadas em determinadas aplicações, ainda existem desafios técnicos, normativos e culturais para ampliar sua utilização em sistemas de vedação vertical. As exigências de desempenho térmico, estanqueidade, resistência e sustentabilidade devem ser cuidadosamente avaliadas, de modo a garantir a adequação técnica e ambiental do material ao contexto projetual e construtivo.

1.2.1.3. Fibrosos

Quadro 8 - Técnicas de utilização de fibrosos em vedações verticais.

Derivados - Fibrosos			
Técnica	Descrição / Características	Imagem	Exemplo de aplicação
MDF – Medium Density Fiberboard	Painel de fibras de madeira fabricado pelo processo de aglutinação das fibras com ligantes sintéticos. A ligação ocorre por entrelaçamento das fibras e ação adesiva dos ligantes. Apresenta densidade média entre 600 e 800 kg/m³, com superfície uniforme e homogênea. Possui alto grau de industrialização, pode ser utilizado em vedações verticais	 Fonte: Herzog et al. (2004).	 Fonte: Mimura. Disponível em: https://www.mimura.com.br/divisoria-de-mdf/ . Acesso em: 19 out. 2025.

	internas e, embora não seja estrutural, pode funcionar como elemento complementar em sistemas leves.		
HDF – High Density Fiberboard	Painel fabricado pelo processo de aglutinação das fibras de madeira com ligantes sintéticos e elevada compressão, resultando em estabilidade dimensional e resistência mecânica. Apresenta densidade superior a 850 kg/m ³ , com superfície lisa e homogênea. Possui alto grau de industrialização e pode ser empregado como painel interno ou divisórias, requerendo proteção contra umidade em áreas de risco.	 Fonte: Marlite. Disponível em: https://marlite.com/resources/materials/hdf/. Acesso em: 19 out. 2025.	

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Como destacado por Gauzin-Müller (2011), embora os produtos derivados da madeira, como os painéis fibrosos MDF (*Medium Density Fiberboard*) e HDF (*High Density Fiberboard*), representem um avanço em termos de aproveitamento integral da matéria-prima e padronização industrial, a maior parte ainda emprega adesivos e aditivos à base de compostos orgânicos voláteis (COVs), como o formaldeído, que podem ser nocivos à saúde e comprometem o desempenho ambiental desses materiais ao longo do ciclo de vida. A presença de colas sintéticas também dificulta o reuso e descarte adequado dos painéis, o que reforça a necessidade de reflexão crítica sobre os impactos associados a essas técnicas de alta industrialização.

De fato, como ressaltado por Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975), os adesivos desempenham papel fundamental na viabilização de componentes complexos em madeira, sendo responsáveis por conferir coesão, resistência e estabilidade dimensional. Entretanto, conforme apontam Mendoza *et al.* (2017), o uso predominante de adesivos sintéticos derivados do petróleo ainda representa um obstáculo significativo à circularidade do material, comprometendo sua renovabilidade e dificultando processos de reaproveitamento ou reciclagem.

Nesse sentido, vêm sendo desenvolvidas alternativas mais sustentáveis para a produção de derivados de madeira, especialmente painéis e compósitos sem cola, obtidos por meio da polimerização da lignina natural sob pressão, ou a partir do uso de resíduos do processamento mecânico. Estudos como os de Dacosta (2004) e Duarte *et al.* (2023) investigam métodos de fabricação de painéis com menor carga química, com vistas a reduzir a toxicidade dos componentes e ampliar seu potencial de reutilização.

Complementarmente, Groba e Blumer (2023) destacam que, para que os resíduos de madeira possam ser reinseridos na cadeia produtiva da construção civil, é imprescindível que estejam livres de contaminantes e preservativos tóxicos, como metais pesados ou aditivos aplicados para resistir a organismos xilófagos. Tais substâncias não apenas inviabilizam o reuso, como também dificultam o reprocessamento mecânico do material, além de representar riscos à saúde e ao meio ambiente.

Nesse panorama, destacam-se iniciativas como a de Akpan *et al.* (2024), que propõem métodos de regeneração da madeira descartada com preservação da orientação das fibras e melhoria das propriedades mecânicas, através da compactação da estrutura original e da regeneração celular via celulose. Essas estratégias minimizam o uso de solventes e representam avanços promissores na valorização da madeira pós-uso, alinhando-se às diretrizes da economia circular. Sob outro enfoque, Fernández-Costas *et al.* (2017) discutem práticas de preservação sustentável por meio do uso de extrativos naturais bioativos, que reduzem a necessidade de produtos químicos agressivos e promovem maior durabilidade da madeira. A técnica do grafting enzimático, por exemplo, tem se mostrado eficaz na redução da lixiviação de compostos preservativos, o que amplia a vida útil do material e facilita sua destinação futura.

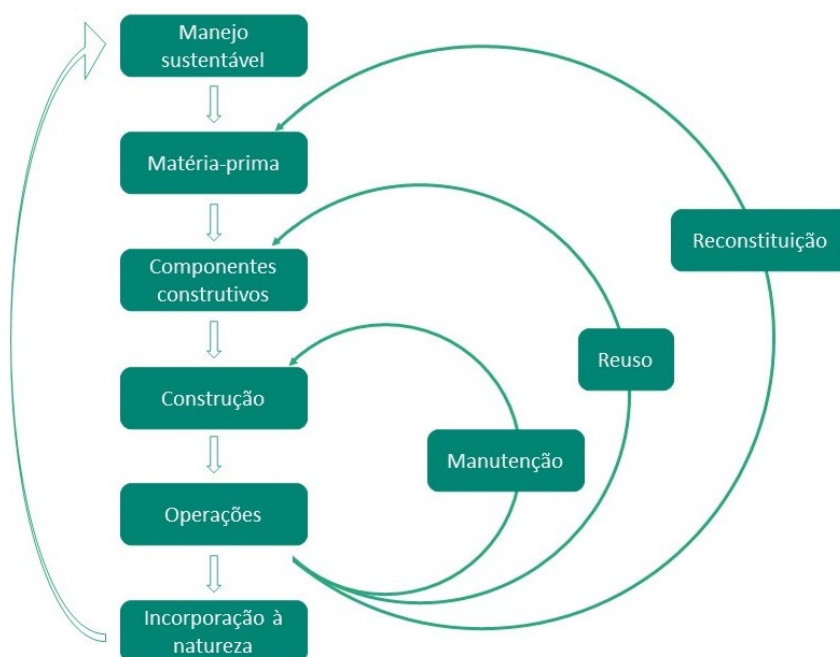
Ainda em relação à problemática dos aditivos, o estudo de Haber *et al.* (2017) analisa soluções para o tratamento e recuperação de madeira contaminada, indicando que o uso de agentes quelantes pode auxiliar na remoção de compostos inorgânicos após a dessorção, favorecendo o reuso seguro desses materiais em novos ciclos produtivos. Por outro lado, pesquisas como a de Pedreño-Rojas *et al.* (2024) exploram caminhos para o aproveitamento de cinzas de biomassa de madeira, empregando-as como aditivo em gessos ecoeficientes. O estudo demonstra que a substituição parcial por cinzas (até 25%) não compromete o desempenho do material e, além disso, melhora sua eficiência térmica em até 18%, ampliando as possibilidades de valorização dos resíduos lignocelulósicos.

A reutilização da madeira na construção civil também tem sido abordada em estudos como o de Lima *et al.* (2024), que apontam aplicações como revestimentos de fachadas, painéis internos, mobiliário, isolantes térmicos e compósitos híbridos como formas viáveis de reinserção do material no ciclo construtivo. Além de reduzir a demanda por matéria-prima virgem, essas estratégias diminuem o uso de adesivos convencionais e favorecem a implementação de modelos produtivos baseados na circularidade.

Apesar dos avanços, persistem desafios técnicos, econômicos e culturais. Segundo Niu *et al.* (2021), a falta de produtos desenvolvidos para múltiplos ciclos de uso, associada a incertezas quanto à durabilidade dos materiais reaproveitados, ainda representa uma barreira à adoção de soluções circulares. Schuster e Geier (2022) acrescentam que a falta de incentivos econômicos, a ausência de padronização normativa e a baixa valorização da madeira de reuso frente a outros materiais contribuem para a estagnação do setor nesse aspecto.

Nesse contexto, como sintetizado por Costa e Laverde (2024), o desenvolvimento de uma abordagem holística para a circularidade do material madeira, como exemplificada na Figura 9, a partir de princípios da Economia Circular em sua cadeia construtiva, se apresenta como uma alternativa promissora, pois visa mitigar a energia incorporada e as emissões de carbono na indústria da construção civil, prolongando a vida útil da matéria-prima e reduzindo os custos de materiais. Englobando as atividades de manejo sustentável, pré-fabricação de componentes construtivos, construção e manutenção de edificações, com a possibilidade de realizar sua devida desconstrução e remontagem, seguida da reutilização dos componentes e, por fim, reconstituição da matéria-prima, cria-se a ideal circularidade da madeira no setor da construção civil.

Figura 9 – Princípios da Economia Circular na cadeia construtiva da madeira.



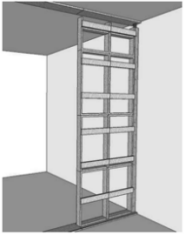
Fonte: elaborado pela autora (2024), adaptado de: Ellen MacArthur Foundation; World Economic Forum; The Boston Consulting Group. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/>. Acesso em: 17 maio 2024.

1.2.2. Painéis compostos

Os painéis compostos são elementos construtivos formados pela combinação de dois ou mais materiais distintos, unidos em uma estrutura única e industrializada com o objetivo de integrar múltiplas funções em um único componente. Esses painéis reúnem propriedades estruturais, isolantes e de vedação, otimizando o desempenho térmico, acústico e mecânico das edificações, além de acelerar os processos de montagem. Tais sistemas vêm ganhando destaque na construção civil por sua leveza, precisão dimensional e potencial de sustentabilidade, especialmente em abordagens de pré-fabricação e construção a seco. Algumas possibilidades compositivas são demonstradas no Quadro 9.

Quadro 9 - Painéis compostos para utilização em vedações verticais.

Painéis compostos			
Técnica	Descrição / Características	Imagem	Exemplo de aplicação
Painel Wall	Painel composto por miolo de madeira sarrafeada e laminada, contraplacado com lâminas de madeira e revestido externamente por placas cimentícias (CRFS). Possui bom desempenho termoacústico e resistência ao fogo, com espessuras entre 40 e 55 mm. Possui alto grau de industrialização e utiliza adesivos industriais em sua fabricação.	 Fonte: Eternit. Disponível em: https://www.eternit.com.br/produto/painel-wall-40mm . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Nakanishi (2007).
Painel SIP – Structural Insulated Panel	Painel composto por duas placas estruturais externas de OSB e núcleo isolante (EPS, PUR ou similares), formando um painel de alto desempenho térmico e acústico. Possui alto grau de industrialização e é utilizado em construções modulares e pré-fabricadas.	 Fonte: Painel SIP Brasil. Disponível em: https://sipbras.com.br/painel-sip-osb-caracteristicas-vantagens-e-desvantagens/ . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Alejandro Soffia. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/892608/casalarga-alejandro-soffia . Acesso em: 19 out. 2025.
Chapa Sarrafeada	Chapa formada por sarrafos colados lateralmente, com lâminas perpendiculares nas extremidades, resultando em painel misto. Possui médio a alto grau de industrialização e pode ter função estrutural ou de vedação, com bom acabamento superficial.	 Fonte: SM madeiras e laminados. Disponível em: https://www.smmad.com.br/produto/pt/38/compensado-sarrafeado . Acesso em: 19 out. 2025.	 Fonte: Norihito Yamauchi. Disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/940207/residencia-parenteses-sai-architectural-design-office . Acesso em: 19 out. 2025.

Alguns painéis desenvolvidos em pesquisas acadêmicas nacionais			
Painel desenvolvido por Barata (2008)	Painel Experimental I: protótipo de vedação vertical leve e portante, com camadas sucessivas de lambri, ventilação, manta, OSB, ossatura de madeira e revestimento interno. Desenvolvido com materiais de origem local e reaproveitada, este compõe um dos três protótipos projetados por Thomas Barata para estudo de aplicabilidade em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras.	 Fonte: Barata (2008).	 Fonte: Barata (2008).
Painel desenvolvido por Rezende (2016)	Painel experimental leve para vedações internas, com requadros de madeira maciça e fechamento em MDF 18 mm. Fixação por cavilhas e parafusos. Adaptado ao mercado nacional com componentes padronizados.	 Fonte: Rezende (2016).	 Fonte: Rezende (2016).

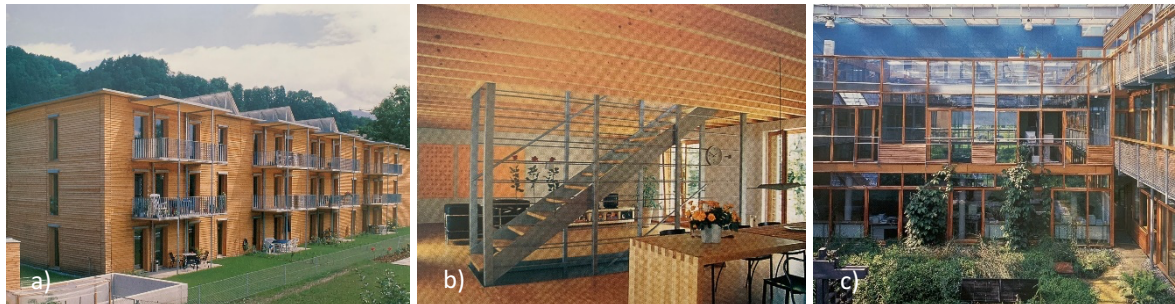
Fonte: elaborado pela autora (2025).

Diversas obras analisadas por Gauzin-Müller em *Arquitetura ecológica* exemplificam de forma contundente a relação entre pré-fabricação e sustentabilidade no Ambiente Construído. A utilização de componentes padronizados e pré-fabricados em madeira, como observado nas habitações Ölbündt em Dornbirn (Figura 10-a) e na residência em Stuttgart-Degerloch (Figura 10-b), resulta em processos construtivos mais limpos, rápidos e de baixo impacto ambiental. Nessas obras, a autora destaca a “montagem rápida e com poucos efeitos nocivos graças à estrutura de madeira padronizada e pré-fabricada” (Gauzin-Müller, 2011, p. 146), evidenciando a sinergia entre racionalização construtiva, desempenho ambiental e qualidade arquitetônica.

Mesmo em contextos nos quais a madeira não é o único material empregado, como no caso dos escritórios de Wageningen (Figura 10-c), a combinação estratégica entre componentes metálicos padronizados e elementos em madeira reforça a lógica da pré-fabricação e contribui para a sustentabilidade. Segundo a autora, essa abordagem híbrida é particularmente eficaz por otimizar o uso de materiais e padronizar os processos de produção, reduzindo perdas e racionalizando recursos.

Figura 10 – Sequência de imagens que vinculam pré-fabricação à sustentabilidade.

a) Habitações Ölbündt em Dornbirn; b) Residência em Stuttgart-Degerloch; c) Escritórios de Wageningen.



Fonte: Gauzin-Müller (2011).

Essas estratégias dialogam diretamente com as técnicas apresentadas ao longo deste capítulo, que reúnem diferentes possibilidades compositivas da aplicação da madeira em vedações verticais. A padronização dos componentes, o uso de materiais renováveis e, em alguns casos, o aproveitamento de resíduos e insumos locais demonstram como tais soluções podem ser adaptadas a contextos específicos, conciliando eficiência térmica, rapidez na montagem e menor impacto ambiental. Além disso, o alto grau de industrialização presente em técnicas como os painéis SIP ou painéis Wall permite integrar o projeto e a execução de forma mais precisa, o que é fundamental para edifícios desmontáveis, adaptáveis e duráveis.

A utilização de sistemas híbridos e a reutilização ou reciclagem de materiais, como propõem Pastori, Mazzucchelli e Wallhagen (2022), reforçam o papel da pré-fabricação na transição para uma construção mais sustentável. Ao considerar a combinação de madeira com materiais como concreto ou aço, abre-se espaço para estratégias de maior durabilidade, modularidade e adaptabilidade. Nessa perspectiva, como defendem Groba e Blumer (2023), a sustentabilidade deve ser pensada desde a fase de projeto até o fim da vida útil da edificação, considerando a extração responsável da matéria-prima, a eficiência nos processos produtivos, a facilidade de desmontagem e o reaproveitamento dos componentes. Assim, os edifícios tornam-se parte de um sistema cíclico e resiliente, onde os recursos são continuamente valorizados ao longo de todo o ciclo de vida da construção.

2. OS SISTEMAS DE VEDAÇÃO MISTOS EM AÇO E MADEIRA NA OBRA DE JEAN PROUVÉ

Jean Prouvé foi um pioneiro da industrialização da construção civil, cuja atuação revolucionou o design e a arquitetura do século XX. Nascido em 1901 em Paris, filho de um dos fundadores da Escola de Nancy⁷, Prouvé no início de sua atuação profissional trabalhou como ferreiro, sem formação em Arquitetura ou Engenharia. Como resultado, de acordo com Rubin (2005), Prouvé foi exposto às lutas de uma corporação artesanal que buscava se reinventar incorporando métodos industriais em seu espírito artesanal. Sua educação multidisciplinar, que unia arte e indústria, moldou sua visão de design funcional, acessível e inovador.

Em 1923, abriu sua primeira oficina de metalurgia na Rue du Général Custine, em Nancy, explorando o uso do aço dobrado e novas tecnologias como a soldagem elétrica, que revolucionaram sua abordagem criativa. No início de sua atuação como ferreiro, Jean Prouvé produzia artesanalmente obras ornamentais em ferro forjado, como grelhas, corrimãos e lustres. Em Sulzer (1999), Prouvé evidencia o papel da Escola de Nancy em suas escolhas de atuação futura:

Então, um belo dia, a luz raiou sobre mim. Eu disse a mim mesmo: “É isso. Devemos fazer algo diferente. Temos que utilizar métodos modernos de produção”. Então mudei para a construção, porque era essencialmente isso que me interessava (...) Se pensei assim, foi porque vivia entre pessoas que pensavam assim; era o espírito da Escola de Nancy (Sulzer, 1999, p. 19).

Nos anos seguintes, ele passou a colaborar com arquitetos de renome, como Robert Mallet-Stevens e Le Corbusier, consolidando sua reputação no design e na arquitetura moderna. Em 1931, Prouvé fundou os Ateliers Jean Prouvé na Rue des Jardiniers, também em Nancy, onde desenvolveu projetos inovadores, como móveis para o setor público e estruturas pré-fabricadas, visando sempre a produção em massa. No início de sua atuação profissional no campo da construção, a industrialização já havia influenciado o processo de transformação de vários sistemas e materiais construtivos, isso foi possível a partir do desenvolvimento cada vez maior do setor industrial europeu no pós-guerra. Este cenário influenciou Jean Prouvé na utilização de máquinas de ponta para manipulação de novos materiais. De acordo com Sulzer (1999), a escassez de aço no contexto da Segunda Guerra Mundial serviu de motivação inicial para a experimentação com o material madeira, impulsionando sua utilização a partir de processos de engenhejamento.

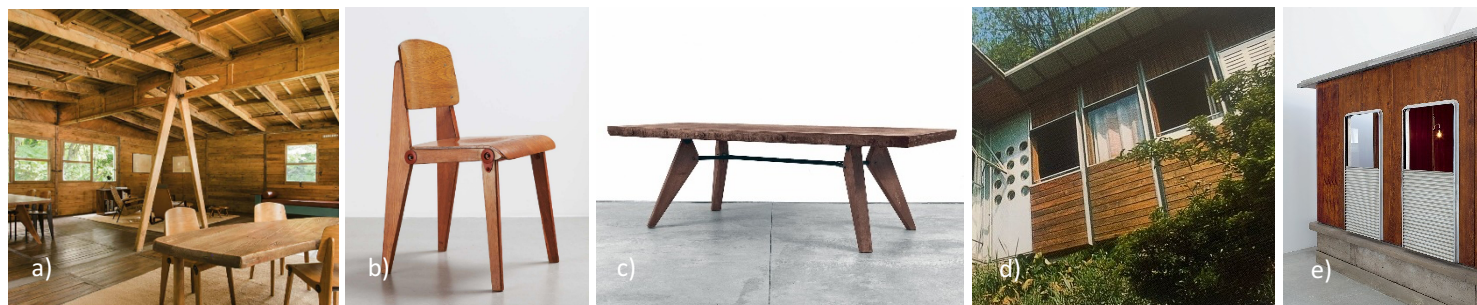
⁷ De acordo com Prouvé (2005), seu pai, Victor Prouvé, foi um dos fundadores da Escola de Nancy, cujos membros atuavam seguindo conceitos que relacionavam industriais, artistas e artesãos.

Após a guerra, Prouvé se estabeleceu em Maxéville, perto de Nancy, onde dirigiu sua fábrica de 1947 a 1953, produzindo inúmeras obras voltadas à construção pré-fabricada para produção em massa. Após perder o controle financeiro dos Ateliers Jean Prouvé em 1953, Prouvé se mudou para Paris, onde trabalhou como consultor independente em projetos de grande escala, como o CNIT (*Centre des Nouvelles Industries et Technologies*) em La Défense e a sede do Partido Comunista Francês. Também foi chefe do departamento de arquitetura do grupo industrial CIMT (*Compagnie Industrielle de Matériel de Transport*), responsável por grandes obras no setor. Paralelamente, atuou como professor no CNAM (*Conservatoire National des Arts et Métiers*), onde influenciou uma geração de arquitetos e engenheiros. Nos anos seguintes, continuou a desenvolver projetos em Paris, até sua morte em Nancy, em 1984, sendo amplamente reconhecido por sua contribuição ao design industrial e à arquitetura do século XX.

Prouvé destacou-se pela sua forma de trabalho peculiar, em que o ‘fazer e o pensar’ constituíam uma mesma coisa: a mão e a mente trabalhando juntas em uma ida e volta contínua da máquina para o projeto (Laverde e Oliveira, 2017). A busca permanente do princípio construtivo em relação às qualidades mecânicas próprias do material utilizado, o levaram a uma constante inovação que se converte em um dos princípios absolutos da sua trajetória e concepção arquitetônica (Prouvé, 2005).

Desde a década de 1920, Jean Prouvé projetava mobiliário para produção em escala, como cadeiras, poltronas, mesas, entre outros; envolvendo diversos segmentos, como residenciais, escolares, até hospitalares, em que os princípios da economia de materiais e a simplicidade construtiva sempre foram premissas importantes em seu trabalho. A partir de 1930, o profissional incorporou o uso da madeira em suas obras, em sua primeira oficina em Nancy. Primeiramente, iniciou a experimentação com o material em mobiliários, com o passar do tempo, a madeira foi ganhando mais visibilidade em suas obras, sendo utilizada em projetos de maior escala e complexidade (Figura 11).

Figura 11 – Sequência de imagens relativa à trajetória de uso da madeira por Jean Prouvé
 a) Construção desmontável B.C.C., 1942; b) Cadeira desmontável em madeira CB22, 1948; c) mesa S.A.M. 506, 1952; d) Casa da família Prouvé, 1954; e) Casa para Melhores Dias, 1956.



Nota: a) e e) foram obras reconstruídas pela Galerie Patrick Seguin. Fonte: a) e b) Seguin (2017); c) Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1951-24>. Acesso em: 02 set. 2024; d) Sulzer (2005); e) Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1956-5>. Acesso em: 16 jun. 2024.

Para Jean Prouvé, não havia diferença entre construir um mobiliário ou uma edificação, de forma que a estrutura de uma mesa seguia o mesmo princípio de uma estrutura em pórtico para edificações projetada por ele. Em sua obra, a madeira é utilizada em composição com outros materiais, aproveitando suas propriedades físicas e mecânicas para alcançar uma performance ampliada como unidade. De acordo com Berthier (2015), o profissional também pensava a madeira como um material industrial – um produto processado com alto valor agregado.

Como evidenciado por Laverde, Costa e Santos (2021), embora precursor de técnicas contemporâneas com o material madeira como o CLT (*Cross Laminated Timber*), as pesquisas sobre Jean Prouvé no que se refere à adoção de sistemas mistos com madeira são muito escassas, diferentemente de sua contribuição com as estruturas metálicas. Entretanto, o profissional desenvolveu sistemas metálicos em associação com a madeira, tanto no estado maciço como também industrializada, escolhendo o processo de acordo com o problema a ser enfrentado e do contexto histórico de atuação.

2.1. A ATEMPORALIDADE DAS OBRAS DE JEAN PROUVÉ

A trajetória de Jean Prouvé com o desenvolvimento de painéis de vedação vertical, especialmente envolvendo sistemas mistos com a madeira, perpassou diversos desafios de acordo com os contextos histórico e econômico entre as décadas 1930 e 1960. Concomitantemente às experimentações envolvendo a utilização da madeira em mobiliários ao longo da década de 1930, Prouvé deu início à utilização do material em construções pré-fabricadas de maior porte. A escassez de aço provocada pela Segunda Guerra Mundial foi a

motivação inicial para a busca de outras fontes de matéria-prima para suas obras. Assim, passou a realizar experimentações construtivas com a madeira em busca de soluções para a crise habitacional da época.

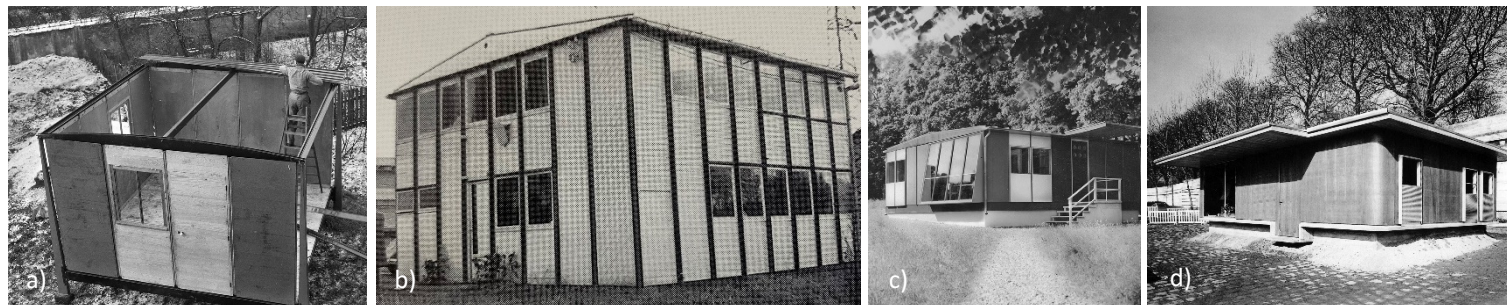
Mais especificamente entre os anos de 1931 e 1946, foram desenvolvidos projetos, protótipos e patentes em busca da flexibilidade dos espaços internos de suas obras. Como destaca Sulzer (1999), Jean Prouvé não foi o primeiro a construir edifícios inteiramente metálicos, mas foi, provavelmente, um dos pioneiros da produção de divisórias móveis em chapas metálicas, usando os materiais e máquinas de seu tempo para criar novos produtos. O mesmo autor também afirma que, ao longo dos anos, os painéis de vedação vertical e as divisórias móveis desenvolvidas pelo profissional foram produtos que constituíram a base econômica das Oficinas J. Prouvé – sendo esta informação muitas vezes negligenciada pela literatura.

Com o passar dos anos, a experimentação envolvendo painéis de vedação vertical em madeira consolidou-se na oficina de Jean Prouvé. Em resposta às problemáticas da época, como o pós-guerra, a reconstrução da França ao longo da década de 1940 e a crise habitacional na França durante a década de 1950, desenvolveu sistemas construtivos alinhados ao avanço industrial de máquinas e materiais construtivos. Para Rubin (2005), Prouvé estava comprometido com a arquitetura industrializada, defendendo a importância de aproximar os arquitetos do processo produtivo. Ele sugeria que os edifícios fossem concebidos a partir de elementos modulares, que serviriam como base para inúmeras variações, as quais, por sua vez, poderiam se transformar em novos componentes arquitetônicos.

Assim, observa-se a variabilidade com que foram desenvolvidos os painéis de vedação vertical nesse período (Figura 12), de acordo com a técnica de aplicação da madeira, orientações de fixação da madeira serrada, dimensões dos painéis, modulação utilizada, pé direito empregado e, principalmente, a utilização de materiais com desempenho complementar no sistema misto.

Figura 12 – Sequência de imagens relativa à diversidade de painéis de vedação vertical desenvolvidos por Jean Prouvé entre 1930 e 1960

a) Abrigo desmontável 4x4, 1939; b) Edifício para a S.C.A.L., 1941; c) Casa Standard, 1950; d) Casa para Melhores Dias, 1956.



Fonte: a) e b) Sulzer (2000); c) Collection privée. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1949-5>. Acesso em: 27 jun. 2024; d) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1956-5>. Acesso em: 16 jun. 2024.

É notável que as inovações pioneiras de Prouvé tenham uma ressonância particular na atualidade, à medida que a indústria da arquitetura e construção se voltam cada vez mais para abordagens envolvendo adaptabilidade, flexibilidade e responsabilidade ambiental. Sua abordagem técnica e inovadora continua a inspirar discussões sobre como conciliar a tecnologia e a sustentabilidade na arquitetura contemporânea.

Jean Prouvé utilizou a madeira em suas obras com diferentes técnicas, empregando-a desde sua forma maciça até a industrializada. Isso se deu a partir de experimentações construtivas realizadas ao decorrer de sua trajetória, acompanhando a evolução da tecnologia na construção pré-fabricada, envolvendo os materiais e as máquinas de seu tempo. Embora os sistemas mistos empreguem o aço em sua montagem, material cuja cadeia produtiva possui alto consumo energético em relação ao da madeira, de acordo com Laverde (2019), a possibilidade de reciclabilidade do material, assim como, seu desempenho frente à umidade e maior desgaste nos casos de desmontagem, podem minimizar o impacto ambiental de sua cadeia produtiva, aumentando a vida útil da edificação, gerando desta forma menos resíduos com demolições a longo prazo, pela possibilidade de substituições e intervenções de manutenção pontuais. Além disso, a possibilidade de trabalhar com diferentes materiais, explorando as potencialidades de cada um e minimizando suas limitações, permite alcançar um componente com desempenho mais satisfatório quando analisado seu ciclo de vida. Em alguns sistemas de vedos desenvolvidos por Jean Prouvé, a madeira tem maior presença de aplicação em relação ao aço, enquanto outros, embora empreguem maior quantidade de aço

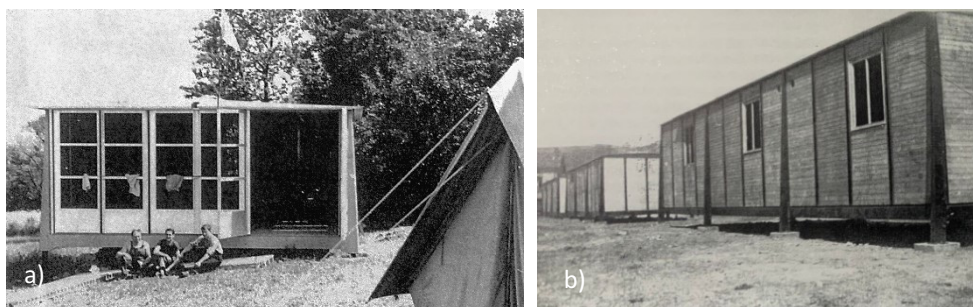
em relação à madeira, possuem flexibilidade suficiente para adaptações em que materiais de baixo impacto possam ser os protagonistas do sistema.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram categorizadas as obras de Jean Prouvé com a utilização de painéis de vedação vertical com madeira em associação ao aço. As diferentes formas de aplicação da madeira foram estudadas, buscando compreender as motivações e justificativas de uso do material, suas potencialidades e principais características.

2.1.1. Década de 1930/40: Segunda Guerra Mundial e escassez de recursos como motivação inicial

Inicialmente, a madeira foi empregada em suas obras na forma maciça, tanto para a estruturação interna dos painéis verticais, como para seu fechamento interno e externo. Em 1939, ano em que a França declarou guerra contra a Alemanha nazista, Jean Prouvé recebeu a demanda de 12 abrigos militares (Figura 13-b) encaminhada pelo General Maurice Dumontier. Estes abrigos deveriam ter como principais características a facilidade e rapidez de montagem. Nesta obra, Jean Prouvé pôde contar com apenas 30 funcionários, dos 120 que trabalhavam em sua oficina em Nancy, pois muitos haviam sido convocados para a guerra. Entretanto, o profissional desenhou todo o projeto com detalhes em uma noite, e após uma semana apresentou o protótipo para o General. Ele conseguiu elaborar o projeto em pouco tempo pois se baseou no edifício do acampamento de férias em Onville (Figura 13-a), que havia construído no mesmo ano e seguia uma estrutura externa semelhante.

Figura 13 – Sequência de imagens referentes às primeiras aplicações da madeira em vedações verticais
a) Refeitório desmontável para o acampamento de férias em Onville; b) Abrigos desmontáveis para o corpo de engenheiros.

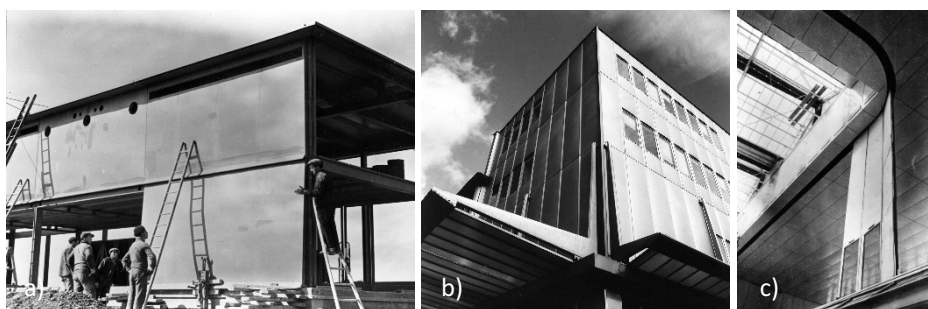


Fonte: a) Archives Départementales de Meurthe-et-Moselle. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1939-9>. Acesso em: 26 jun. 2024; b) Sulzer (2000).

No processo de desenvolvimento desses painéis, Prouvé utilizou recurso similar ao empregado nos painéis metálicos desenvolvidos em 1935 para o Clube de Aviação em Roland Garros (Figura 14-a) e para a Maison du Peuple de Clichy (Figura 14-b e c). Com a finalidade de ocultar defeitos por falta de planicidade gerada pela dificuldade de fabricar chapas de aço perfeitamente planas, Prouvé optou por curvá-las. Esse processo foi transferido para os painéis em madeira, estratégia que, segundo Berthier (2015), foi utilizada recorrentemente pelo profissional.

Esta solução original, aliás surpreendente, utilizando painéis curvos de madeira, confirma que houve na obra de Jean Prouvé uma coerência entre o desejo de uma forma para o material e os princípios construtivos, de modo que não se consegue identificar qual deles regula o outro (Berthier, 2015, p. 89).

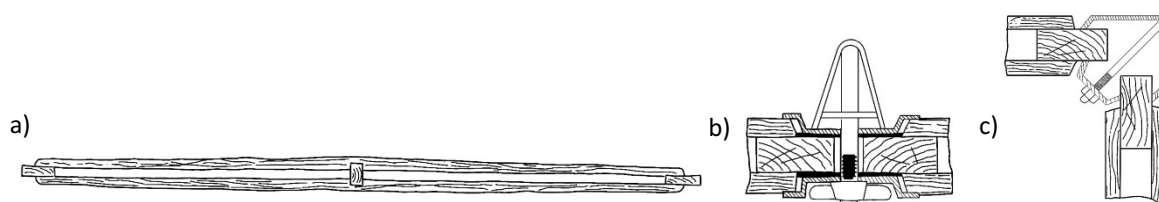
Figura 14 – Sequência de imagens referente aos painéis metálicos criados em 1935 por Jean Prouvé
a) Clube de Aviação em Roland Garros; b) Painéis externos da Maison du Peuple de Clichy; c) Divisórias móveis da Maison du Peuple de Clichy.



Fonte: a) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1935-5>. Acesso em: 27 ago. 2024; b) e c) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1936-5>. Acesso em: 27 ago. 2024.

De acordo com Castro (2009), nos abrigos desmontáveis de 1939, a problemática não era um terreno de difícil implantação ou acesso, e sim a inexistência de um. Dessa forma, os projetos partiram de uma organização interna que não estabelecia relação com o exterior. A partir dessa experimentação, Jean Prouvé registrou em 1940 a patente nº 865.235 “Abrigo desmontável”, contendo todo o projeto e a descrição de montagem dos painéis (Figura 15). Como destacado por Berthier (2015), a grande quantidade de patentes desenvolvidas ao longo de sua carreira demonstra sua abordagem experimental de projeto e criação, com as práticas de pesquisa e desenvolvimento aplicadas à construção.

Figura 15 – Detalhes de painéis da patente nº 865.235 "Abrigo desmontável"
a) Corte transversal do painel; b) União de painéis; c) União de painéis de canto.



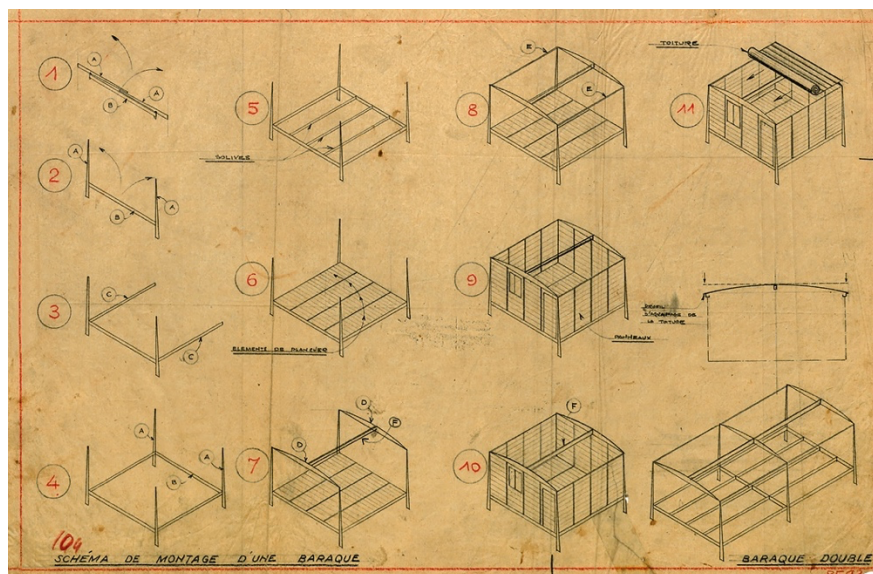
Fonte: adaptado de Sulzer (2000).

O uso de painéis curvos de madeira permitiu montagens mais esbeltas, com economia de material, além de proporcionar rigidez satisfatória na parte plana dos painéis. Como consta na patente, “os painéis de parede dupla podem tornar-se indeformáveis abaulando-os com uma ripa rígida colocada entre eles. A ripa pode ser substituída por molas distribuídas por toda a superfície dos painéis” (Sulzer, 2000, p. 261).

Os abrigos desmontáveis eram constituídos por duas partes distintas: uma estrutura metálica rígida e painéis de vedação leves. A estrutura foi concebida em chapas metálicas dobradas soldadas e era composta por quatro pilares formando as bases e suportes da cobertura, unidos por vigas – de piso e de cobertura – formando quadros estruturais e de suporte do piso, que também era em madeira. Os painéis foram projetados de forma dupla, de maneira que na etapa de montagem a face interna do painel tinha uma dimensão menor que a externa, com uma ripa de madeira a menos, que era removível e instalada por último, facilitando a montagem do painel (Figura 16).

Os painéis eram compostos por peças que poderiam ser desconectadas e a construção desmontada para ser implantada em outro local, com o processo de montagem bem definido, como pode ser observado na Figura 16. Além disso, para garantir maior isolamento térmico, os painéis duplos poderiam ser preenchidos com material isolante, e os módulos-base 4 x 4 m poderiam ser anexados, ampliando as construções. Nessa tipologia, a instalação dos painéis pré-fabricados se dava diretamente sobre o eixo da estrutura.

Figura 16 – Esquema de montagem de um abrigo desmontável



Fonte: Fonds des Ateliers Jean Prouvé, Archives départementales de Meurthe-et-Moselle. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1939>. Acesso em: 28 ago. 2024.

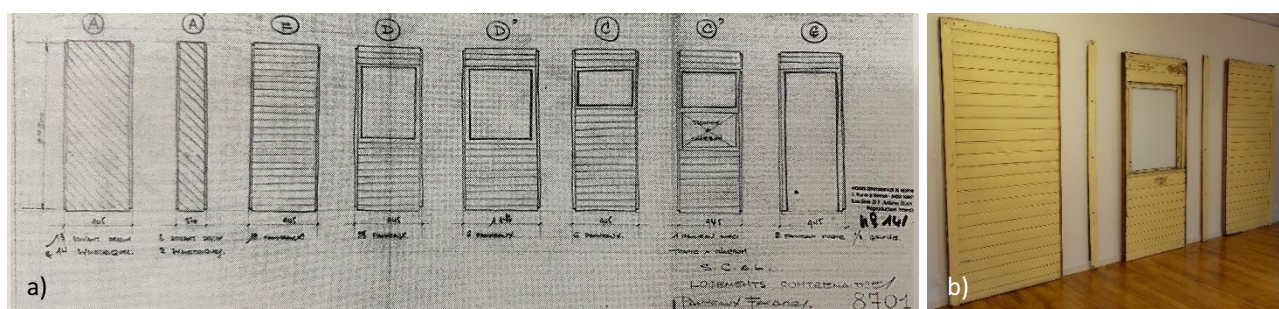
Com o desenvolvimento dessas obras, Prouvé demonstrou tanto sua capacidade de produzir um programa de pré-fabricação sob pressão quanto a capacidade de sua oficina de implementá-lo, embora muitos de seus trabalhadores tivessem sido recrutados para a Guerra. Após essa experiência, um segundo pedido veio do exército por meio de Georges Blanchon e sua equipe no *Bureau Central de Constructions* – B.C.C., e outras unidades foram entregues ao local da *Société Central des Alliages Legers* – S.C.A.L. em Issoire, França. Com a intensificação da Guerra, a fabricação dos abrigos do exército foi suspensa, mas Prouvé, convencido do potencial dos edifícios para adaptação ao uso civil, seguiu em frente com vários projetos para versões de moradias permanentes.

Ainda em 1939, com os desafios vindos da Guerra, a S.C.A.L., com o apoio do governo, se envolveu em um projeto inovador como uma fábrica de laminação de chapas metálicas. A instalação desse grande empreendimento industrial em Issoire tinha motivações como a posição geográfica estratégica, o potencial energético favorável e a mão de obra disponível na região. Com a urgência de produzir instalações para acomodação dos engenheiros e projetistas responsáveis pelo programa de construção e desenvolvimento, Jean Prouvé, Pierre Jeanneret⁸ e Charlotte Perriand foram escolhidos para comporem a equipe dedicada a enfrentar o desafio construtivo em um curto espaço de tempo.

⁸ Segundo Sulzer (2000), estes foram os primeiros edifícios feitos com pórticos centrais e marcaram o início da frutífera colaboração entre Jean Prouvé e Pierre Jeanneret, antigo sócio de Le Corbusier.

Com base nas pesquisas experimentais de Jean Prouvé envolvendo construções pré-fabricadas em aço e madeira de rápida montagem, foram elaboradas duas soluções técnicas para a construção dos edifícios. A primeira, foi baseada no acampamento de férias em Onville, enquanto a segunda – a solução escolhida – consistia em uma estrutura mais complexa com utilização de pórtico central. O princípio foi baseado em uma estrutura no formato de um “V invertido” – concebida tanto em aço quanto em madeira – sendo empregado em edifícios térreos e também de dois pavimentos. Foi criada uma variação estrutural com pórticos no formato de “U invertido”, e em ambas as soluções os painéis de vedação vertical seguiam o padrão de utilização de tábuas de madeira serrada, instaladas em diferentes orientações. Os painéis não possuíam uma modulação fixa, sendo fabricados em dimensões de 320 mm até 1140 mm de largura, como observa-se a partir da Figura 17.

Figura 17 – Painéis de vedação vertical S.C.A.L.
a) Desenho dos painéis; b) Foto dos painéis desmontados.



Fonte: a) Sulzer (2000); b) Galerie Downtown Paris. Disponível em: https://www.galeriedowntown.com/en/expositions_galerie/jean-prouve-et-la-scal-issoire-1939/. Acesso em: 05 set. 2024.

Foram construídas diversas edificações ao longo dessa grande instalação, com destaque para o edifício de projeto (Figura 18), de dimensões 8 x 8 m, com pé direito duplo e mezanino, com a estrutura em pórtico central perpassando os dois pavimentos. As instruções de montagem dos edifícios elaboradas por Jean Prouvé evidenciam os principais passos, sendo: 1. Preparação do terreno; 2. Posicionamento das vigas de fundação; 3. Instalação das vigas inferiores; 4. Posicionamento dos pórticos em “A” fixados pelas vigas cumeeiras; 5. Colocação de vigas e componentes do piso; 6. Instalação de cumeeiras e empenas externas; 7. Instalação de componentes de cobertura; 8. Instalação de painéis de vedação vertical externos; 9. Instalação de divisórias internas (Sulzer, 2000).

Figura 18 – Sequência de imagens referentes ao edifício de projetos da S.C.A.L., 1939
a) Montagem do edifício; b) Finalização do edifício; c) Vista interna do edifício em utilização.



Fonte: a) e b) Archives Constellium Issoire; c) Fonds Jean Prouvé. Disponíveis em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1940-9>. Acesso em: 03 ago. 2024.

Observa-se a variabilidade quanto às orientações de fixação das tábuas de madeira serrada nos painéis: de forma horizontal, vertical e também na diagonal, visto que as peças instaladas diagonalmente demandam uma maior diferenciação de dimensões se comparadas às instaladas horizontal ou verticalmente, que possuem dimensões padrão. Entende-se que a possível escolha pela diagonal se dá em razão da disposição contribuir como sistema de contraventamento nas edificações de pé-direito alto, como é o caso desse edifício (Figura 18-a). Com o desenvolvimento do sistema construtivo em pórtico central, os painéis de vedação vertical passaram a ser instalados sem o contato direto com a estrutura principal, o que ocorria anteriormente nos abrigos desmontáveis. Isso ampliou as possibilidades de instalação das divisórias internas da edificação.

2.1.2. Década de 1940: o pós-guerra e a reconstrução da França

O sistema construtivo desenvolvido com pórtico central também foi empregado na temática habitacional, com a construção de casas pré-fabricadas inteiramente em madeira, impulsionada pela B.C.C. (*Bureau Central de Constructions*) em 1941, adaptando as experimentações de Prouvé à urgência da época. A construção desmontável F 8 x 8 m (Figura 19) é o principal exemplo da aplicação desse sistema em habitações.

Figura 19 – Sequência de imagens relativas à construção desmontável F 8 x 8 m B.C.C.
a) Vista externa; b) Vista interna; c) Instalação dos painéis.



Fonte: Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1941-22>. Acesso em: 05 set. 2024.

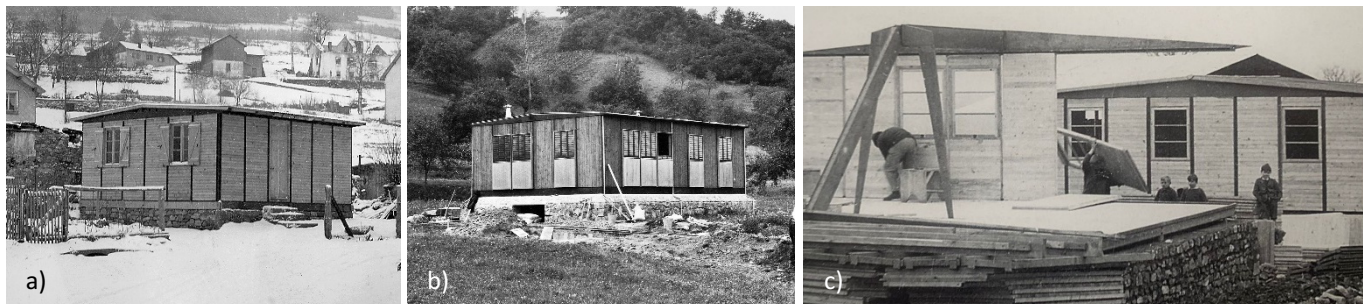
Nessa construção, observa-se novamente a variabilidade de instalação das tábuas de madeira nas vedações verticais, com a utilização de tábuas instaladas diagonalmente nos painéis de maiores dimensões. Além da finalidade estética, entende-se que na orientação diagonal, as tábuas formam um padrão que se comporta de maneira próxima a contraventamentos, contribuindo para resistir à deformação lateral. Esse tipo de disposição também reforça o painel contra torções, ajudando na estabilidade geral da estrutura.

De acordo com Seguin (2017), essa obra ilustra a inventividade e o ‘saber fazer’ de uma dupla notável – Jeanneret e Prouvé – em que a atenção técnica e construtiva foi de encontro à combinação estética, alimentada pela compreensão e inspiração mútuas. Os profissionais conseguiram atender aos requisitos do cliente com a versão inteiramente em madeira de uma habitação bem-feita, temporária e confortável. Para eles, a adaptação às circunstâncias extremas da época significou a chance de variar os usos de uma técnica comprovada e otimizar as potencialidades do material utilizado – a madeira.

Ao final da guerra, a partir de 1944, em resposta a uma ordem do estado ao final da Guerra, Jean Prouvé desenvolveu construções desmontáveis para vítimas de guerra (Figura 20), utilizando um sistema modular que seria então principal norteador de suas obras futuras. Baseado em um módulo quadrado de 1 m, o sistema englobava os componentes de piso, os painéis de vedação vertical – com variantes de janela e de porta – assim como a cobertura com conexões padronizadas. Segundo Castro (2009), esse módulo passou a ser utilizado pelo profissional por sua praticidade numérica, dimensional e de transporte.

Figura 20 – Sequência de imagens relativa às construções desmontáveis para vítimas de guerra

a) Construção 6 x 6 m; b) Construção 6 x 9 m; c) Montagem da construção 8 x 8 m.



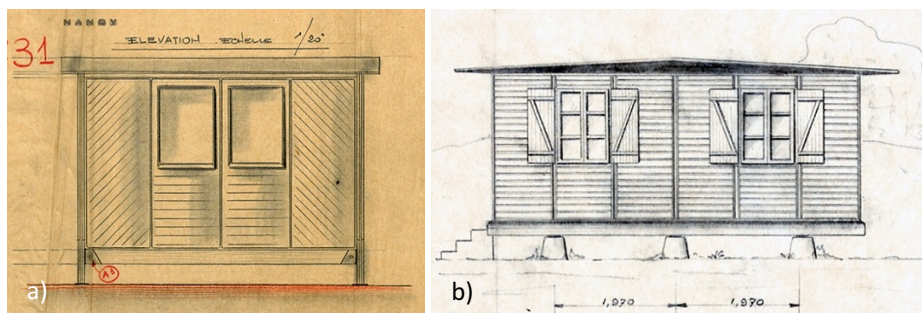
Fonte: a) e c) Sulzer (2005); b) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1944-6>. Acesso em: 16 jun. 2024.

Nessas obras, foram empregadas diferentes tipologias de painéis de vedação vertical, com a visível experimentação contínua de Prouvé. Foram desenvolvidos painéis cegos e painéis de esquadrias, incluindo primeiramente janelas de abrir, que posteriormente foram substituídas por janelas de guilhotina. Observa-se as diferentes formas de aplicação da madeira nessas obras, de forma que na construção 6x6 as peças de madeira são instaladas horizontalmente, enquanto na 6x9, verticalmente. E nos painéis de janela na construção 6x9, a vedação inferior é feita em alumínio, destacando a experimentação com novos materiais disponíveis na época.

Além disso, verifica-se a evidente evolução das obras de Prouvé ao assimilar as referências utilizadas para elaboração dessas obras, visto que os painéis foram estudados com base nos abrigos desmontáveis de 1939, como observado por meio da Figura 21, ao passo que a estrutura em pórtico central é fruto das primeiras experimentações realizadas nos edifícios da S.C.A.L. (*Société Centrale des Alliages Légers*) em 1941, que já havia sido patenteada.

Figura 21 – Comparação entre os painéis de vedação vertical de 1939 e 1944.

a) Fachada do abrigo militar de 1939; b) Fachada da construção desmontável para vítimas de guerra 6x6 de 1944.

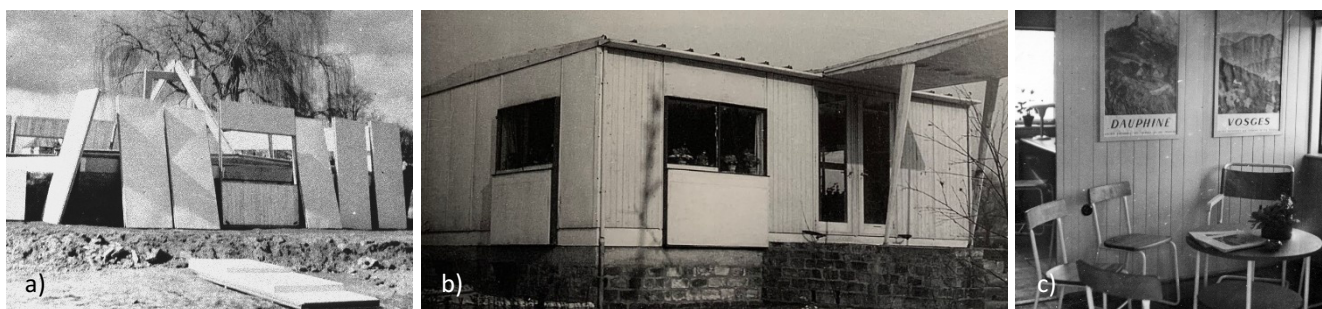


Fonte: a) Fonds des Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1939>. Acesso em 16 jul. 2025; b) Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em 16 jul. 2025.

Ao contrário das construções para a B.C.C., a estrutura dessas obras voltou a ser pré-fabricada em chapas metálicas. Porém, a madeira continuou sendo amplamente utilizada para as vedações. Nesse mesmo período, Prouvé desenvolveu obras para a empresa de madeira baquelizada Permali, utilizando os mesmos princípios das construções desmontáveis, porém com aplicação de tábuas de madeira também nas vedações inferiores das janelas guilhotina.

Visando dar continuidade às experimentações envolvendo casas pré-fabricadas para produção em massa, Jean Prouvé desenvolveu uma construção 8 x 8 m com estrutura em pórtico metálico e vedações em painéis de madeira e alumínio (Figura 22). Essa edificação, construída como protótipo em 1945 com a utilização de patentes já registradas pelo profissional, envolveu a participação da empresa Acières de Gillingen em conjunto com as Oficinas J. Prouvé, formando a “Stahlhaus GmbH”, que seria responsável pela construção de 137 casas pré-fabricadas.

Figura 22 – Sequência de imagens referente à casa desmontável 8 x 8 construída em Sarre
a) Etapa de montagem; b) Casa construída; c) Vista interna dos painéis.



Fonte: a) e c) Famille Bindschedler. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1947-5>. Acesso em: 12 set. 2024; b) Sulzer (2005).

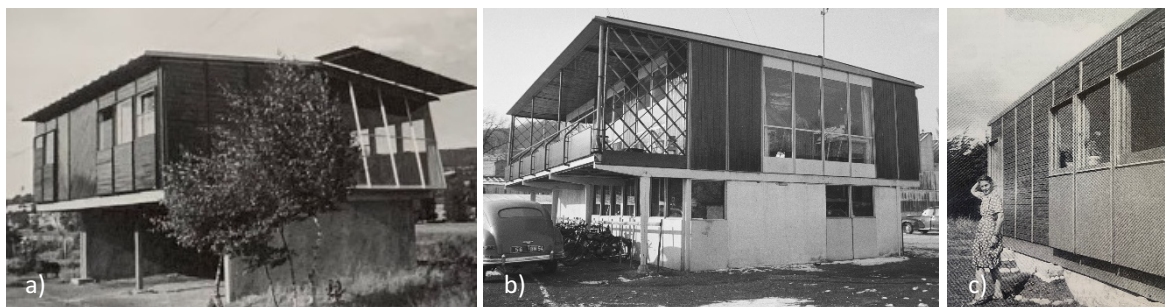
Observa-se nessa obra a utilização de duas tipologias de painéis de vedação vertical, sendo um destinado aos painéis cegos e outro aos painéis de esquadria, de maior dimensão. As tábuas de madeira são instaladas seguindo a orientação vertical nos painéis de vedo, enquanto nos painéis de esquadria, as janelas guilhotina são confeccionadas em alumínio, caracterizando esses painéis tanto formal quanto esteticamente. O alumínio também é utilizado nas molduras dos painéis, facilitando a montagem e desmontagem das construções.

O protótipo da casa desmontável 8 x 8 m foi construído em Sarre, na Alemanha e utilizado como assistência social pelo governo militar francês. Esperava-se que a produção em massa fosse possível, porém, em 1948 a Stahlhaus foi liquidada e esse sonho de Prouvé foi subitamente encerrado. De acordo com Sulzer (2005), o contexto de início da Guerra Fria e do

lançamento do programa de armas associado afetou diversas empresas do ramo na mesma época, pela falta de apoio estatal.

Nesse mesmo período de 1945 a 1948, foram também construídas as edificações da fábrica de Maxéville, de Jean Prouvé. Entre novas construções com o emprego de sistemas já desenvolvidos pelo profissional, como o escritório de Jean Prouvé (Figura 23-a), houve a reconstrução de obras criadas anteriormente, como um abrigo desmontável 4 x 4 m, proveniente do período da guerra, que foi reconstruído para armazenagem, e o escritório de projeto, concebido como protótipo de Noisy-le-sec (Figura 23-b). Outra reconstrução do período foi a casa de férias de Carnac (Figura 23-c), proveniente das construções desmontáveis para vítimas de guerra. Segundo Sulzer (2005), a casa de 8 x 8 m foi fabricada em Nancy e transportada por 800 km para ser montada e utilizada por 2 meses pela família de Prouvé em período de férias em Carnac.

Figura 23 – Sequência de imagens referente às reconstruções ocorridas entre 1945 e 1948
a) Escritório de Jean Prouvé de Maxéville; b) Escritório de projetos de Maxéville; c) Casa de férias em Carnac.



Fonte: a) e c) Sulzer (2005); b) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1948-13>. Acesso em: 12 set. 2024.

As três obras apresentadas desse período evidenciam algumas características construtivas em comum, como a modulação de 1 m para projeto e instalação dos painéis, a diferenciação de painéis de vedo e de esquadrias, e a utilização de molduras metálicas para os painéis de madeira. Como diferenças, observa-se a instalação das tábuas de madeira tanto vertical quanto horizontalmente, dependendo da finalidade do painel. Na casa de férias em Carnac (Figura 23-c), por exemplo, a instalação das tábuas em orientação horizontal facilitou o transporte das peças para montagem no local.

A construção desenvolvida para Noisy-le-sec, utilizada como escritório de projetos de Maxéville (Figura 23-b), foi inicialmente criada por Jean Prouvé com o objetivo de convencer o público das virtudes das habitações pré-fabricadas. Como participante na política do

governo francês sobre a reconstrução definitiva do pós-guerra, Prouvé ansiou por uma revolução industrial profunda no setor da construção civil e, incentivado por uma série de encomendas, começou a fabricar vários exemplares dessa casa, que ganhou o prêmio de primeiro lugar na competição Maisons Nouvelles (Novas Casas) de 1947.

Porém, a série de casas desenvolvidas por Prouvé entre 1946 e 1949 para construção em Noisy-le-sec foram vistas pela população como semelhantes às construções desmontáveis, remetendo à Guerra. Isso, aliado ao fato de os Ateliers Jean Prouvé atrasarem na entrega das construções – em razão da escassez de aço para fabricação das estruturas em pórtico – acarretou a desistência da compra pelos clientes, fazendo com que mais um sonho de Jean Prouvé não fosse concluído: de reconstruir as habitações francesas pós-guerra com um sistema construtivo inovador. O exemplar originalmente programado para entrega em 1946, permaneceu na fábrica de Maxéville até ser montado para ser utilizado como escritório de projeto dos Ateliers Jean Prouvé.

Outras obras foram construídas seguindo sistemas construtivos similares, como o Centro de aprendizagem em vidraria, em Croismare e os edifícios pré-fabricados em Ottmarsheim (Figura 24). Seguindo o mesmo sistema de pórticos centrais em “U” pré-fabricados em chapa de aço dobrada, com vedação em madeira, a principal diferença se encontra nos painéis de vedação vertical. Entende-se que os painéis utilizados para os edifícios de Ottmarsheim seguiam o dobro da modulação utilizada como padrão (Figura 24-c), pois os painéis de dimensões maiores utilizam menor quantidade de aço e alumínio em sua composição, facilitando a produção no contexto de escassez do aço.

Figura 24 – Sequência de imagens referentes às obras com sistemas construtivos similares

a) Centro de aprendizagem em vidraria, Croismare; b) Vista interna do centro de aprendizagem; c) Montagem de edifício em Ottmarsheim.



Fonte: a) e b) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1948-11>. Acesso em: 12 set. 2024. c) Sulzer (2005).

De acordo com Sulzer (2005), os edifícios pré-fabricados em Ottmarsheim consistiam em uma grande encomenda para os Ateliers J. Prouvé. Incluiu escritórios, cantina, dormitórios, enfermaria e edifício de recepção para a empresa Electricité de France. Os edifícios foram construídos nas dimensões 8 x 8 m, 8 x 22 m e 8 x 30 m, com estruturas em pórticos centrais do sistema patenteado em 1939, base em concreto, painéis de vedação vertical em madeira com caixilhos e estrutura metálicas, e piso também em madeira.

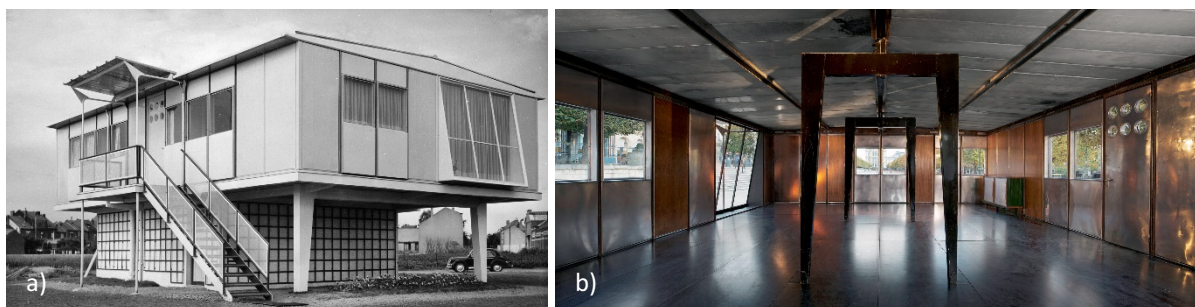
As obras de Jean Prouvé desenvolvidas ao longo da década de 1940 evidenciaram sua ânsia por criar sistemas construtivos voltados à temática habitacional, para reconstrução da França. Porém, foi observado que seus sistemas pré-fabricados não tiveram tanto apoio do público como desejado, mas foram acolhidos pelo setor industrial, tanto para a fabricação quanto para o emprego em obras de grande porte. Entretanto, entre 1949 e 1950, Prouvé desenvolveu a patente da Casa “Standard”, com uma nova composição de painéis de vedação vertical, incentivando e ampliando ainda mais o setor da industrialização da madeira. Nas casas Standard, os painéis foram desenvolvidos com maior complexidade, compondo painéis sanduíche com o uso de madeira compensada e alumínio.

2.1.3. Década de 1950: a crise habitacional na França

Para Prouvé, o caminho para solucionar o problema habitacional seria uma padronização mais dinâmica da industrialização na construção civil, promovendo maior flexibilidade para aperfeiçoamentos com contínua renovação e evolução arquitetônica (Prouvé, 2005). Isso foi possível no desenvolvimento das casas Standard (Figura 25), as quais foram pensadas com base na patente de 1939, para aprimoramento contínuo dos sistemas a partir da experimentação construtiva, visando a criação de edifícios residenciais que não se assemelhassem aos edifícios emergenciais. De acordo com Pineda (2014), as casas Standard são um marco na construção pré-fabricada, cuja importância reside na criação de um protótipo de habitação em série, com elementos padronizados e de fácil e rápida montagem, confeccionados com materiais leves e de baixo custo.

Figura 25 – Sequência de imagens referente às casas Standard

a) Casa Standard construída em Tourcoing, 1951; b) Vista interna da casa Standard remontada pela Galerie Patrick Seguin em Paris, 2011.

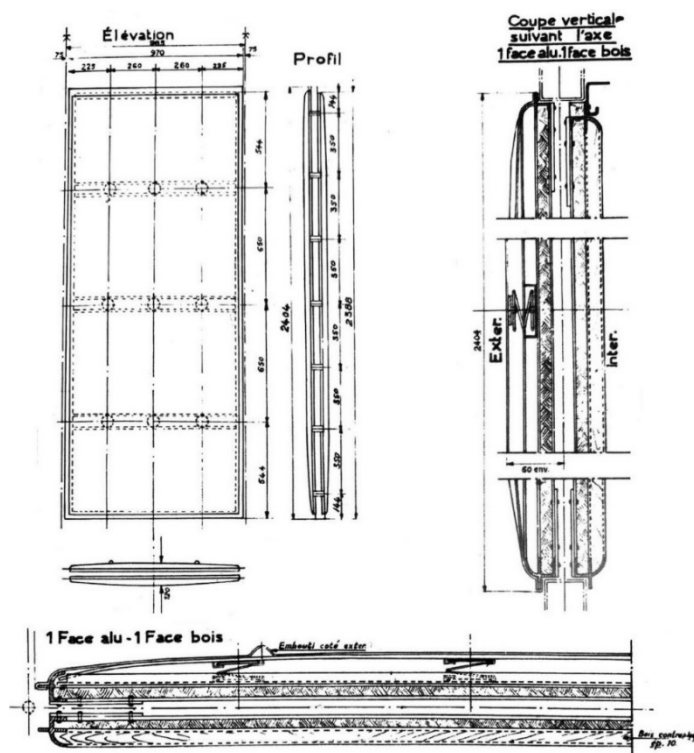


Fonte: a) Collection photographique de l'Aluminium Français; b) Galerie Patrick Seguin. Disponíveis em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1949-5>. Acesso em: 12 set. 2024.

Como consta no projeto (Disponível em Sulzer, 2005, p. 109), o sistema construtivo das casas Standard é constituído por uma estrutura de aço dobrada e painéis de cobertura em chapa de alumínio, com paredes externas, divisórias interiores e cobertura de componentes compósitos de 0,985 m de largura instalados em perfis de alumínio e chapa de alumínio. Assim, são utilizados materiais diversos para a construção das casas, como chapa de aço, seções em liga de alumínio, chapa de alumínio, lâ de vidro, madeira compensada e placa de gesso. Os painéis de vedação vertical externa foram desenvolvidos com largura uniforme de 0,968 m, e altura correspondente ao pé direito da construção, e classificados em painel de vedo, painel de janela, e painel de porta.

Os painéis de vedação vertical da edificação contavam com a face externa em chapa de alumínio esmaltado, enquanto as faces internas poderiam ter ambas as faces em madeira ou gesso, além da possibilidade de utilizar o alumínio (Figura 26). A partir desse projeto, observa-se o amplo emprego de painéis sanduíche com face externa em alumínio e face interna em madeira, e preenchido por material isolante, evidenciando a preocupação com a estanqueidade do componente, além do conforto interno à construção.

Figura 26 – Projeto do painel de vedação vertical com face externa em alumínio e interna em madeira.

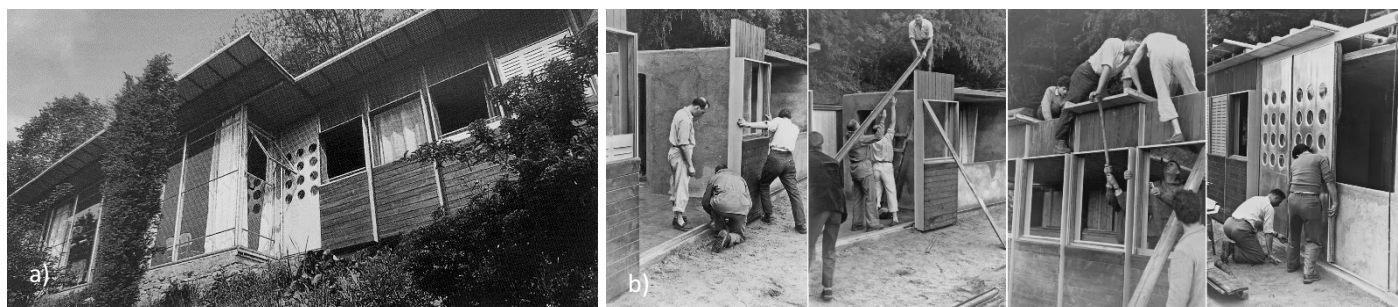


Fonte: Adaptado de Sulzer (2005).

Segundo Castro (2009), para Jean Prouvé, as casas pré-fabricadas deveriam ser usadas por no máximo uma geração, pois teriam que acompanhar as mudanças no caráter e tamanho das famílias ao longo de sua existência. Depois de desmontadas e parte dos componentes instalados em outro local, o terreno voltaria a estar limpo e sem interferências. Porém, de acordo com Pineda (2014), o que houve com as casas Standard foi o contrário: elas são utilizadas até hoje pelas novas gerações das famílias que as ocuparam pela primeira vez.

Em 1952, a empresa Aluminium Français tornou-se acionista majoritário do Ateliers Jean Prouvé, gerando mais incentivo ao uso do alumínio, porém marcando o início da saída do profissional de sua própria empresa, fundada por ele. Também foi o ano de início também do projeto da casa que Jean Prouvé construiria para sua família em Nancy (Figura 27), obra que, de acordo com Castro (2009), manifesta um modo específico de pensar do profissional, que utiliza da técnica e conexão das peças para criar variantes sem comprometimento arquitetônico. A casa foi implantada em um terreno caracterizado por seus declives acentuados e solo de má qualidade, porém com uma vista esplêndida para o sul de Nancy (Sulzer, 2008), sendo organizada de forma linear, e transversalmente ao eixo de declividade natural do terreno.

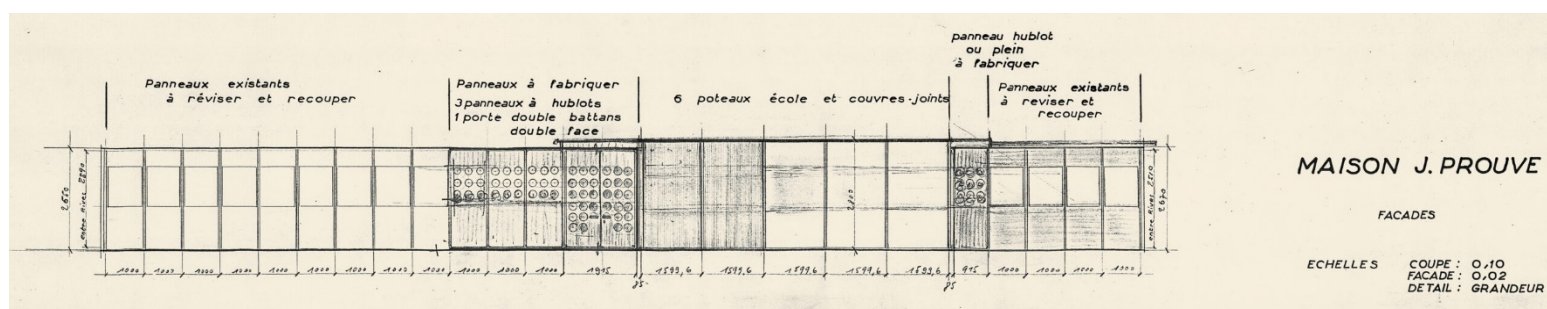
Figura 27 – Sequência de imagens referentes à Casa da família de Jean Prouvé
a) Fachada sul da edificação; b) Processo de instalação dos painéis de vedação.



Fonte: a) Sulzer (2008); b) Collection SCE Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1954-4>. Acesso em: 06 jul. 2024.

Após renunciar ao cargo de CEO do Ateliers Jean Prouvé em 1953, Prouvé já não tinha acesso a suas máquinas, então buscou construir sua casa com componentes do estoque da fábrica, que seriam descartados, produtos comerciais disponíveis na época, além de alguns componentes que puderam ser fabricados sob medida para a casa. Assim, alguns painéis já existentes, pré-fabricados para outras obras do profissional, como os das construções desmontáveis do período pós-guerra, foram utilizados na construção de sua casa. Esses foram aplicados no escritório, nos quartos e em parte da cozinha, com janelas de correr equipadas com venezianas, que incorporavam os mesmos mecanismos utilizados em obras anteriores.

Figura 28 – Composição de painéis de vedação vertical na fachada sul da casa de Jean Prouvé



Fonte: Collection privée. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1954-4>. Acesso em: 13 set. 2024.

Foram projetados painéis de vigia, característicos das obras de Jean Prouvé, tendo como prioridade a funcionalidade. Instalados nas áreas molhadas da casa e com aberturas acima de 1,1 m de peitoril, foram confeccionados em alumínio corrugado com aberturas circulares de 19 cm de diâmetro e espaçadas uniformemente a cada 28 cm (Figura 28). As demais aberturas circulares são localizadas nos painéis de alumínio nervurado utilizados na

porta dupla de entrada, em que as aberturas foram projetadas para se estenderem até uma altura de 50 cm para maximizar a iluminação natural (Figura 29-a).

Para a sala de estar da casa, foi utilizada uma parede cortina em vidro, proveniente de suas obras voltadas ao setor industrial e comercial. Com 2,8 m de altura e 8 m de comprimento, foi meticulosamente planejada para não conter elementos estruturais que pudessem obstruir a vista para o exterior (Figura 29-b). Abrangendo toda a extensão da sala, a parede cortina leva os olhos a uma vista panorâmica da cidade de Nancy (Figura 29-c). A madeira também foi utilizada como vedação horizontal de sua casa, por meio dos painéis Rousseau empregados pela primeira vez no forro/laje, como afirma Sulzer (2008), formando uma superfície uniforme e atuando como um fino diafragma de reforço da cobertura. Este sistema foi amplamente utilizado pelo profissional em suas obras a partir desta primeira experimentação em sua própria casa.

Figura 29 – Sequência de imagens referentes à casa de Jean Prouvé
a) Jean Prouvé na porta de sua casa (painel de vigia); b) Vista externa; c) Vista interna da sala.



Fonte: a) Fonds Cardot et Jolie; b) Collection SCE Jean Prouvé; c) Colléction privée. Disponíveis em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1954-4>. Acesso em: 13 set. 2024.

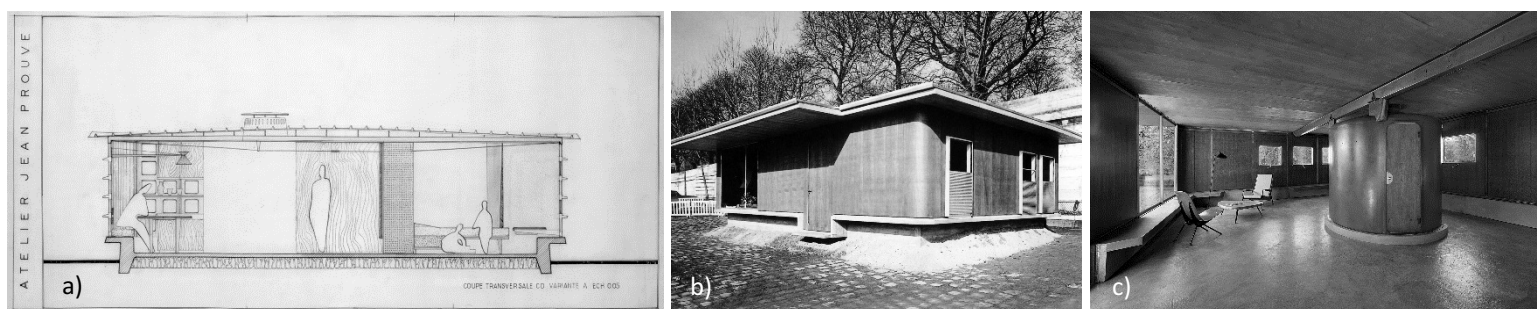
Retomando o desenvolvimento de casas pré-fabricadas solicitado pelo Abade Pierre, ao final da década de 1950 Prouvé projetou a Casa para Melhores Dias (Figura 30). Como destacado por Sulzer (2008), o Abade Pierre compreendia a industrialização da construção como uma prática aliada à busca pela resolução do problema habitacional que acercava o território francês. Como principais características necessárias, foi solicitada uma metragem de 50 m² para a casa, uma construção rápida, que deveria ser realizada em poucos dias e sem necessitar de mão de obra especializada, e o preço deveria se adequar às regulamentações governamentais relativas à concessão de empréstimos para as famílias.

Outra solicitação foi a utilização de componentes estruturais metálicos e painéis de vedação vertical metálicos ou de madeira, pré-fabricados. Tal observação demonstra a

adaptação dos princípios da industrialização nas habitações de caráter social e em como a população francesa da época compreendia esses princípios – de construção rápida e leve, mas sem perder a sensorialidade aconchegante interna. Assim, Jean Prouvé desenvolveu os painéis sanduíche de cantos curvos em madeira compensada e alumínio, com isolamento térmico e acústico.

A Casa para Melhores Dias foi baseada no projeto da casa Alba, de 1953 (Figura 30-a), que continha painéis curvos de alumínio com a indicação de possibilidade de uso da madeira nas faces internas. Assim, foram necessárias apenas seis semanas para a construção da casa, desde os primeiros esboços de projeto. Foi utilizado um núcleo sanitário metálico como estrutura principal, base em concreto e as vedações verticais e de cobertura em madeira.

Figura 30 – Sequência de imagens relativa à Casa para Melhores Dias
a) Corte do projeto da casa Alba; b) Vista externa Casa para Melhores Dias; c) Vista interna Casa para Melhores Dias após reconstrução, 2012.

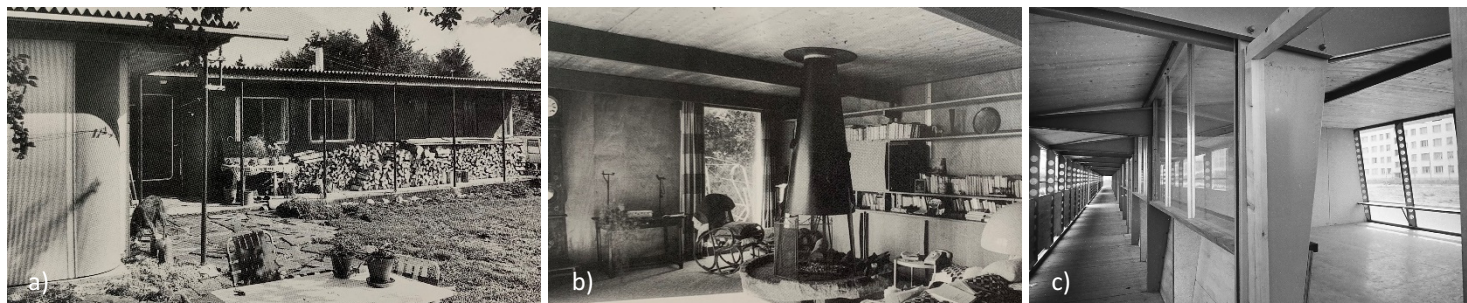


Fonte: a) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1952-7>. Acesso em: 13 set. 2024; b) e c) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1956-5>. Acesso em: 13 set. 2024.

Seguindo esse princípio, a partir de 1957 outras obras foram construídas com finalidades diversas, como casas particulares e de veraneio. A diferença foi a ausência do núcleo central metálico, pois, de acordo com Sulzer (2008), isso impossibilitou a aprovação do projeto original junto às autoridades. A Casa de férias em Cordon é um exemplo de continuidade da utilização dos painéis sanduíche de canto curvo, com chapa de alumínio na face externa (Figura 31-a) e madeira compensada na face interna (Figura 31-b), além dos painéis Rousseau para a cobertura. Construções pré-fabricadas voltadas à temática escolar também foram desenvolvidas, como a escola temporária de Villejuif (Figura 31-c), que utilizou estrutura inovadora de pilar Y metálico, com vedações tanto em parede cortina de vidro como em painéis de madeira. É evidente a potencialização do caráter sensorial da madeira e de sua

maleabilidade nas obras de Prouvé, unindo a industrialização às possibilidades construtivas do material.

Figura 31 – Sequência de imagens referente à aplicação da madeira ao final da década de 1950
a) Casa de férias em Cordon; b) Interior da casa; c) Escola temporária de Villejuif.



Fonte: a) e b) Sulzer (2008); c) Lucien Hervé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1957>. Acesso em: 13 set. 2024.

2.1.4. Década de 1960: Consultoria Atelier Jean Prouvé

A partir da década de 1960, as obras de Jean Prouvé foram marcadas pela impossibilidade de experimentação em sua fábrica, pois em 1957 o profissional foi retirado da própria empresa que criou e passou a trabalhar com consultorias para arquitetos e engenheiros, primeiramente vinculado à C.I.M.T. (*Compagnie Industrielle de Matériel de Transport*) e, a partir de 1967, de forma autônoma, em sua própria empresa de consultoria 'Atelier Jean Prouvé'. Mesmo trabalhando em conjunto com outros profissionais, a madeira compensada continuou presente em suas obras, sendo aplicada em vedações verticais tanto interna quanto externamente. As construções também passaram a ter um caráter permanente no local em que estavam inseridas, com a utilização de diferentes materiais como o concreto para a estrutura, além de grandes aberturas em vidro (Figura 32).

Figura 32 – Sequência de imagens referentes às obras da década de 1960
a) Villa Seynave; b) A casa de Mme Jaoul; c) Interior da casa de Mme Jaoul.

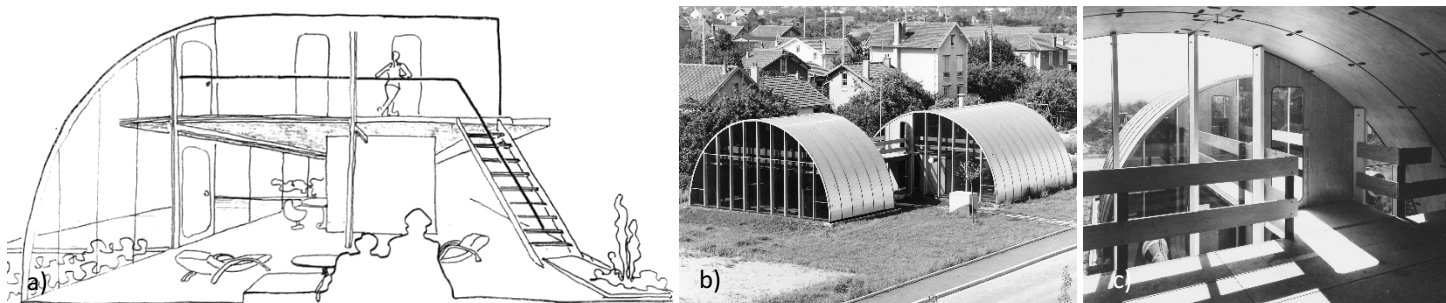


Fonte: a) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1961>. Acesso em: 27 jun. 2024; b) e c) Manuel Bougot. Disponível em: <http://www.manuelbougot.com/works/architecture/jean-prouve-maison-jaoul>. Acesso em: 16 jun. 2024.

Outras formas de utilização da madeira industrializada foram exploradas por Jean Prouvé, como os atuais painéis SIP (*Stressed-skin panels*), compostos por placas de compensado nas faces externas do painel e núcleo de espuma de poliuretano ou poliestireno. Obras como o Clube da Juventude, construído em 1967, utilizam esse material como painel de cobertura curva, atuando também como vedação vertical (Figura 33). Essa obra foi desenvolvida como fruto de um concurso lançado pelo Ministério da Juventude e Esportes, para o qual foram construídos cinco protótipos em Paris. Como objetivos, a edificação deveria ser projetada para ser produzida em massa, com montagem no local. Para isso, foi desenvolvida uma abóbada de 10 m, formada por componentes de painéis sanduíches com dimensões 8 x 1 m, compostos por uma chapa de alumínio na face externa, uma chapa de compensado na face interna, e é injetado poliuretano no núcleo, com 8 cm de espessura. Dessa forma, cada componente pesa 100 kg. Os arcos são instalados com utilização de um trilho embutido no perímetro da base de concreto e parafusados no local, utilizando Neoprene para vedar os componentes.

Figura 33 - Sequência de imagens referentes ao Clube da Juventude, 1967.

a) Croqui de Jean Prouvé; b) Obra finalizada; c) Interior do Clube.



Fonte: a) Sulzer (2008); b) e c) Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1967>. Acesso em: 03 jun. 2025.

A prática da pré-fabricação, a partir de construções leves e de rápida montagem, aliando a industrialização ao setor da construção civil, e ainda à reutilização e à economia de materiais, evidenciam o caráter atemporal de seus princípios construtivos.

A relevância contemporânea de Prouvé é que ele quis reconciliar a arte e a indústria como certamente também exige o tempo que vivemos, fazendo mais com menos e procurando utilizar materiais e energia de forma mais econômica (Fernández-Galiano, 2011).

A partir das fases profissionais de Jean Prouvé identificadas (Figura 34), observa-se o papel da experimentação construtiva aplicada de forma contínua no processo de industrialização da madeira na construção civil, especialmente em obras de caráter pré-

fabricado. As vedações verticais desenvolvidas pelo profissional foram inicialmente compostas por peças de madeira maciça, material que posteriormente deu espaço para a utilização de chapas de madeira compensada empregadas em painéis de caráter misto com o aço.

Figura 34 - Linha do tempo das fases de Jean Prouvé.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

As obras analisadas geraram um compilado de referências para estudo aprofundado das vedações verticais desenvolvidas por Jean Prouvé ao longo de sua trajetória profissional. No próximo capítulo, foram selecionadas três obras para prototipagem de modelos reduzidos e análise mais aprofundada sobre seus princípios construtivos. A escolha foi realizada de acordo com alguns critérios, como: diferentes formas de utilização da madeira; quantidade satisfatória de informações para análise; presença de patentes ou registros técnicos; obras com a mesma temática projetual e que tenham passado por todo o processo de projeto, experimentação e construção.

3. EXPERIMENTAÇÃO CONSTRUTIVA COM MODELOS REDUZIDOS

A experimentação construtiva, materializada por meio da elaboração de modelos físicos e protótipos em escala reduzida, constitui um recurso pedagógico amplamente reconhecido no ensino da arquitetura e da engenharia. No contexto acadêmico, esses modelos extrapolam a função de representação formal e assumem o papel de instrumentos ativos de aprendizagem, capazes de articular teoria, projeto e materialidade. Por meio da manipulação direta e da observação empírica o estudante é conduzido a compreender fenômenos espaciais, construtivos e estruturais que dificilmente seriam plenamente apreendidos apenas por meio do desenho técnico ou da modelagem digital.

Nesse sentido, Laverde (2017) defende a experimentação construtiva como uma prática pedagógica fundamental, ao possibilitar uma aprendizagem ativa, crítica e integrada. Segundo a autora, o uso de modelos físicos e protótipos em escala reduzida permite simular comportamentos estruturais, construtivos e formais, promovendo a aproximação entre o conhecimento teórico e a realidade material do projeto. O modelo físico atua, assim, como mediador entre a ideia abstrata e sua materialização, favorecendo a construção do raciocínio técnico e projetual desde as etapas iniciais da formação.

Diversos exemplos analisados por Laverde (2017) reforçam a relevância histórica e pedagógica dessa prática experimental. No campo da engenharia estrutural, Eduardo Torroja consolidou o uso de modelos reduzidos como instrumento científico de investigação, sobretudo no estudo de cascas e estruturas em concreto armado (Figura 35-a). A observação empírica da distribuição de esforços e deformações nesses modelos permitia validar soluções construtivas antes de sua execução em escala real, evidenciando a experimentação como meio de verificação da teoria e como ferramenta de ensino aplicada à compreensão do comportamento estrutural.

De modo semelhante, Luigi Nervi empregou extensivamente modelos físicos e protótipos experimentais como parte essencial de seu processo de concepção. Para além da representação formal, seus modelos funcionavam como verdadeiros laboratórios de ensaio, nos quais eram testadas hipóteses estruturais, construtivas e econômicas. Essa abordagem permitia compreender a eficiência das formas estruturais e orientar decisões projetuais com base em observações diretas, reforçando a experimentação como elo entre conhecimento técnico, racionalização construtiva e expressão arquitetônica (Figura 35-b).

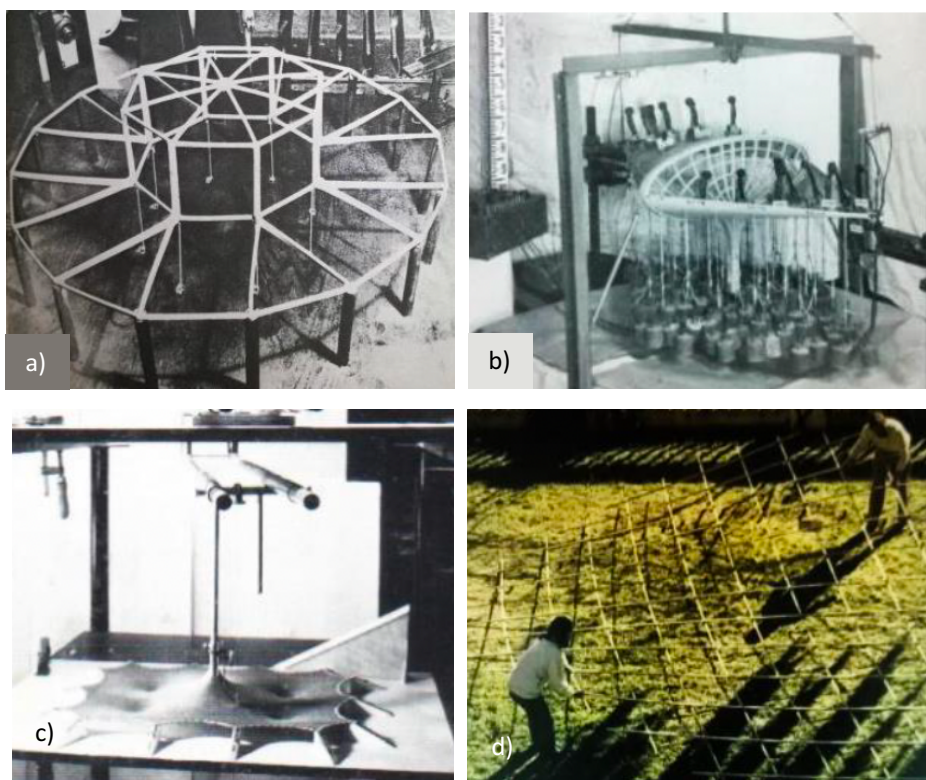
No trabalho de Frei Otto, a experimentação assume um caráter ainda mais investigativo e interdisciplinar. Seus estudos com modelos físicos de redes, cabos, membranas

e superfícies tensionadas — frequentemente realizados com materiais simples — possibilitaram a exploração de princípios de forma mínima, economia de material e eficiência estrutural, muitas vezes inspirados em processos naturais (Figura 35-c). Nesse contexto, o modelo físico não apenas representa uma solução, mas se constitui como um instrumento de descoberta, capaz de gerar conhecimento e orientar soluções inovadoras, com forte impacto pedagógico.

Já na produção de Renzo Piano observa-se a permanência e atualização dessa tradição experimental. O arquiteto incorpora sistematicamente o uso de maquetes, modelos reduzidos e protótipos em escalas diversas como parte indissociável do processo de projeto, tanto em sua prática profissional quanto em sua atuação acadêmica (Figura 35-d). No *Renzo Piano Building Workshop*, a experimentação é compreendida como etapa fundamental para o entendimento da materialidade, do desempenho construtivo e da viabilidade técnica das soluções arquitetônicas, reforçando uma pedagogia baseada no fazer, na observação e na interpretação crítica dos resultados.

Figura 35 - Processos experimentais de ensino e projeto.

- a) Modelo Hospital Cidade Universitária, Madri - Eduardo Torroja; b) Modelo de cobertura em ferro cimento - Luigi Nervi; c) Processo experimental com membrana - Frei Otto; d) Atividade experimental com painel de poliéster reforçado - Renzo Piano.



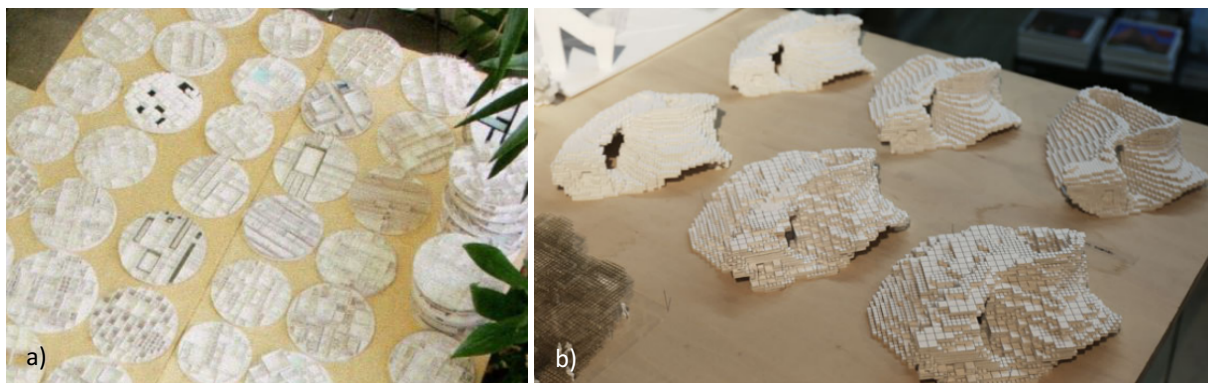
Fonte: Laverde (2017).

A partir desse entendimento consolidado no campo do ensino, a experimentação com modelos físicos também se projeta como metodologia central na prática projetual. Na fase de concepção, a prototipagem em arquitetura é reconhecida como um processo iterativo, que integra modelos físicos e digitais ao longo do desenvolvimento do projeto. Para Kim (2019), a utilização de protótipos permite antecipar decisões críticas ainda nas etapas iniciais, por meio da experimentação e validação de ideias. O modelo torna-se, assim, um espaço de teste, no qual é possível observar relações de proporção, luz, forma e estrutura, além de simular interações entre os diferentes componentes do projeto.

Essa abordagem processual é observada, por exemplo, no trabalho dos arquitetos Kazuyo Sejima e Sou Fujimoto. Segundo Provencio e Almazán (2011), os modelos físicos, em seus processos criativos, não representam apenas a solução final, mas funcionam como instrumentos de edição contínua, combinando lógica e intuição. O uso reiterado e sistemático das maquetes viabiliza uma prática aberta ao projeto, na qual alternativas são sobrepostas, comparadas e retrabalhadas em ciclos sucessivos de transformação, como ilustrado nos modelos de estudo apresentados na Figura 36.

Figura 36 - Modelos de estudo de Kazuyo Sejima e Sou Fujimoto.

a) Modelos de estudo do Museu de Kanazawa, SANAA Architects; b) Estudos de massa para Serpentine Gallery Pavilion, Sou Fujimoto Architects.



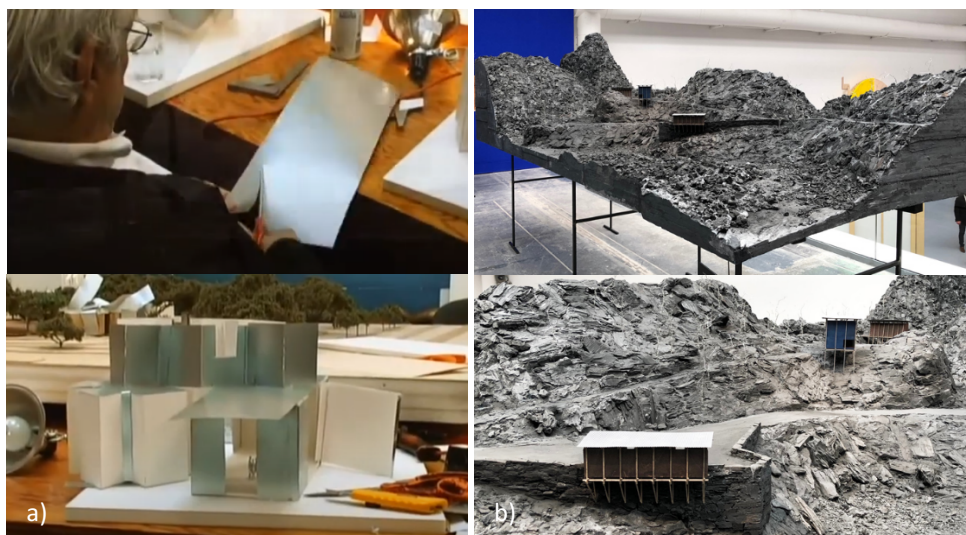
Fonte: a) El croquis (2015); b) Designboom. Disponível em: <https://www.designboom.com/architecture/sou-fujimoto-between-nature-and-architecture-11-24-2013/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

Arquitetos como Frank Gehry e Peter Zumthor também são reconhecidos pela centralidade do modelo físico em seus processos criativos (Figura 37). Gehry, em especial, trabalha a forma a partir de esboços físicos em papel e cartolina, que posteriormente são digitalizados para compatibilização técnica (Jencks, 2002). Já Zumthor valoriza a modelagem como meio de experimentar sensações materiais e espaciais, trabalhando frequentemente

com maquetes em madeira ou gesso, em diferentes escalas, como forma de desenvolver atmosferas (Zumthor, 2006).

Figura 37 - Modelos de estudo de Frank Gehry e Peter Zumthor.

a) Processo de estudo em cartolina, Frank Gehry; b) Modelo reduzido da Allmannajuvet zinc mine museum, Peter Zumthor.



Fonte: a) Documentário Sketches of Frank Gehry. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eaOw5id6Og>. Acesso em: 01 ago. 2025; b) Designboom. Disponível em: <https://www.designboom.com/architecture/peter-zumthor-models-venice-architecture-biennale-05-28-2018/>. Acesso em: 01 ago. 2025.

No contexto brasileiro, José Zanine Caldas é um profissional que se destaca pela utilização expressiva dos modelos reduzidos como instrumentos de projeto. Autodidata e profundamente vinculado ao trabalho manual, Zanine iniciou sua carreira profissional ainda na década de 1940 com a confecção de maquetes arquitetônicas em madeira, o que lhe permitiu colaborar com grandes nomes da arquitetura modernista brasileira, como Lúcio Costa e Oscar Niemeyer (Valle *et al.*, 2014). A prática com maquetes moldou sua formação como arquiteto, influenciando diretamente seu modo de projetar, que articulava artesanato, empirismo e sensibilidade plástica. Para Zanine, projetar com maquetes era uma forma de pensar com as mãos, permitindo explorar os encaixes, a lógica estrutural e os gestos construtivos com maior liberdade criativa. Sua arquitetura revela esse processo por meio da forte presença da madeira, das soluções racionais e da expressividade artesanal que marca suas obras (Valle *et al.*, 2014).

Para além do uso na concepção, a elaboração de modelos físicos de edificações existentes constitui uma estratégia pedagógica e de pesquisa amplamente adotada no ensino e na crítica arquitetônica. A reprodução de obras consagradas em maquetes possibilita a

apreensão concreta de seus princípios compositivos, estruturais e espaciais, funcionando como meio de reconstruir o raciocínio projetual de seus autores.

Conforme argumenta Sachanowicz (2019), a construção de modelos favorece o pensamento criativo e a compreensão tátil do espaço, proporcionando ao estudante e ao pesquisador a oportunidade de aprender com o fazer. Trata-se de um processo de conhecimento ativo, em que a produção material estimula a análise crítica e o entendimento aprofundado das decisões projetuais.

Nesse sentido, a prática de reconstrução de modelos de obras de Zanine Caldas, desenvolvida por estudantes e pesquisadores da Universidade de Brasília, reforça a dimensão analítica da maquete (Figura 38). Como apontam Valle *et al.* (2014), esse exercício permitiu documentar e compreender as soluções construtivas, os encaixes e as estratégias de implantação das residências projetadas por Zanine, valorizando a dimensão tectônica e o vínculo com a natureza presentes em sua obra.

Figura 38 - Sequência de imagens dos modelos de obras de Zanine Caldas na exposição “Centenário Zanine”.



Fonte: a) Eixobsb. Disponível em: <https://eixobsb.com/decor/mostra-reune-maquetes-de-11-residencias-de-zanine/>. Acesso em: 01 ago. 2025; b) e c) Correio brasileiro. Disponível em: https://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/diversao-e-arte/2019/09/29/interna_diversao_arte,791457/exposicao-centenario-do-arquiteto-zanine-caldas.shtml. Acesso em: 01 ago. 2025.

O modelo físico, seja como instrumento de criação ou de análise, continua a ocupar lugar central na cultura projetual contemporânea. Ele representa não apenas uma forma de representação, mas sobretudo uma forma de pensamento, expressão e construção do conhecimento arquitetônico. Em práticas tão distintas quanto as de Gehry, Zumthor, Sejima, Fujimoto e Zanine, o modelo reduzido revela-se como interface entre o gesto criativo e o rigor técnico, entre a intuição e a construção, entre o presente e a memória da arquitetura.

A experimentação construtiva, segundo Laverde (2017), encontra nos modelos reduzidos um instrumento capaz de ir além da mera representação formal do objeto

arquitetônico. Quando extrapolam a dimensão estritamente estética ou volumétrica, esses modelos tornam-se ferramentas de investigação e validação de aspectos técnicos do projeto, permitindo testar soluções construtivas, analisar o comportamento estrutural, verificar a adequação de materiais e antecipar desafios de execução. Dessa forma, a prática da modelagem física, associada ao pensamento projetual, assume um papel ativo no processo de concepção, integrando a reflexão teórica e a avaliação prática em uma mesma instância de trabalho.

Com base nesse entendimento, este capítulo apresenta o estudo e a elaboração de modelos reduzidos de três obras representativas de Jean Prouvé. Partindo da seleção de obras que evidenciam a aplicação da madeira em vedações verticais, buscou-se compreender, por meio da experimentação construtiva, as soluções técnicas e o processo construtivo adotados pelo profissional. A produção desses modelos não apenas contribui para o aprofundamento teórico sobre os sistemas construtivos utilizados por Prouvé, como também resgata a dimensão experimental e investigativa de seu processo projetual.

As obras para análise aprofundada e elaboração de modelos reduzidos foram selecionadas a partir dos seguintes **critérios de escolha**:

1. Diferentes possibilidades de utilização da madeira: seleção de obras que apresentam continuidade no processo investigativo e de industrialização da madeira aplicada em vedações verticais por Jean Prouvé, desde sua forma maciça até a sua forma mais industrializada;
2. Disponibilidade de informações: seleção de obras que contenham informações suficientes sobre os projetos e detalhes construtivos para elaboração dos modelos reduzidos, como patentes e/ou demais registros técnicos;
3. Mesmo seguimento temático: escolha de um seguimento que caracterizasse maior representatividade das inovações de Prouvé no estudo das vedações verticais, sendo escolhida a temática habitacional, por exemplificar a atuação do profissional em suas diferentes fases;
4. Obras construídas: seleção de obras que tenham passado pela fase de projeto, experimentação e construção, para estudo fidedigno de suas etapas de fabricação e montagem.

A partir dos critérios descritos, a primeira obra selecionada foi a **Construção desmontável para vítimas de guerra**, mais especificamente a versão de dimensões 6x6 m, construída em 1944. Essa obra foi fruto de experimentações envolvendo a patente de 1939 desenvolvida por Prouvé para os abrigos desmontáveis, contando com um compilado de documentos, imagens e vídeos que demonstram a experimentação contínua presente no desenvolvimento dos painéis de vedação vertical utilizados nessas obras.

A segunda obra selecionada foi a **Casa Standard**, também chamada de “Casa Metrópole”, de 1950. O projeto conta com registro de descrições detalhadas sobre os subsistemas construtivos presentes na obra, envolvendo também a descrição dos materiais utilizados. Foi desenvolvida com a utilização da madeira industrializada, na forma de placas de compensado. Os painéis de vedação vertical foram desenvolvidos de forma mista como painéis sanduíches, com chapa de alumínio aplicada externamente e isolamento térmico e acústico interno.

Como terceira obra, foi selecionada a **Casa para Melhores Dias**, construída em 1956, com a utilização de painéis com cantos curvos, sistema inovador de Jean Prouvé utilizando a madeira compensada moldada a vapor. Com implantação permanente, essa obra traz a fixação dos painéis de vedação vertical em uma base de concreto com guias para instalação, além de um núcleo hidráulico metálico que também exerce função de estrutura central.

A temática projetual das obras selecionadas é a habitação, presente desde a necessidade de abrigar famílias afetadas pela Segunda Guerra Mundial, passando pela busca de construções seriadas voltadas à habitação, até a construção de habitações de caráter social e implantação permanente, com características específicas e seguindo um padrão proposto pelo governo francês.

3.1. CONSTRUÇÃO DESMONTÁVEL PARA VÍTIMAS DE GUERRA – 1944

As construções desmontáveis para vítimas de guerra foram concebidas com caráter temporário, visando abrigar famílias que foram afetadas pela Segunda Guerra Mundial nas regiões da cidade de Lorraine e do *Franche-Comté*, que atualmente faz parte da região administrativa Borgonha-Franche-Comté. Encomendadas pelo então Ministro francês Raoul

Dautry⁹, totalizaram 800 unidades, das quais 400 foram efetivamente construídas. Essas edificações resultaram da experimentação contínua de Jean Prouvé com a patente nº 865.235, intitulada “Abrigo desmontável”, derivada dos abrigos executados em 1939 para o corpo de engenheiros.

3.1.1. Compreensão projetual: transferência de informações para o modelo reduzido

A compreensão projetual dessa obra baseou-se inicialmente nos desenhos autorais e descrições de Jean Prouvé compilados por Sulzer (2005). Complementarmente, foram consultados registros fotográficos, vídeos, documentos e desenhos disponíveis no acervo digital Jean Prouvé SAS (2024). Esse conjunto de referências possibilitou analisar tanto a lógica construtiva quanto a ordem de montagem da edificação, aspectos fundamentais para a elaboração do modelo reduzido.

a) Sistema construtivo:

O projeto adota uma **modulação** de 1 m, o que permitia a execução de construções em diferentes dimensões (6x6 m, 6x8 m, 6x9 m, 6x12 m, 8x8 m, 8x10 m, 8x12 m e até 8x24 m), variando a quantidade de pórticos centrais empregados. Para o presente estudo, foi analisada a unidade de 6x6 m, cuja área de 36 m² corresponde à dimensão inicial estipulada pelo Ministério da Reconstrução e Planejamento Urbano francês. A escolha dessa configuração deve-se não apenas ao caráter prototípico, mas também à viabilidade de reprodução em escala 1:20.

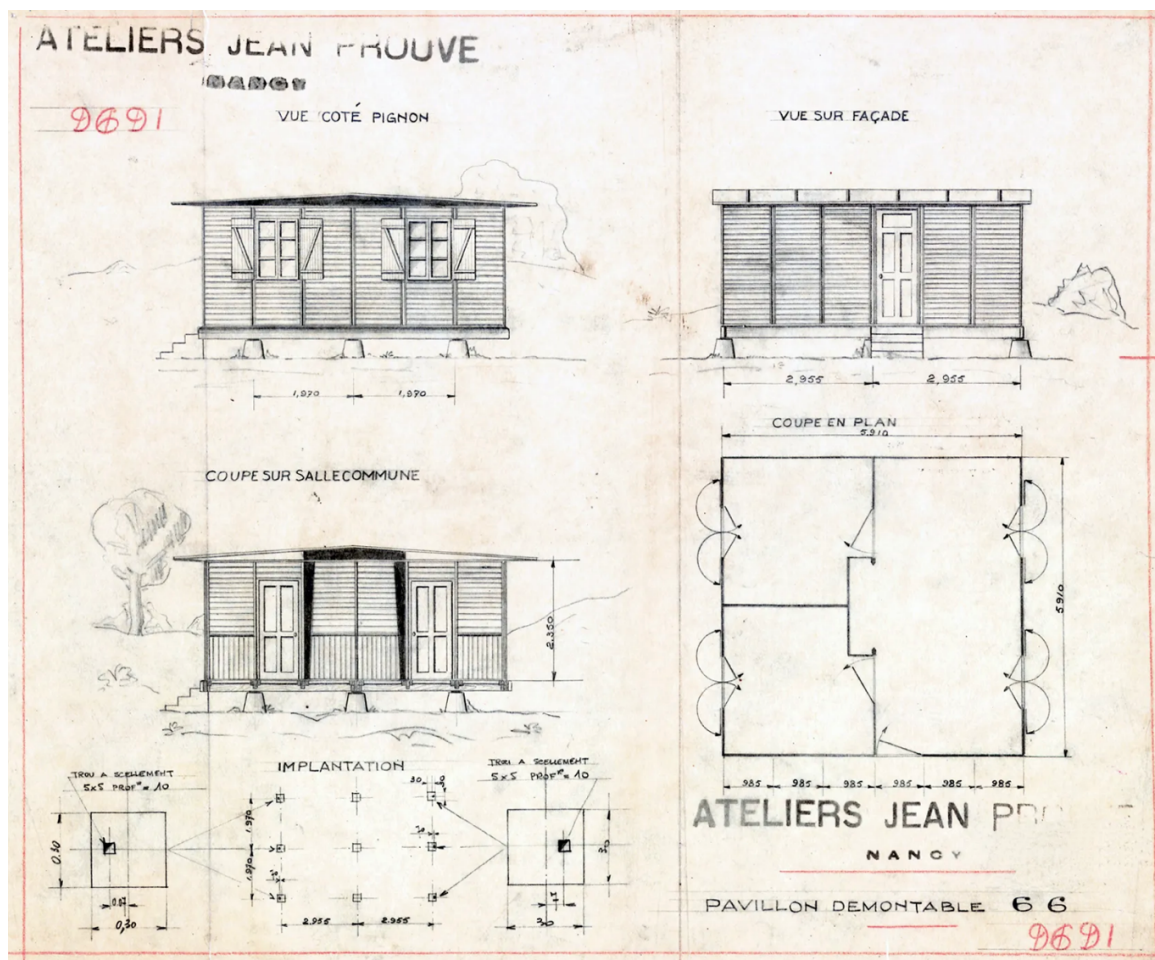
O sistema construtivo é composto pelos seguintes **componentes**: blocos de fundação, vigas de piso, painéis de vedação horizontal, pórtico central, treliças centrais, painéis de vedação vertical (cegos e com aberturas), perfis de apoio dos painéis de vedação vertical, montantes de conexão dos painéis de vedação vertical, vigas de cobertura e perfis para fixação das telhas de cobertura. Cada elemento foi detalhadamente projetado por Jean Prouvé, que elaborou detalhes construtivos especificando materiais e conexões.

Os **blocos de fundação**, desenvolvidos em concreto e em formato trapezoidal com dimensões 30 x 30 cm, eram posicionados estrategicamente sob as vigas de piso, garantindo

⁹ Raoul Dautry foi um engenheiro e político francês, Ministro da Reconstrução e Urbanismo após a Segunda Guerra Mundial. Em sua gestão, incentivou soluções habitacionais industrializadas e encomendou, em 1944, as construções desmontáveis para vítimas de guerra desenvolvidas por Jean Prouvé. No ano seguinte, em 1945, também foi responsável por encomendar a Unidade de Habitação de Marselha a Le Corbusier, como parte dos esforços de reconstrução habitacional na França do pós-guerra (FONDATION LE CORBUSIER, 2025).

apoio pontual a cada 2 m, com um recuo de 1 m em relação às extremidades (Figura 39). Para a unidade de 6x6 m, eram utilizados nove blocos, dispostos em três eixos, solução essa que gerava pequenos balanços nas extremidades das vigas, conferindo estabilidade ao conjunto.

Figura 39 - Planta e vistas – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.

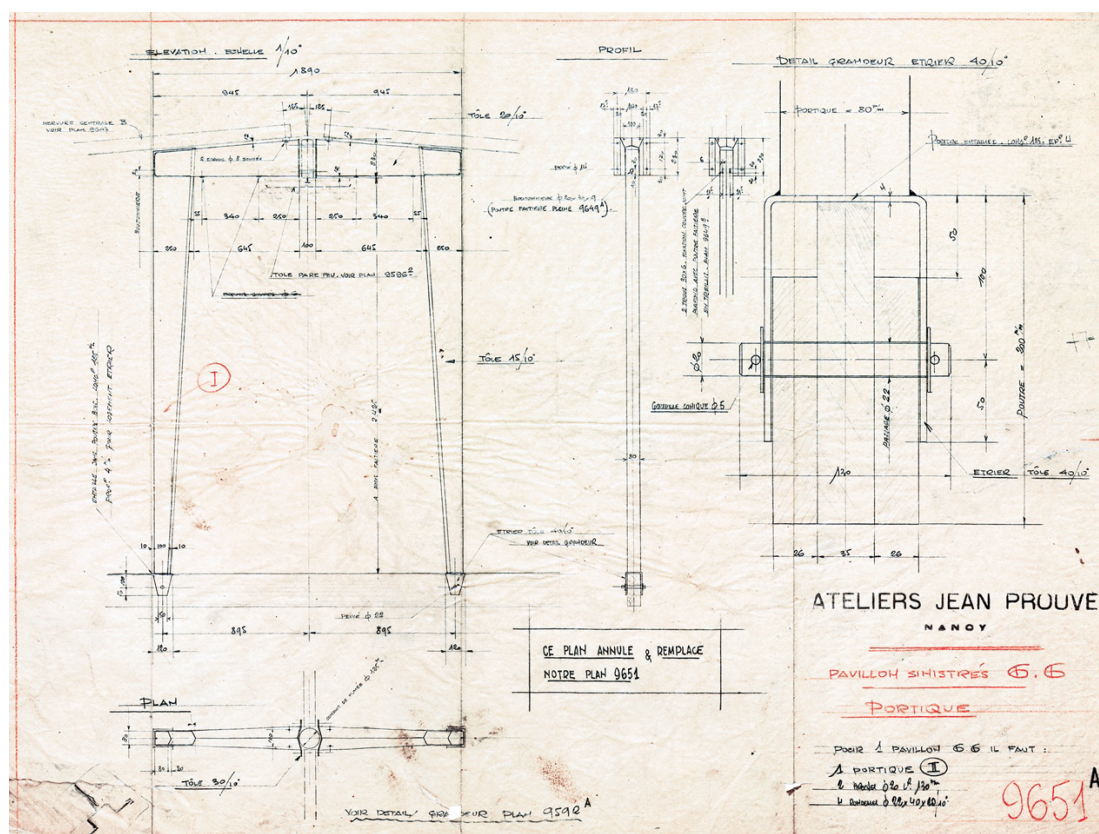


Fonte: Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em: 4 ago. 2025.

A **estrutura do piso** seguia a modulação de 1 m e era composta por quatro tipologias de vigas (Figura 40). As vigas 2 e 3 configuravam a estrutura primária, sendo a viga 3 responsável por sustentar o pórtico central. As vigas 1 e 4 delimitavam a área de instalação dos **painéis de piso**, que eram doze no total, constituídos por ossatura leve de madeira e fechamento em tábuas de madeira maciça.

Na Construção desmontável para vítimas de guerra, o pórtico central era composto por pilares e vigas de seção descontínua construídos em chapa metálica dobrada, soldados e conectados entre si por uma peça cilíndrica (Figura 42). Sua altura determinava o pé-direito da edificação e o seu vão central funcionava como espaço de circulação.

Figura 42 - Detalhamento do pórtico central – Construção desmontável para vítimas de guerra.

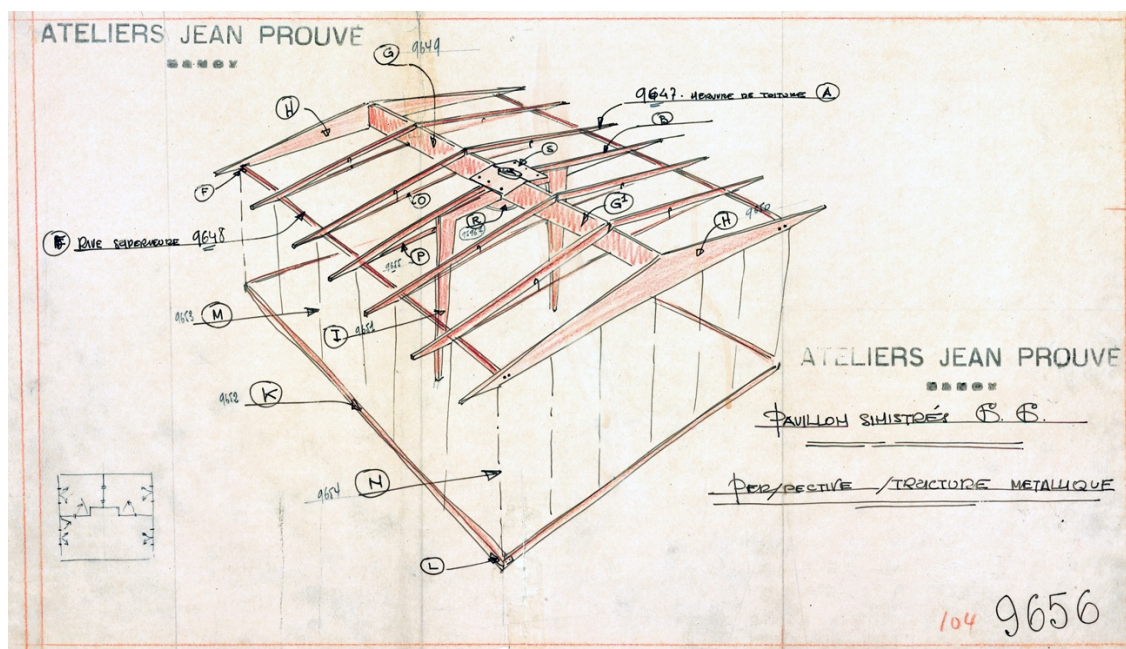


Fonte: Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em: 4 ago. 2025.

A **estrutura de cobertura** foi projetada englobando inicialmente uma viga principal central de seção contínua, vigas secundárias de seções descontínuas espaçadas seguindo a modulação de 1 m, vigas triangulares de extremidade e vigas de borda, todas em chapa de aço dobrada, como pode ser observado pela Figura 43. Entretanto, os componentes da estrutura de cobertura também passaram por experimentações ao longo da concepção das construções desmontáveis, gerando a variante de **treliça central** (Figura 44), que foi desenvolvida para o projeto das construções desmontáveis 6x9 e passaram a ser utilizadas nas construções 6x6. Por serem fabricadas em peças esbeltas de aço, proporcionam menor peso para transporte, montagem e geram menor impacto ao peso final da edificação. Além das treliças centrais, para a estrutura da cobertura são utilizadas vigas em chapa metálica

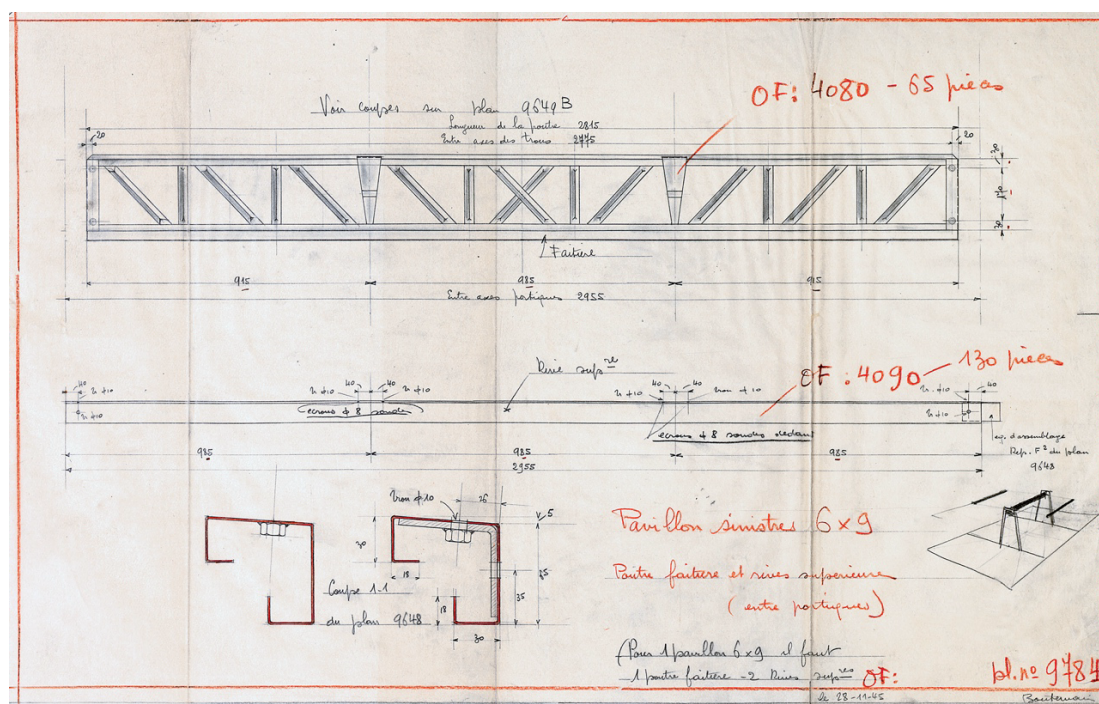
dobrada, de seção retangular e com uma das extremidades em seção descontínua, gerando um pequeno beiral para a construção.

Figura 43 - Estrutura de cobertura – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.



Fonte: Fonds des Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em: 5 ago. 2025.

Figura 44 - Detalhamento da treliça central – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x9.



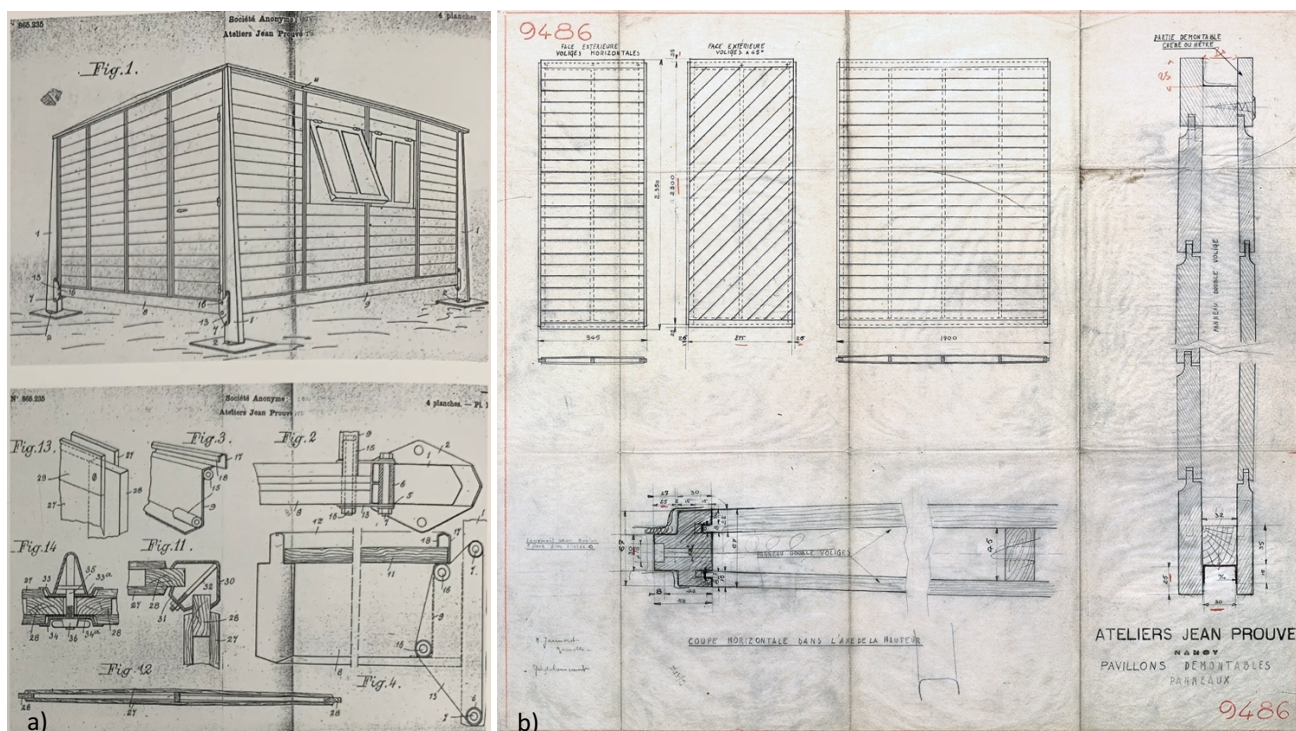
Fonte: Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-7>. Acesso em: 4 ago. 2025.

Para o fechamento da cobertura, eram utilizadas **telhas metálicas** com perfil de encaixe desenvolvido por Jean Prouvé, solução recorrente em suas obras. Segundo Sulzer (2005), devido à escassez de aço, entretanto, alguns componentes originalmente concebidos em metal, como painéis de fachada e divisórias, foram executados em madeira. Além disso, a estrutura central inicialmente metálica também foi base para variantes em madeira em outras obras, e alguns componentes projetados e construídos inicialmente em madeira, como os painéis de piso e as vigas de piso tornaram-se, a partir de 1947, estruturas de chapa metálica dobrada.

Os **painéis de vedação vertical** foram derivados diretamente da patente nº 865.235 “Abrigo desmontável”, empregando madeira maciça de maneira a confeccionar um painel levemente abaulado. Essa transferência de técnicas da metalurgia para a carpintaria reforça a busca de Prouvé por racionalização e modularidade. A manutenção dessas características possibilitou um estudo aprofundado da obra, ao vincular as informações técnicas presentes na patente de 1939 com o projeto da Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6, de 1944 (Figura 45).

Figura 45 – Comparativo dos painéis de vedação vertical da patente de 1939 com os das Construções desmontáveis para vítimas de guerra de 1944.

a) Painéis da patente de 1939; b) Painéis das Construções desmontáveis para vítimas de guerra.



Fonte: a) Sulzer (2000); b) Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-7>. Acesso em: 4 ago. 2025.

Os detalhes construtivos dos painéis de vedação vertical possibilitaram a compreensão da configuração dos painéis desenvolvidos pelo profissional, como a diferenciação da espessura da madeira empregada nas faces interna e externa dos painéis e os diferentes tipos de ripas de madeira utilizados em cada face (Figura 45-b). Apesar da presença de projeto de painel de maiores dimensões, a tipologia utilizada nas construções 6x6 permaneceu sendo a de modulação 1 m. Cada painel media aproximadamente 0,945 m entre os montantes externos e, com a inclusão dos perfis de conexão atingia-se a modulação de 1 m estabelecida no projeto.

O fechamento dos painéis era realizado com tábuas de madeira maciça, conectadas por encaixe macho-fêmea, permitindo montagem precisa sem ferragens aparentes. As tábuas poderiam ser dispostas vertical, horizontal ou diagonalmente (45°), evidenciando flexibilidade construtiva e cuidado estético. As faces internas e externas recebiam acabamentos diferenciados: a externa apresentava tábuas predominantemente horizontais, facilitando a manutenção e substituição de peças, com algumas partes em diagonal aplicadas na extremidade – com suposta contribuição como contraventamento – enquanto a interna recebia combinação de tábuas verticais e horizontais que criavam uma moldura visual, unificando os ambientes (Figura 46).

Figura 46 – Acabamento dos painéis de vedação vertical – Construção desmontável para vítimas de guerra.
a) Acabamento face interna; b) Acabamento face externa.

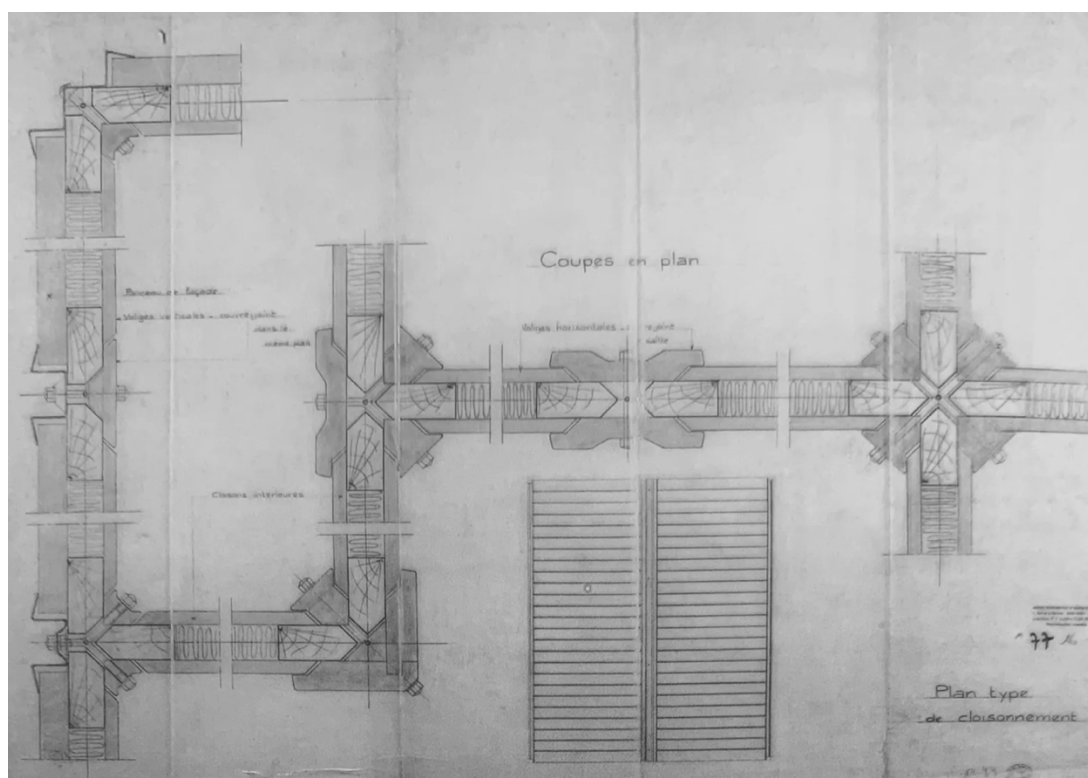


Fonte: a) Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em: 03 ago. 2025. b) Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=uHzrs4-bZJ4&t=1428s>. Acesso em: 27 set. 2025.

Por fim, a **conexão** dos painéis era realizada por perfis específicos (Figura 47), diferenciados entre uso interno e externo. Os perfis desenvolvidos para utilização externa

foram envoltos em uma chapa de aço dobrada, enquanto os direcionados à instalação interna, em madeira, com encaixes detalhados e fixação com parafusos “borboleta”, sem a chapa metálica protegendo as interfaces. Esses perfis podiam conectar dois, três ou quatro painéis em diferentes configurações: adjacentes, em canto, em “T” ou em cruz. Além disso, perfis metálicos inferiores garantiam a fixação aos sistemas estruturados em madeira, dispensando sua utilização quando a base era metálica.

Figura 47 - Perfis de conexão dos painéis de vedação vertical – Construção desmontável para vítimas de guerra.



Fonte: Sulzer (2005).

O Quadro 10 sintetiza o conjunto de componentes do sistema construtivo desenvolvido para a Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6, bem como o quantitativo de peças e materiais utilizados.

Quadro 10 - Componentes do sistema construtivo – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.

Componente	Quantitativo	Material
Blocos de fundação seção trapezoidal	9	Concreto
Viga de piso 1	4	Madeira maciça
Viga de piso 2	2	Madeira maciça
Viga de piso 3	1	Madeira maciça
Viga de piso 4	10	Madeira maciça
Painéis de piso	12	Madeira maciça

Pórtico central	1	Aço	
Treliça central	2	Aço	
Viga de seção descontínua de fachada	2	Aço	
Viga lateral	2	Aço	
Viga de cobertura	6	Aço	
Viga de cobertura central	2	Aço	
Telha de cobertura	10	Aço	
Painel de vedação vertical cego interno	9	Madeira maciça	
Painel de vedação vertical cego externo	19	Madeira maciça	
Painel de janela	4	Madeira maciça	
Painel de porta	3	Madeira maciça	
Perfil de conexão de painéis internos adjacentes	4	Madeira maciça	
Perfil de conexão de painéis internos de canto	4	Madeira maciça	
Perfil de conexão de painéis internos em “T”	1	Madeira maciça	
Perfil de conexão de painéis internos em cruz	0	Madeira maciça	
Perfil de conexão de painéis externos adjacentes	17	Aço	
Perfil de conexão de painéis externos de canto	4	Aço	
Perfil de conexão de painéis externos + interno em “T”	3	Aço e madeira	
Perfil de fixação inferior dos painéis de vedação vertical	1	Aço	
Total = 123			
Componentes de madeira	73		
Componentes de aço	50		
Peças tipologias de painéis de vedação vertical			
	Quantidade		
Peça	Painel cego	Painel janela	Painel porta
Tábua superior – face interna	1	1	1
Tábua superior – face externa	1	1	1
Tábuas intermediárias – face interna	22	10	0
Tábuas intermediárias – face externa	22	10	0
Tábua inferior – face interna	1	1	1
Tábua inferior – face externa	1	1	1
Montante externo	2	2	2
Montante interno	1	2	0
Total	52	29	6

Fonte: elaborado pela autora (2025).

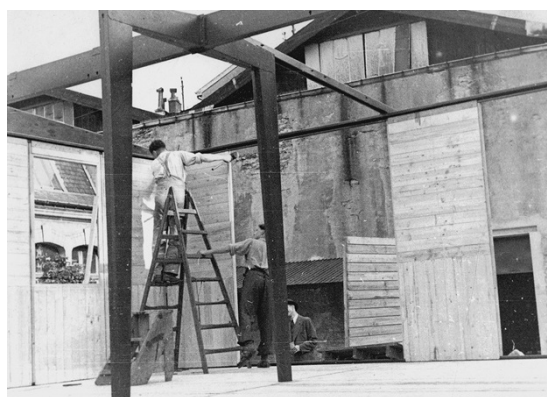
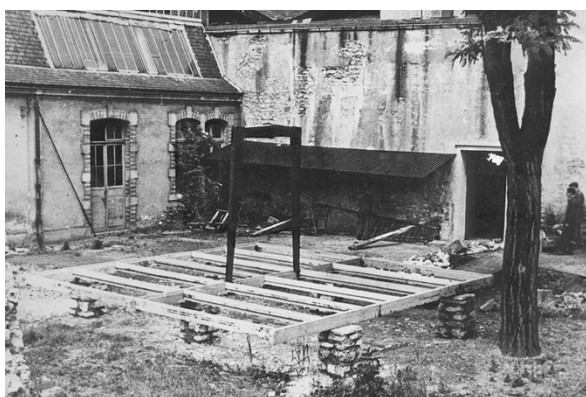
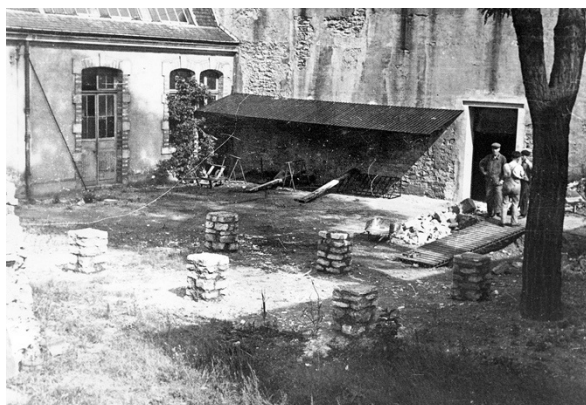
b) Montagem:

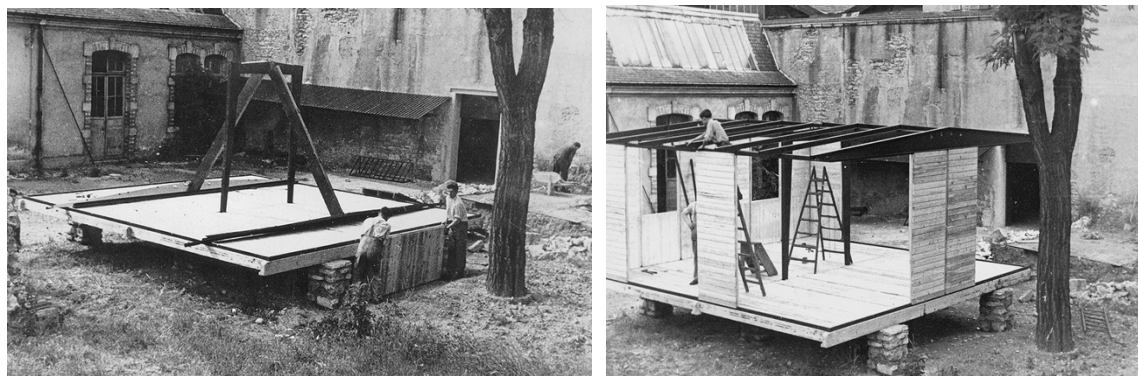
A ordem de montagem da Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6 foi reconstruída a partir de imagens disponíveis em Sulzer (2005) e em Jean Prouvé SAS (2024), assim como, por meio do vídeo de remontagem da obra realizado pela Galerie Patrick Seguin e disponível em Jean Prouvé SAS (2024). O processo desenvolvido por Prouvé seguia do seguinte modo:

1. Locação dos blocos de fundação;

2. Instalação das vigas de piso;
3. Posicionamento dos painéis de piso;
4. Montagem do pórtico central;
5. Conexão do pórtico central com as vigas/treliças centrais e destas com as vigas de fachada;
6. Instalação das vigas de fachada sobre dois painéis de vedação vertical;
7. Instalação das vigas laterais de cobertura sobre painéis de vedação vertical posicionados nos pontos centrais das vigas de base;
8. Instalação das vigas de cobertura sobre as treliças centrais, o pórtico central e as vigas laterais de cobertura;
9. Instalação dos painéis de vedação vertical restantes;
10. Fixação das telhas de cobertura;
11. Instalação dos perfis de conexão dos painéis de vedação vertical.

Figura 48 - Processo de montagem – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.





Fonte: adaptado de Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em: 5 ago. 2025.

A análise da remontagem realizada em 2014 pela Galerie Patrick Seguin com peças originais revelou variações nesse processo (Figura 49). Enquanto na sequência de Prouvé dois painéis centrais apoiavam as vigas das extremidades, na remontagem os painéis foram espaçados em dois módulos, posicionados estrategicamente em pontos de equilíbrio para a instalação da cobertura. Essa divergência ilustra a flexibilidade do sistema e a possibilidade de ajustes conforme as condições de montagem.

Figura 49 - Processo de remontagem da Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6 pela Galerie Patrick Seguin.



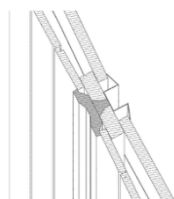
Fonte: Adaptado de vídeo da Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em: 16 jul. 2025.

Quanto à **montagem dos painéis de vedação vertical**, a patente nº 865.235 descreve um sistema modular e racionalizado, voltado à rapidez de execução. O painel era inicialmente inclinado, encaixando-se pela reentrância inferior na lingueta da viga de piso. Em seguida,

realizava-se o movimento angular para fixar a parte superior, estabilizando-o com uma tábua horizontal removível inserida em vazio específico da face interna. Esse recurso simplificaria a desmontagem e manutenção. Internamente, um montante central reforçava a estrutura e conferia emprego de sutil curvatura às superfícies, podendo ainda receber enchimento isolante para melhorar desempenho térmico e acústico.

A etapa de estudo e compreensão projetual da Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6, intensificada pela prática do redesenho, possibilitou a elaboração de uma ficha técnica (Figura 50), que reúne os principais componentes e elementos construtivos do sistema desenvolvido por Jean Prouvé. Essa sistematização tornou-se fundamental para consolidar o entendimento do processo construtivo, ao mesmo tempo em que orientou a análise desenvolvida no decorrer do próximo capítulo.

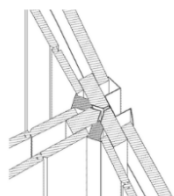
Figura 50 - Ficha técnica – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.

Detalhes construtivos

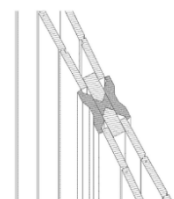
a - conexão painéis adjacentes externos



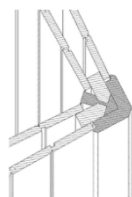
b - conexão painéis de canto externos



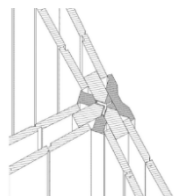
c - conexão painéis em "T" externos



d - conexão painéis adjacentes internos



e - conexão painéis de canto internos



f - conexão painéis em "T" internos

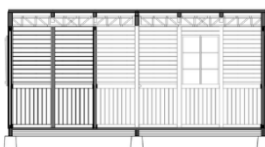
1 - Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6

França, 1944

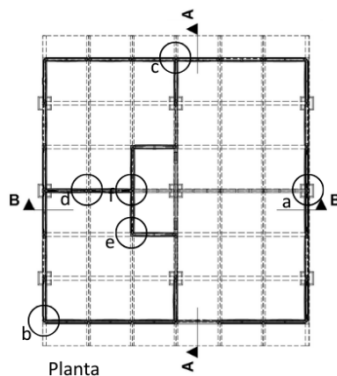
Desenvolvidas por Jean Prouvé em resposta a uma ordem do estado ao final da Segunda Guerra Mundial e com metragem inicial de 36m², as construções desmontáveis podem ser ampliadas de acordo com a modulação de 1m utilizada em todo o projeto. O pórtico central em chapa de aço dobrada e as treliças centrais suportam a cobertura metálica. Os painéis de vedação vertical são duplos, compostos por ripas de madeira que formam um perfil curvo - aspecto trazido de painéis metálicos - e possuem variantes de janela e de porta. A construção 6x6m pode ser finalizada em um dia, seguindo a ordem de montagem pré-estipulada: fundação; vigas de piso; painéis de piso; pórtico central, treliças e vigas de cobertura; painéis de vedação vertical e, por fim, painéis de cobertura.



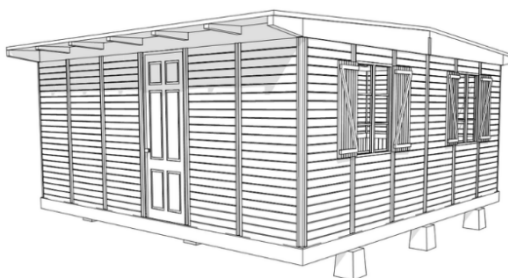
Corte A



Corte B



Planta

**Painéis de vedação vertical**

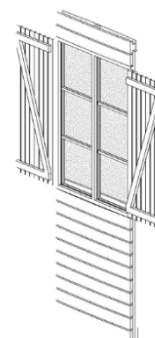
Painel cego - face externa



Painel cego - face interna



Painel porta



Painel janela

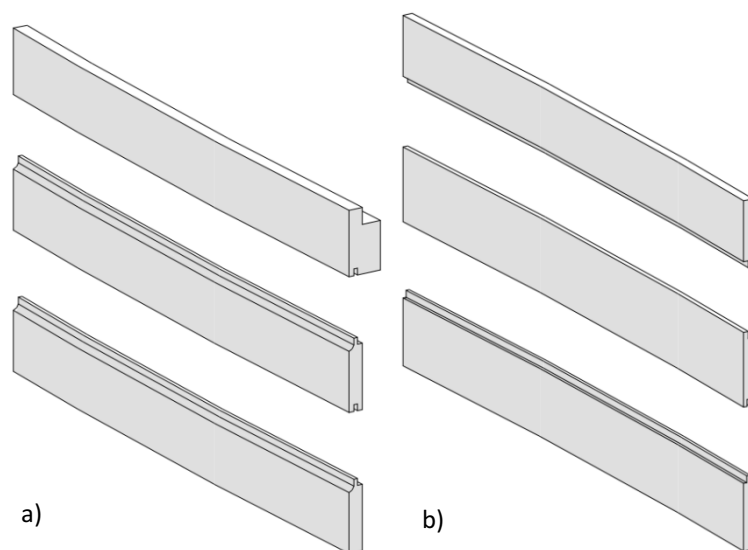
Fonte: elaborado pela autora (2025), com base em Herzog *et al.* (2004).

3.1.2. Modelagem tridimensional como etapa intermediária de análise construtiva

A modelagem 3D da Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6 foi realizada a partir da reelaboração e detalhamento dos componentes do projeto, com o objetivo de avançar na análise construtiva e transferir com precisão as informações do projeto original para o ambiente digital. As referências trianguladas (desenhos autorais, registros fotográficos e técnicos) permitiram a modelagem fiel dos elementos que compõem o sistema construtivo, desenvolvidos no *software* Archicad por meio da criação de perfis complexos¹⁰.

Os primeiros elementos modelados foram os **painéis de vedação vertical**, objeto central deste estudo e com grande quantidade de peças e nível de detalhamento que exigem. Cada peça que compõe o painel foi modelada de forma discretizada, como as tábuas de fechamento das faces interna e externa dos painéis, caracterizadas pelo encaixe macho-fêmea, diferenciando-se em tábuas superiores, intermediárias e inferiores, bem como pelas variações de espessura das faces interna e externa (Figura 51).

Figura 51 - Tábuas de fechamento dos painéis de vedação vertical.
a) Tábuas face externa; b) Tábuas face interna.

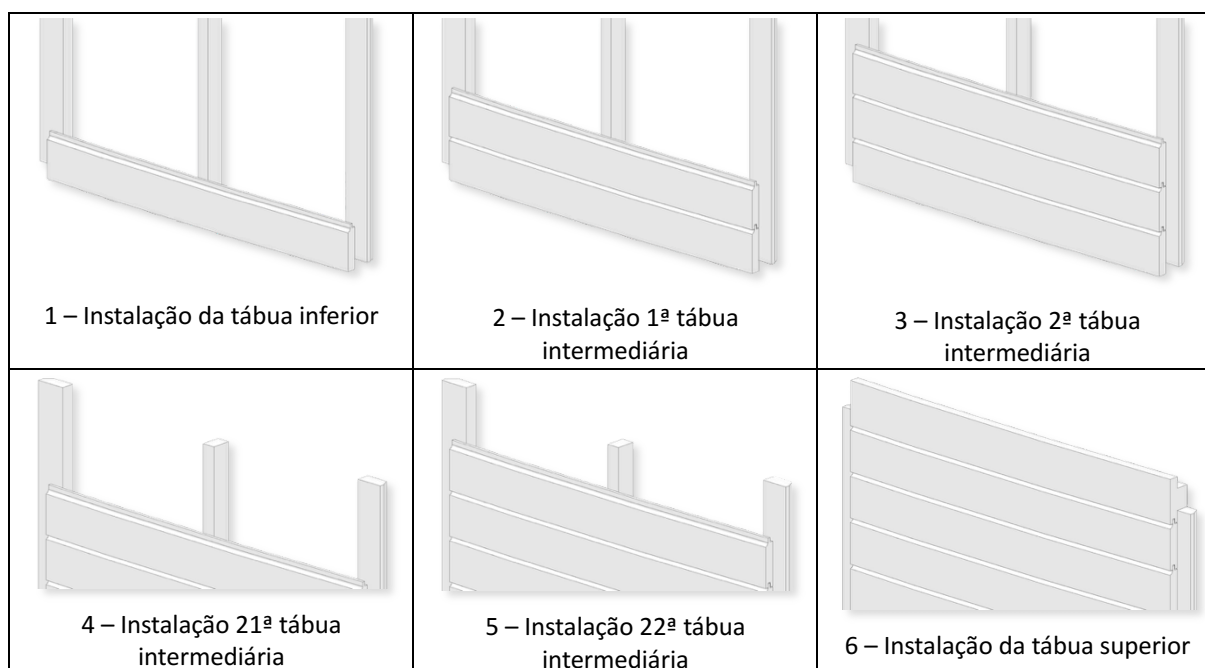


Fonte: elaborado pela autora (2005).

¹⁰ Perfis complexos no Archicad permitem a criação de elementos construtivos com geometrias personalizadas, utilizando perfis definidos pelo usuário ou pré-definidos. Eles permitem a criação de perfis personalizados para diversas aplicações e materiais construtivos.

Para completar a modelagem dos painéis, foram incluídos os montantes estruturais: internos, de seção retangular, e externos chanfrados – devido a facilitar o escoamento da água – para permitir os encaixes nos perfis de conexão. A composição do painel cego iniciou-se pela instalação digital das tábuas externas, dispostas de forma sequencial da base para o topo, garantindo estabilidade estrutural ao conjunto (Figura 52).

Figura 52 - Composição do painel de vedação vertical cego (face externa).

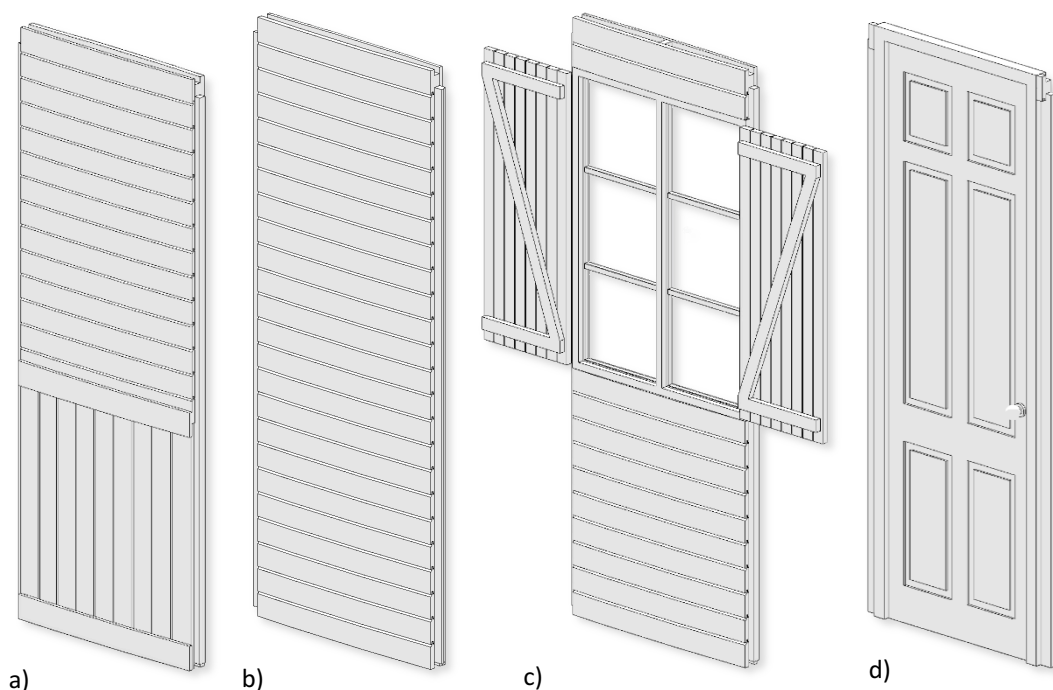


Elaborado pela autora (2025).

Na face interna, o processo foi semelhante, mas com tábuas de menor espessura. As tábuas foram orientadas verticalmente na parte inferior e horizontalmente na parte superior – conferindo um acabamento estético posteriormente. As duas partes foram unificadas por uma tábua horizontal de travamento (Figura 53-a). Os **painéis de janela** (Figura 53-c) seguiram o mesmo princípio de montagem, porém com aberturas para inserção de esquadrias no quadro. Assim, foram utilizadas dez tábuas na face externa para a construção do painel até a altura do peitoril e duas para a finalização superior. A esquadria utilizada nessa obra inicialmente foi a de tipologia tradicional de abrir com 04 folhas, sendo 02 folhas com abertura interna e caixilhos de vidro e 02 folhas cegas em madeira como quebra-sol. Porém, segundo Sulzer (2005), após 1947, essa tipologia foi substituída pela janela guilhotina com venezianas metálicas, recorrentemente utilizadas Prouvé. Já os **painéis de porta** (Figura 53-d) foram confeccionados por montantes na extremidade e pela travessa superior, formando um requadro para inserção da folha de abrir.

Figura 53 - Imagens painéis de vedação vertical.

a) Painei cego – face interna; b) Painei cego – face externa; c) Painei janela; d) Painei porta.

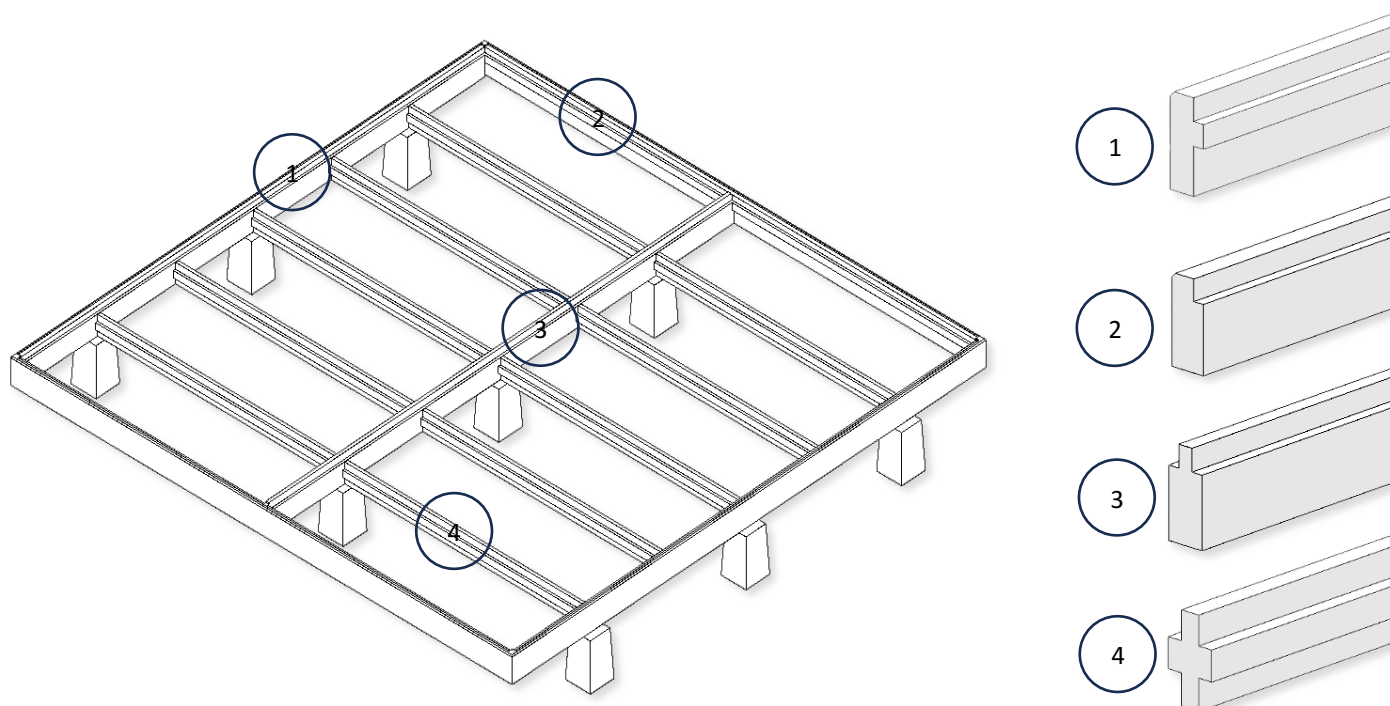


Fonte: elaborado pela autora (2025).

Na sequência, foram modelados os **blocos de fundação** e as **vigas de piso**, elaboradas de acordo com o projeto original em madeira (Figura 54). Cada tipologia foi criada como perfil complexo, respeitando entalhes e cortes destinados à inserção dos painéis horizontais e ao apoio do pórtico central. Essa estrutura base possibilitou organizar a modulação de 1 m estabelecida no projeto.

As vigas 1 e 2 são instaladas nas laterais da edificação, formando o quadro da estrutura de piso, de acordo com a Figura 54. Possuem rebaixos para instalação dos painéis de vedação horizontal na face interna de sua seção, enquanto a face voltada para o exterior da edificação é lisa e com um chanfro superior. A viga 3 é instalada no centro da estrutura, conectada às vigas 2, e suporta o pórtico central. Possui rebaixos laterais em sua seção para suporte dos painéis de piso, assim como as vigas 4. Estas, de menor dimensão e com mais recortes, são mais leves e instaladas perpendicularmente entre as vigas 1 e 3.

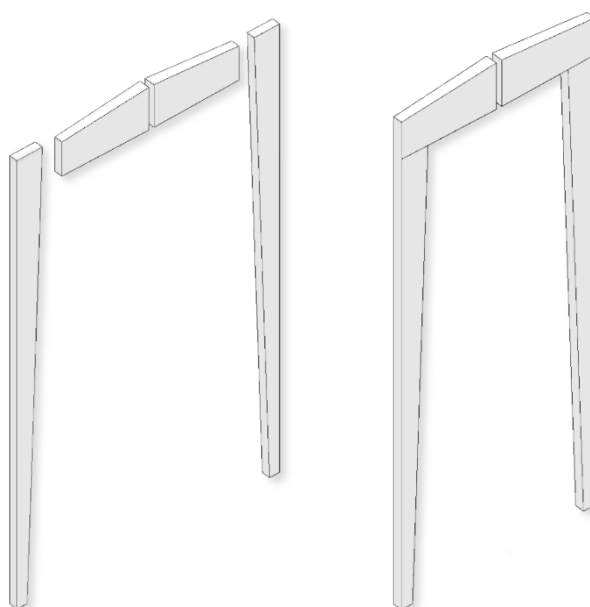
Figura 54 - Estrutura de piso – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

O **pórtico central** foi modelado a partir da racionalização do componente, como desenvolvido por Jean Prouvé. Assim, o pórtico foi criado com a utilização de pilares e vigas de seção descontínua, passíveis de desenvolvimento a partir do *software* utilizado. Os pilares são conectados às vigas, formando as duas partes do pórtico (Figura 55).

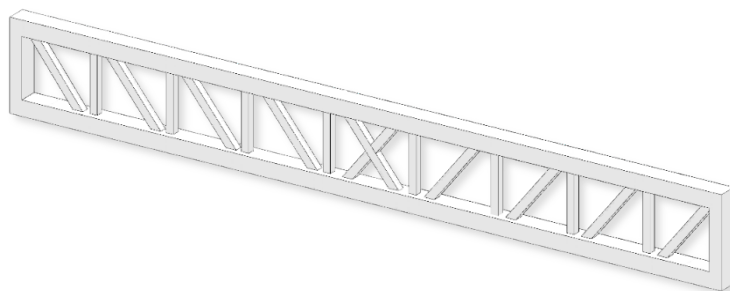
Figura 55 - Modelagem pórtico central – Construção desmontável para vítimas de guerra.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Em seguida, foram elaboradas as **treliças centrais** utilizando ferramenta específica do Archicad, que permitiu criar o conjunto como um objeto único, mas mantendo a composição interna de montantes e diagonais (Figura 56).

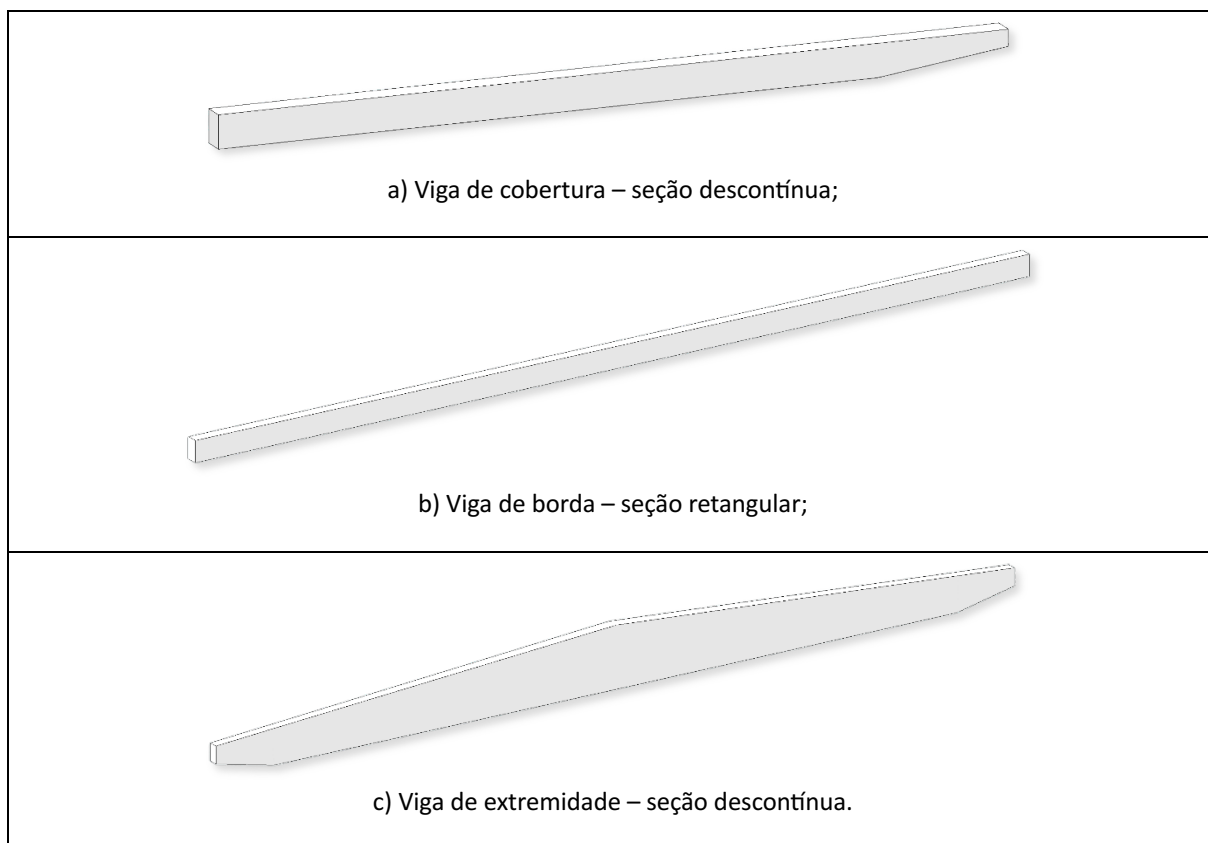
Figura 56 – Modelagem treliça central – Construção desmontável para vítimas de guerra.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Na construção desmontável 6x6 são empregadas duas treliças, conectadas ao pórtico central e que suportam as **vigas de cobertura**. Estas foram modeladas em diferentes tipologias: vigas centrais de seção descontínua, vigas laterais retangulares e vigas frontais descontínuas (Figura 57).

Figura 57 - Modelagem vigas metálicas – Construção desmontável para vítimas de guerra.

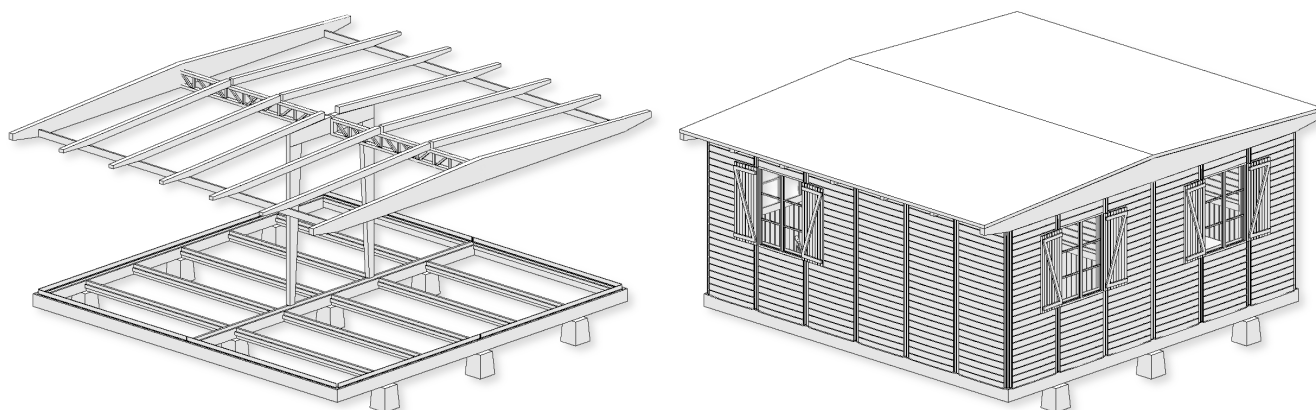


Fonte: elaborado pela autora (2025).

Como etapa final de modelagem, foram desenvolvidos os **perfis de fixação** e os **perfis de conexão** dos painéis de vedação vertical, utilizando a ferramenta de perfis complexos do *software*. Para a modelagem das peças, foi necessário tomar como base as dimensões dos painéis e do total da edificação, utilizando como guia o desenho elaborado por Prouvé com as tipologias de conexões, os materiais empregados e devidos encaixes especificados.

Com todos os componentes concluídos, realizou-se a montagem digital da edificação. A partir da estrutura de piso, foram compostos os esqueletos estrutural e de cobertura da construção, para depois realizar o fechamento com os painéis de vedação verticais e horizontais, como pode ser observado na Figura 58.

Figura 58 - Montagem modelo 3D – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

3.1.3. As relações entre a prototipagem e a pré-fabricação

A prototipagem da Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6 constituiu a primeira experimentação do trabalho com impressão 3D de componentes arquitetônicos. O processo exigiu aprendizado sobre operação do maquinário adquirido, adequação de arquivos e preparação de materiais necessários para impressão, além da compreensão da utilização do *software* necessário e indicado para a impressão. Nessa etapa, todas as peças modeladas no Archicad foram exportadas individualmente em extensão .stl e processadas no *software* fatiador¹¹ *Creality Print*, compatível com a impressora utilizada, de modelo Ender 3 V3 da marca *Creality*.

¹¹ Um *software* fatiador para impressão 3d, também conhecido como *slicer*, é um programa que recebe um modelo 3D e o converte em instruções compreensíveis para a impressora 3D. Essas instruções são chamadas

A estratégia de prototipagem priorizou a estabilidade do modelo físico com o menor número possível de peças, respeitando a ordem de montagem estudada. Assim, alguns componentes secundários foram suprimidos na versão impressa para reduzir o volume de material.

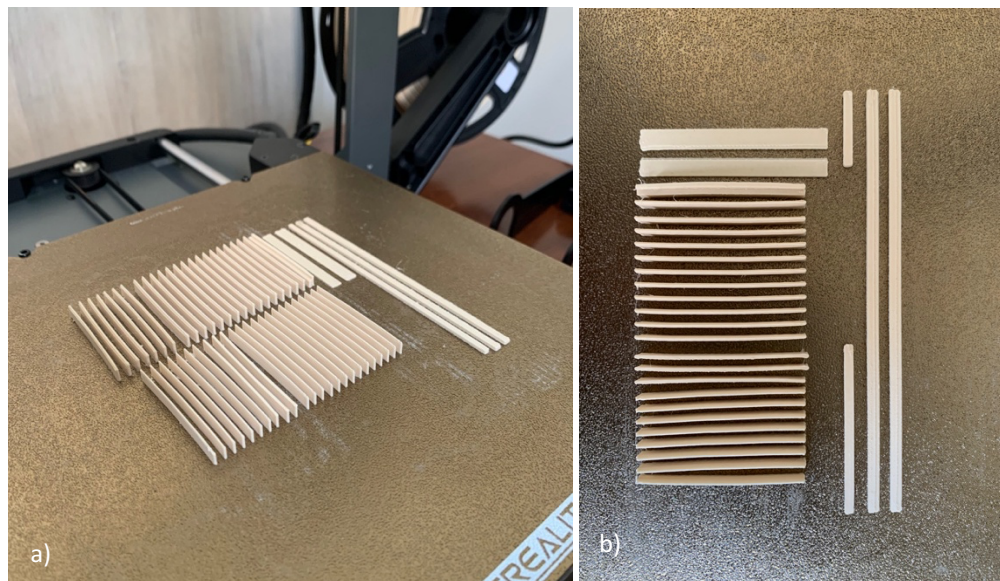
a) Fabricação

Devido a dimensões reduzidas das peças que compõem os painéis de vedação vertical da obra, optou-se por utilizar a impressão 3D na etapa de confecção de todos os componentes, mantendo os detalhes construtivos e os encaixes das peças. Dessa forma, todos os elementos que compõem a edificação foram impressos seguindo o projeto original, mantendo a complexidade da modelagem realizada.

Materiais utilizados: para a impressão 3D dos componentes, foram utilizados três filamentos PLA de características distintas: PLA Madeira Pinus (3D Fila) para as peças em madeira, PLA PLUS Cinza (GTMax3D) para as peças metálicas, e PLA branco (Creality) para os componentes de fundação em concreto. Para fixação das peças impressas, utilizou-se cola instantânea.

Ordem de fabricação: os primeiros componentes a serem fabricados foram os blocos de fundação, de material distinto dos demais, facilitando a organização. Em seguida, passou-se à fabricação das peças de madeira, iniciando pelos **painéis de vedação vertical**, levando em consideração o tempo de impressão e o quantitativo de peças demandado para cada um deles. Foram necessários alguns testes de impressão das peças que compõem os painéis, por suas pequenas dimensões e leve curvatura das peças de fechamento. Cada impressão comportava até dois painéis completos, impressos separadamente entre faces interna e externa para manter a organização das peças para a etapa de montagem (Figura 59).

Figura 59 - Peças de um painel de vedação vertical impressas – Construção desmontável para vítimas de guerra.
a) Painel cego; b) Painel janela.



Fonte: arquivo da autora (2025).

Depois, foram confeccionadas as **vigas de piso**. Devido às dimensões da mesa de impressão serem menores do que o comprimento das vigas 1, 2 e 3, esses componentes precisaram ser impressos de forma seccionada e conectados entre si após a fabricação, e cada viga foi fabricada em impressão individual. As vigas 4, de menor comprimento, puderam ser impressas integralmente. Os **painéis de piso**, de dimensões retangulares simples e pequena espessura, foram confeccionados rapidamente, demandando apenas duas etapas de impressão 3D.

A impressão prosseguiu com os **perfis de conexão internos** dos painéis de vedação vertical internos, em que foram necessários dois testes de impressão desses componentes, para verificar a melhor orientação de impressão 3D: horizontal ou vertical. Devido à complexidade formal dos componentes, com vazios e entalhes, optou-se pela orientação vertical de fabricação, garantindo maior precisão formal.

Finalizados os componentes de madeira, iniciou-se a troca de filamento para PLA cinza, dando início aos elementos metálicos: **pórtico central**, **treliças centrais** e **oitões de fachada**, todos impressos em seções devido ao comprimento da peça e dimensões da mesa de impressão.

Na sequência, foram produzidos os **perfis de fixação** dos painéis de vedação vertical, de pequenas dimensões e rápida impressão 3D. Os próximos componentes impressos foram as **vigas de cobertura**, os **perfis de conexão externos** dos painéis de vedação vertical e os

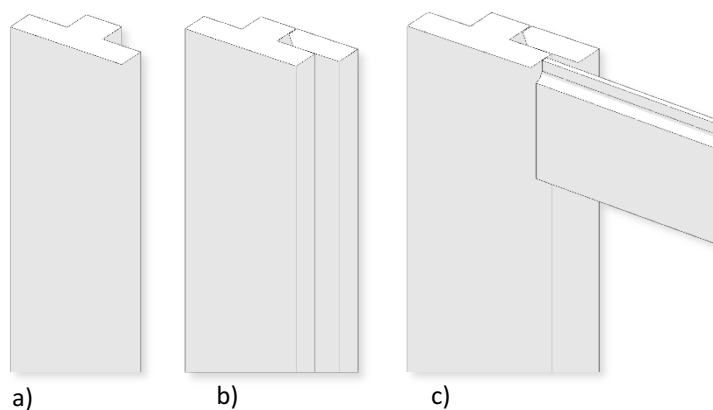
painéis de cobertura. As vigas foram fabricadas em apenas uma etapa de impressão 3D, pois foram todas organizadas em uma mesma mesa de impressão, em razão de suas dimensões de tamanho facilitado, assim como os perfis de conexão. Já os painéis de cobertura precisaram ser impressos em duas etapas, consistindo nos últimos componentes fabricados para o modelo reduzido.

b) Montagem

Assim como na etapa de fabricação das peças, os **painéis de vedação vertical** foram os primeiros componentes montados. Nos primeiros testes de montagem, foi evidenciada a necessidade de elaboração de um gabarito para apoiar o montante de estruturação externa do painel de vedação vertical de forma a estabilizar as peças e espaçar o local de fixação das tábuas de fechamento do painel. O gabarito foi modelado no Archicad (Figura 60) com base nas dimensões das peças que compõem os painéis de vedação vertical e fabricado por impressão 3D, o que garantiu encaixe certo entre o gabarito e o montante, auxiliando a montagem.

Figura 60 - Modelagem 3D gabarito para montagem dos painéis – Construção desmontável para vítimas de guerra.

a) Modelagem 3D do gabarito; b) Gabarito apoiando o montante externo; c) Tábua de fechamento estabilizada pelo gabarito apoiando o montante.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

No processo de montagem do painel de vedação vertical com a utilização do gabarito fabricado (Figura 61), a primeira etapa foi lixar as peças para garantir a correta fixação e composição do painel; em seguida, o montante externo foi apoiado pelo gabarito, determinando a dimensão correta de fixação das tábuas de fechamento do painel, que foram instaladas na sequência. Iniciando pela fixação das tábuas superiores até as inferiores, a primeira face do painel foi montada, passando para a etapa de fixação do montante interno e

do outro montante externo. Assim, foi possível instalar as tábuas de fechamento da face posterior já fixadas aos três montantes estruturantes do painel de vedação vertical.

Figura 61 - Montagem do painel de vedação vertical com o gabarito.



Fonte: arquivo da autora (2025).

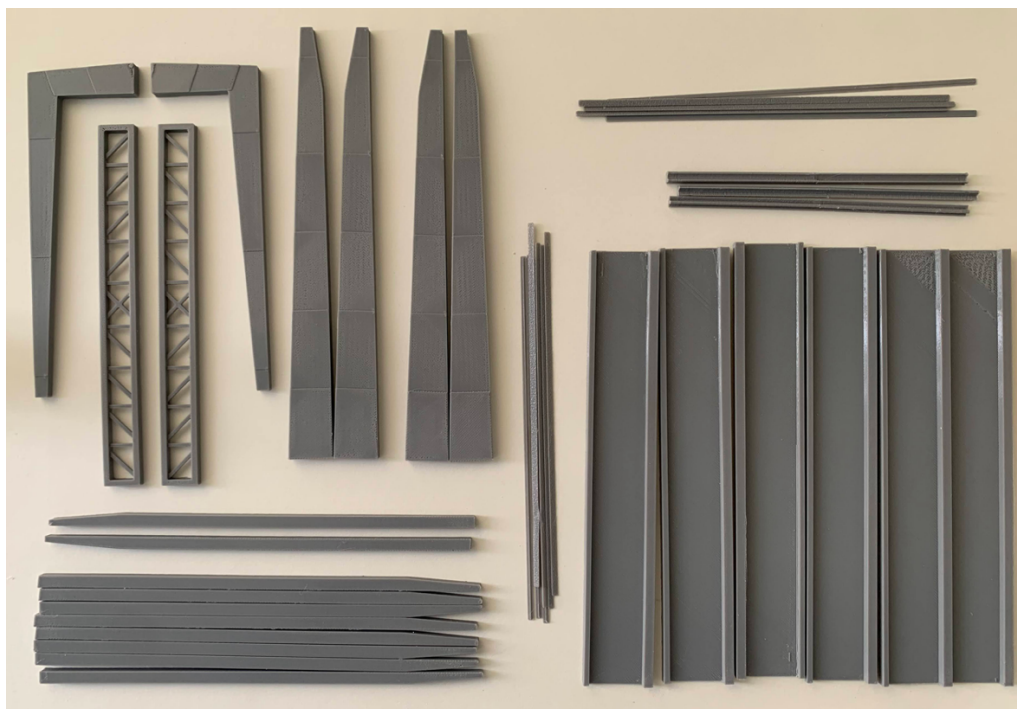
Com os painéis de vedação vertical prontos, foi iniciado o processo de montagem do modelo reduzido da obra, com a organização e instalação dos componentes de madeira (Figura 62), e posteriormente dos componentes metálicos (Figura 63). Para otimizar o tempo de fabricação e montagem, enquanto a parcela de madeira da obra foi montada, as peças metálicas estavam sendo fabricadas.

Figura 62 - Componentes de madeira – Modelo Reduzido Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.



Fonte: arquivo da autora (2025).

Figura 63 - Componentes metálicos – Modelo reduzido Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.



Fonte: arquivo da autora (2025).

A ordem de montagem do modelo reduzido seguiu etapas distintas da ordem estipulada em projeto por Jean Prouvé para a construção em escala real, contendo as seguintes etapas:

1. Locação dos blocos de fundação na mesa de montagem;
2. Instalação das vigas 1 e 3 sobre os blocos de fundação;
3. Posicionamento das vigas 4, do centro para as extremidades;
4. Instalação das vigas 2, fechando o quadro estrutural (como não foi identificado detalhamento de encaixe entre as vigas 1 e 2, elas foram conectadas da melhor forma a manter as dimensões estipuladas para a obra);
5. Instalação dos perfis de fixação inferior dos painéis de vedação vertical sobre as vigas de piso 1 e 2;
6. Instalação dos painéis de piso (ajustados por cortes e lixamentos quando necessário);
7. Posicionamento do conjunto pórtico-treliças;
8. Instalação de dois painéis em cada fachada com oitão, garantindo estabilidade;
9. Instalação dos demais painéis de vedação vertical e das vigas laterais de cobertura, com a função de fixação superior dos painéis;
10. Colocação das vigas de cobertura, iniciando pelas centrais;
11. Instalação final da cobertura metálica com telhas encaixadas.

O resultado final pode ser observado na Figura 64, sintetizando o processo de prototipagem e montagem do modelo reduzido.

Figura 64 - Sequência de imagens - Modelo reduzido Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.





Fonte: arquivo da autora (2025).

Após a montagem do protótipo com os componentes fabricados pela técnica de impressão 3D, buscou-se fabricar um painel de vedação vertical com uso real da madeira em suas faces de fechamento, utilizando a cortadora a laser¹² para corte da lâmina de madeira Pau Marfim. O conjunto final do painel possibilitou a visualização da representação da madeira no modelo reduzido, trazendo a sensorialidade do material, ainda que de forma pontual no protótipo, como pode ser observado na Figura 65.

Figura 65 - Imagens comparativas dos painéis de vedação vertical prototipados em impressão 3D e em lâmina de madeira.



Fonte: arquivo da autora (2025).

A comparação entre o processo de montagem proposto por Jean Prouvé para a Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6 e o executado no modelo reduzido evidencia tanto convergências quanto adaptações necessárias, apresentadas no Quadro 11.

¹² A cortadora a laser utilizada é de modelo PHECDA, da marca ELEGOO, e possui área de corte de 40x40cm. Foi disponibilizada pelo Laboratório LED, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e Design da UFU.

Quadro 11 - Comparação entre os processos de montagem – Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6.

Etapa do processo de montagem definido por Jean Prouvé	Adaptação necessária para o modelo reduzido
1. Locação dos blocos de fundação;	-
2. Instalação das vigas de piso;	O momento de instalação das vigas de piso se manteve, porém no modelo reduzido foi separado em três etapas distintas, para estabilidade da estrutura.
3. Posicionamento dos painéis de piso;	-
4. Montagem do pórtico central;	-
5. Conexão do pórtico central com as vigas/treliças centrais e destas com as vigas de fachada;	Essa etapa se manteve como principal estruturante da construção, porém foi adaptada para fixação dos componentes e estabilidade do modelo.
6. Instalação das vigas de fachada sobre dois painéis de vedação vertical;	-
7. Instalação das vigas laterais de cobertura sobre painéis de vedação vertical posicionados nos pontos centrais das vigas de base;	-
8. Instalação das vigas de cobertura sobre as treliças centrais, o pórtico central e as vigas laterais de cobertura;	-
9. Instalação dos painéis de vedação vertical restantes;	-
10. Fixação das telhas de cobertura;	-
11. Instalação dos perfis de conexão dos painéis de vedação vertical.	Os perfis de conexão dos painéis de vedação vertical foram instalados em conjunto com os painéis, e não ao final do processo de montagem, como previsto por Prouvé.

Legenda:

- Etapas realizadas como o proposto por Jean Prouvé
- Etapas com adaptações necessárias para o modelo reduzido

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Embora a ordem geral tenha sido preservada, com início nos blocos de fundação, sequência de estruturação com vigas e pórticos, instalação dos painéis de vedação e finalização com a cobertura, ajustes foram realizados no protótipo em função da escala reduzida e das limitações construtivas. No modelo, foi preciso fechar o quadro estrutural periférico antes da instalação do pórtico, prever perfis inferiores para fixação dos painéis de vedação e adaptar manualmente os painéis de piso, garantindo o encaixe adequado. Além disso, a sequência de colocação dos painéis e vigas de cobertura foi ajustada para assegurar estabilidade durante a montagem. Essas diferenças ressaltam a importância do trabalho manual e da experimentação como forma de compreender, em escala reduzida, a lógica construtiva estabelecida por Prouvé e suas possíveis variações quando transpostas para outros contextos de produção.

3.2. CASA STANDARD – 1950

A Casa Standard, também conhecida como Casa Metrópole, foi concebida por Jean Prouvé em 1950 com caráter permanente, atendendo à encomenda do Ministério da Reconstrução e do Planejamento (M.R.U.), no contexto da reconstrução da França. De acordo com Sulzer (2005), mesmo antes da confirmação oficial da encomenda de doze unidades, os Ateliers Jean Prouvé, em Maxéville, iniciaram a produção, evidenciando a confiança no potencial do projeto para aplicação em larga escala. Ao contrário da estética de “abrigos emergenciais”, buscou-se transmitir permanência e racionalidade com a Casa Standard, resultado de cerca de duzentos desenhos que garantiram alto grau de padronização construtiva. O sistema previa versões de 8x8 m e 8x12 m, com implantações iniciais realizadas na cidade de Meudon, podendo ser totalmente desmontável ou apoiada sobre pavimento térreo em concreto ou alvenaria de pedra, que poderia ter função de garagem.

3.2.1. Compreensão projetual: transferência de informações para o modelo reduzido

A compreensão projetual baseou-se em documentação do acordo provisório firmado entre os Ateliers Jean Prouvé e o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, que apresenta o princípio do sistema construtivo desenvolvido, os componentes e materiais utilizados, disponível em Sulzer (2005), além de imagens também disponíveis na fonte citada e documentos, fotos e vídeo disponíveis no website oficial do acervo de Jean Prouvé (Jean Prouvé SAS, 2024).

a) Sistema construtivo:

O sistema construtivo desenvolvido segue a **modulação** de 1 m, presente em todo o conjunto, permitindo variações dimensionais (8x8 m e 8x12 m). Para este estudo, foi adotada a Casa Standard 8x8 m desmontável, cujo sistema conta com os seguintes **componentes**: bases de apoio, vigas de piso, painéis de vedação horizontal, pórtico central, vigas centrais, painéis de vedação vertical, montantes de conexão e componentes de cobertura. Cada componente descrito foi projetado detalhadamente por Jean Prouvé, que elaborou detalhes construtivos especificando cada material a ser utilizado.

As **bases de apoio** (Figura 66) foram desenvolvidas em aço, com perfil quadrado para a base e estrutura tubular com altura ajustável, permitindo adaptação a diferentes topografias. Esse tipo de base foi utilizado para as construções com caráter desmontável,

porém, como pode ser observado pela Figura 67, Jean Prouvé previu também o emprego de fundação em concreto e a elaboração de um pavimento térreo em concreto ou alvenaria de pedra, tipologia muito utilizada para essa obra.

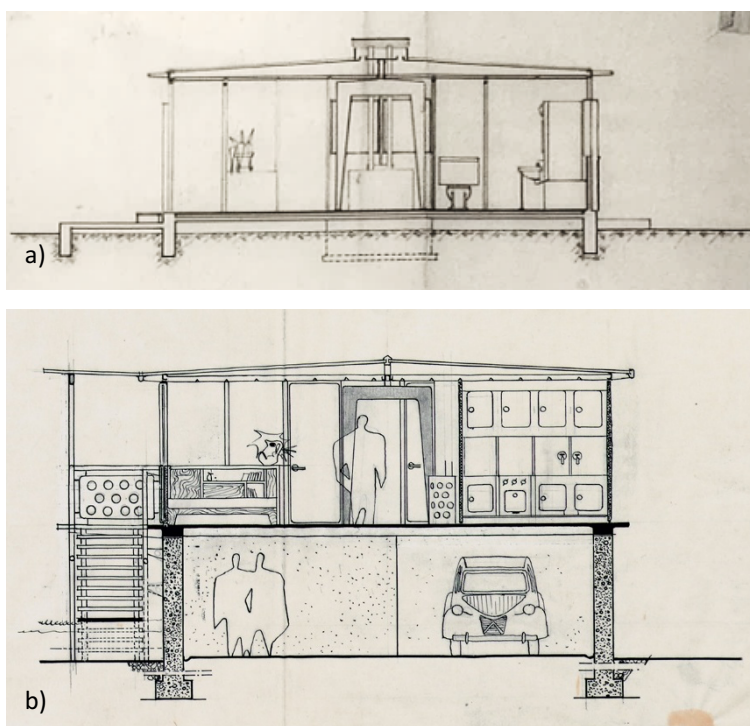
Figura 66 - Bases metálicas de estruturação do piso – Casa Standard.



Fonte: Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-iph13X1mLg&t=8s>. Acesso em: 19 ago. 2025.

Figura 67 - Possibilidades de implantação – Casa Standard.

a) Possibilidade de fundação em concreto; b) Possibilidade de construção sobre pavimento térreo.

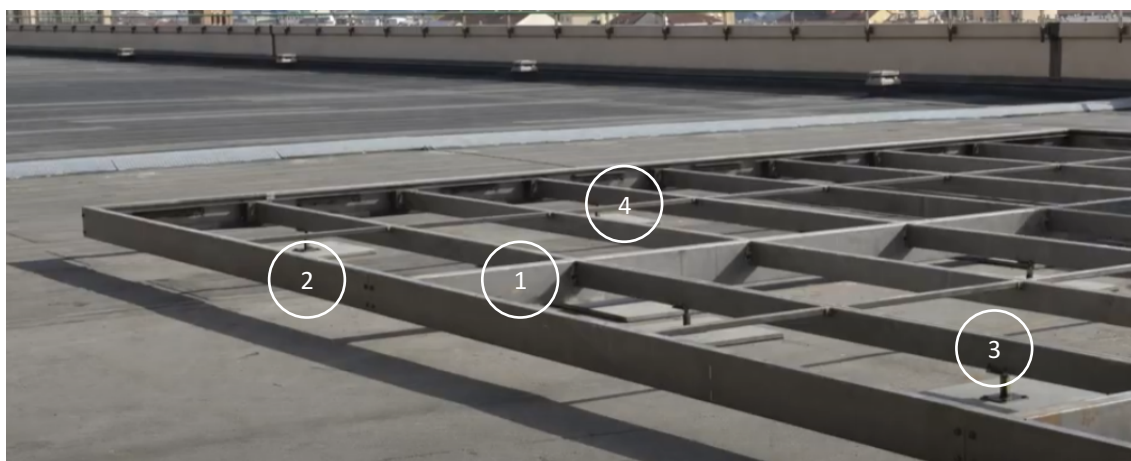


Fonte: a) Adaptado de Sulzer (2005); b) Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1949-5>. Acesso em: 19 ago. 2025.

A **estrutura de piso** é composta por quatro tipologias de vigas em chapa de aço dobrada Figura 68:

- Vigas 1: seções descontínuas apoiadas nas bases, com balanço de um módulo em cada extremidade;
- Vigas 2: retangulares, instaladas perpendicularmente às vigas 1, formando o quadro estrutural e suportando os painéis externos;
- Vigas 3: também perpendiculares às vigas 1, localizadas internamente no quadro estrutural, delimitando as posições de instalação dos painéis;
- Vigas 4: perfis com seções quadradas menores, apoiando os painéis de piso e organizando sua modulação.

Figura 68 - Estrutura de piso – Casa Standard.



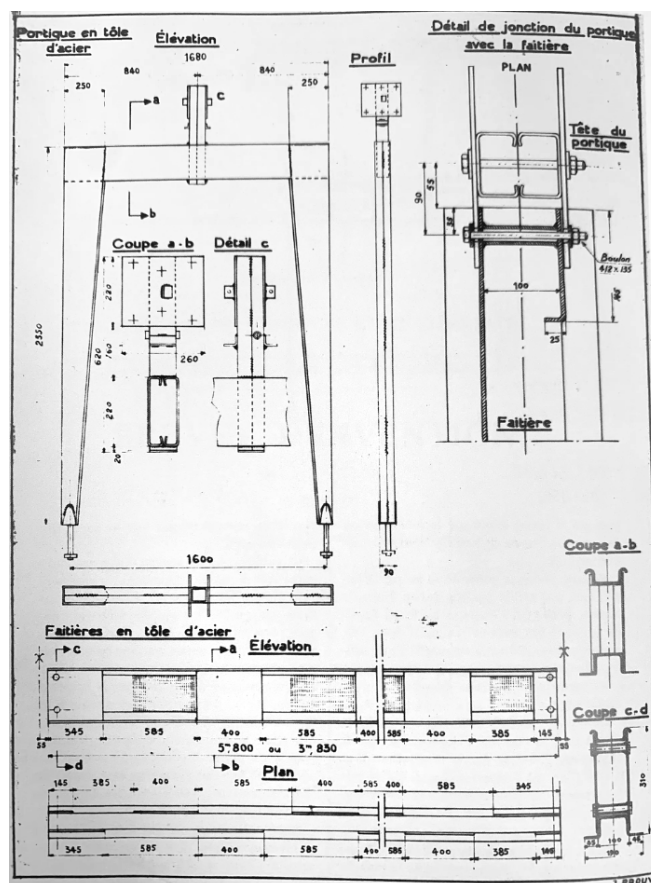
Fonte: Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-iph13X1mLg&t=8s>. Acesso em: 19 ago. 2025.

O sistema estrutural da Casa Standard 8x8 m é organizado a partir do **pórtico central**, produzido em chapa de aço dobrada. Esse elemento é composto por dois montantes de seção caixão descontínua, unidos superiormente a uma viga retangular que conforma o cabeçote do pórtico. Tal configuração permite rigidez ao conjunto ao mesmo tempo em que facilita a produção seriada e o transporte das peças. O pórtico possui largura de 1,68 m e altura de 2,55 m. As ligações são realizadas por meio de chapas de reforço e parafusos, o que assegura a estabilidade e mantém a característica desmontável da estrutura.

Sobre os pórticos apoiam-se as **vigas centrais** de cumeeira, também em chapa de aço dobrada. Esse elemento possui seção retangular estreita e apresenta almas vazadas, com aberturas retangulares descontínuas em cada face, que reduzem o peso próprio sem comprometer o desempenho estrutural. Com comprimentos de 5,80 m (versão longa) ou 3,83 m (versão curta), as vigas de cumeeira se conectam ao pórtico central, servindo como eixo de

apoio dos painéis de cobertura. Sua fixação é realizada por chapas e parafusos, garantindo robustez ao mesmo tempo em que preserva a lógica desmontável do sistema (Figura 69).

Figura 69 - Detalhamento de pórtico e viga vazada – Casa Standard.



Fonte: Sulzer (2005).

As extremidades frontal e posterior da cobertura são resolvidas com um fechamento estrutural da empena (**oitão**) em chapa de aço, em conjunto com uma peça de **acabamento** em alumínio (Figura 70-a). Cada oitão é constituído por duas chapas de aço dobradas em espelho, unidas de modo a conformar um perfil de geometria trapezoidal. Essas chapas apresentam aberturas em intervalos regulares, que contribuem para a redução do peso próprio sem comprometer a resistência e, ao mesmo tempo, funcionam como pontos de fixação dos painéis de cobertura. A união das duas metades ocorre predominantemente por meio de rebites e parafusos, eventualmente complementados por pontos de solda aplicados em fábrica, assegurando rigidez e precisão dimensional ao conjunto. A peça de alumínio, aplicada externamente como acabamento da edificação, funciona como reforço e proteção adicional contra infiltrações, além de traduzir a busca de Prouvé por soluções que conciliam leveza, durabilidade e integração de materiais distintos.

Nas bordas inclinadas da cobertura encontram-se as **vigas laterais de cobertura** (Figura 70-a), elementos lineares de chapa de aço dobrada que desempenham também a função de fixação superior dos painéis de vedação vertical. Essas peças estabelecem a transição entre a cobertura e as fachadas, funcionando como ponto de ancoragem para os painéis e assegurando sua integração estrutural ao conjunto. Sua seção transversal foi desenhada de modo a permitir simultaneamente o encaixe dos painéis de vedação e a sobreposição dos painéis de cobertura, atuando como elemento intermediário entre os dois sistemas. Tal como nos demais componentes, as vigas laterais apresentam perfurações seriadas para fixação por parafusos, que permitem tanto a montagem rápida quanto a desmontagem se necessário. No encontro com o oitão, a junção é protegida por um acabamento em alumínio, que reforça a estanqueidade e garante a durabilidade da solução.

O fechamento da cobertura da Casa Standard é realizado pelos **painéis de cobertura**, igualmente em chapa de aço dobrada (Figura 70-b). Com cerca de 4,02 m de comprimento, esses painéis apresentam duas variantes: o painel intermediário, repetitivo e destinado à porção central, e o painel de extremidade, adaptado para o encontro com as fachadas. Ambos possuem perfurações que recebem parafusos e arruelas plásticas, garantindo isolamento e vedação das juntas. A geometria das dobras confere resistência e rigidez às peças, dispensando o aumento da espessura da chapa e otimizando o material empregado.

O sistema de cobertura integra as **calhas metálicas**, responsáveis pelo escoamento das águas pluviais e com função de beiral (Figura 70-b). Esses elementos lineares, modulados em 985 mm de comprimento, são conectados por sobreposição e parafusos. Cada peça apresenta 25 furos em disposição alternada, que favorecem a drenagem e a montagem seriada. Sua seção transversal, composta por dobras, reforça a rigidez e facilita o encaixe com os painéis adjacentes, fazendo da calha um elemento híbrido: ao mesmo tempo dispositivo de drenagem e peça de articulação entre módulos.

de aço dobradas inseridas nas ranhuras das seções da moldura. Atrás da folha de alumínio há um isolamento constituído por uma folha de Alfol¹⁴ de 4/100 mm e uma camada de lã de vidro de 2 cm entre duas folhas de papel Kraft.

A face interna dos painéis pode ser revestida com folha de alumínio, igual à externa, ou com madeira compensada de 1 cm de espessura, ou com gesso acartonado, opções essas que também possuem isolamento de lã de vidro de 2 cm. Alternativamente, o isolamento interno pode ser composto por uma única camada de lã de vidro como lâmina de 4 a 5 cm de espessura, colocada entre as duas faces do painel. A chapa de alumínio visível é revestida com esmalte queimado, o compensado com verniz náutico e a placa de gesso acartonado é pintada com óleo na oficina de fabricação.

Segundo o projeto de Jean Prouvé, os painéis de vedação vertical cegos internos e externos são diferenciados por suas dimensões, sendo os externos com 0,968 m de largura e os internos com 0,927 m de largura.

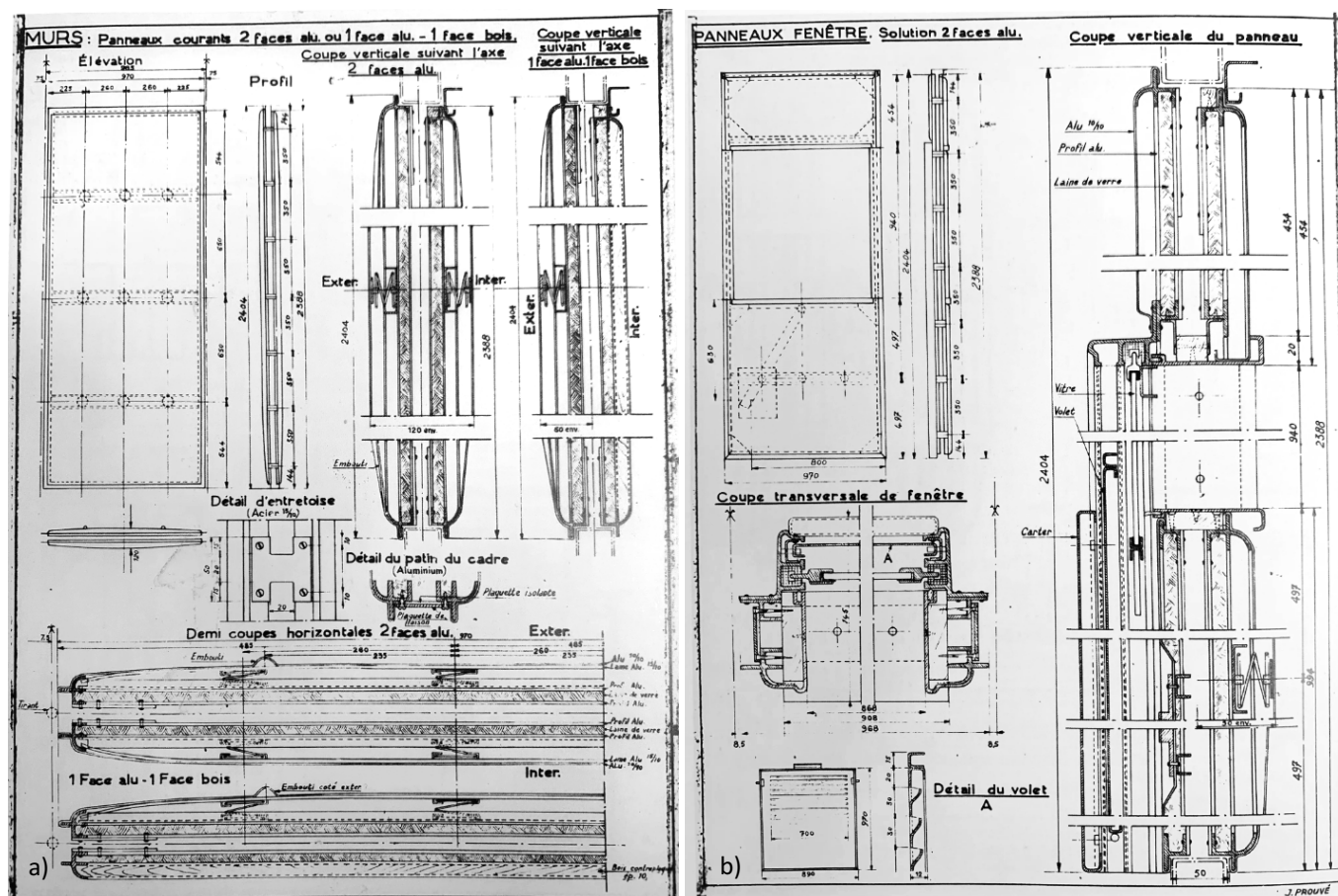
Os **painéis de janela** (Figura 71-b) também são compostos por duas partes: a face interna é semelhante à do painel cego, porém com abertura para o caixilho da esquadria, e a face externa é composta pelas mesmas seções, às quais são adicionadas seções distintas para o mecanismo da janela guilhotina desenvolvida por Prouvé. Como descrito por Jean Prouvé em Sulzer (2005), no componente da janela, a face externa é composta por chapa perfilada de alumínio emoldurada por seções de madeira baquelizada, e na face interna uma moldura em chapa de alumínio dobrada envolve um painel forrado com tiras de borracha. Além disso, tiras de feltro são colocadas em um rebaixo por onde passa a moldura da janela, o que é contrabalançado por um mecanismo Farnier¹⁵ inserido no peitoril da janela. Os revestimentos e os isolamentos que compõem as camadas do painel de janela são iguais aos dos painéis cegos, e as duas faces do painel são unidas pelos habituais elementos de conexão nas bordas.

¹⁴ Lâmina de alumínio pertencente ao sistema Alfol, um material alveolar com propriedades de isolamento térmico e acústico, bastante usado na França a partir dos anos 1950 em construções leves e pré-fabricadas.

¹⁵ Dispositivo de contrabalanço embutido no peitoril, cuja função era equilibrar o peso da folha e permitir a abertura e o fechamento com maior suavidade. Com origem comercial pouco documentado atualmente, sua presença demonstra a preocupação de Prouvé em integrar soluções técnicas que otimizassem a usabilidade e o desempenho de seus sistemas de vedação.

Figura 71 - Detalhamento painéis de vedação vertical – Casa Standard.

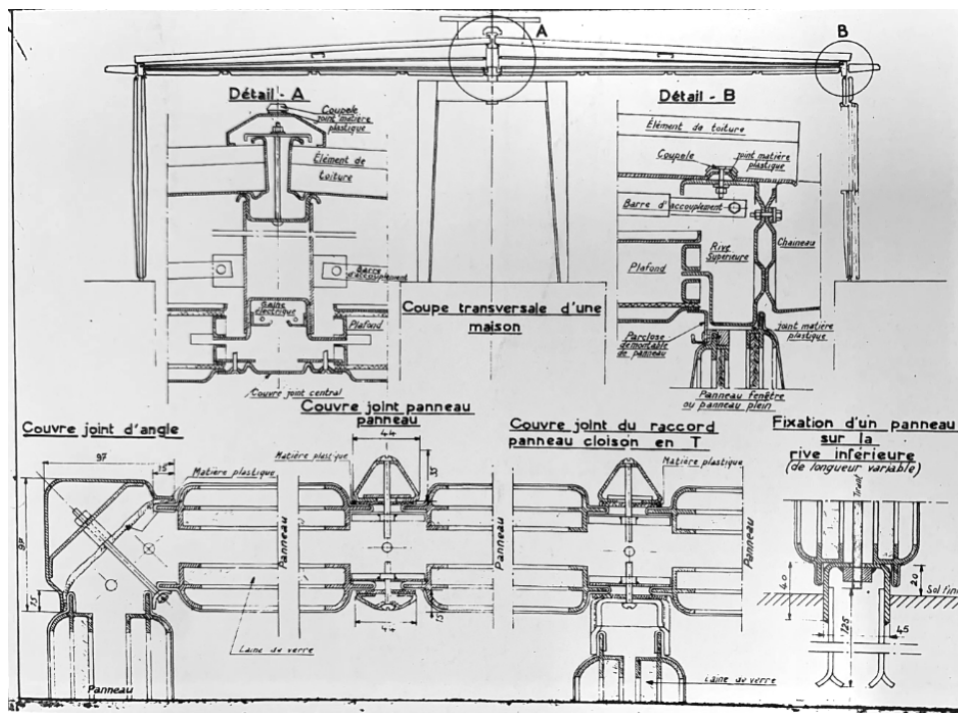
a) Painéis cegos; b) Pannel de janela.



Fonte: Sulzer (2005).

Os **painéis de porta** externa podem ser maciços, com painéis cegos e caixilhos tradicionais, com aberturas circulares formando a típica porta de Jean Prouvé, ou totalmente envidraçadas. Para a conexão dos painéis de vedação vertical, Jean Prouvé desenvolveu **perfis de conexão** metálicos com encaixes específicos para conectar painéis adjacentes, painéis de canto, e painéis em "T" (Figura 72) – assim como foi desenvolvido em sua primeira tipologia, para as Construções desmontáveis para vítimas de guerra, porém utilizando os mesmos perfis para aplicações internas ou externas. Esses perfis conectam-se às partes de aço dos painéis por meio de parafusos borboleta, garantindo maior flexibilidade de montagem e desmontagem sem prejudicar os materiais de vedação.

Figura 72 - Detalhamento conexões – Casa Standard.



Fonte: Sulzer (2005).

Os painéis de vedação horizontal da Casa Standard foram empregados com diversas possibilidades de composição. Como indicado em Sulzer (2005), poderiam ser desenvolvidos em painel sanduíche, similares aos painéis de vedação vertical, em alumínio, ou em madeira. Embora não haja projeto de detalhamento desses componentes, nas referências consultadas é possível observar a utilização de painéis de madeira maciça para o piso, assim como de madeira compensada. Já para o forro, observa-se a utilização recorrente de painéis sanduíches em alumínio (Figura 73).

Figura 73 - Imagens referentes à utilização de painéis de forro em alumínio – Casa Standard.



Fonte: Fonds Jean Prouvé. Centre Pompidou – MNAM/CCI – Bibliothèque Kandinsky-Dist. RMN-Grand Palais.
Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1951-33>. Acesso em: 21 ago. 2025.

No Quadro 12, são elencados os componentes do sistema construtivo da Casa Standard 8x8 m, com o quantitativo de peças e materiais utilizados. Segundo Prouvé (Sulzer, 2005), toda a fabricação dos componentes ocorria na oficina. As matérias-primas eram trabalhadas, conforme a necessidade, pelas máquinas e ferramentas habituais e adequadas para cada atividade: dobragem, furação, moldagem, soldagem, montagem e pintura. Na etapa de transporte, os componentes finalizados deveriam ser cuidadosamente protegidos e os painéis de vedação vertical eram embalados em caixas específicas.

Quadro 12 - Componentes do sistema construtivo – Casa Standard.

Componente	Quantidade	Material
Viga de piso 1	3	Aço
Viga de piso 2	2	Aço
Viga de piso 3	14	Aço
Viga de piso 4	16	Aço
Painéis de piso	32	Madeira maciça
Pórtico central	1	Aço
Viga central	2	Aço
Viga de fachada	2	Aço
Viga lateral	4	Aço
Painel de cobertura intermediário	30	Aço
Painel de cobertura de extremidade	4	Aço
Beiral	2	Aço
Cumeeira	2	Aço
Painel de vedação vertical alumínio-alumínio	6	Aço, alumínio e madeira compensada
Painel de vedação vertical alumínio-madeira	16	Aço, alumínio e madeira compensada
Painel de vedação vertical madeira-madeira	7	Aço e madeira compensada
Painel de janela	14	Aço, alumínio e madeira compensada
Painel porta externa	2	Aço e alumínio
Painel porta interna	4	Aço e madeira compensada
Perfil de conexão de painéis adjacentes	30	Aço
Perfil de conexão de painéis de canto	6	Aço
Perfil de conexão de painéis em “T”	9	Aço

Fonte: elaborado pela autora (2025).

b) Processo de montagem:

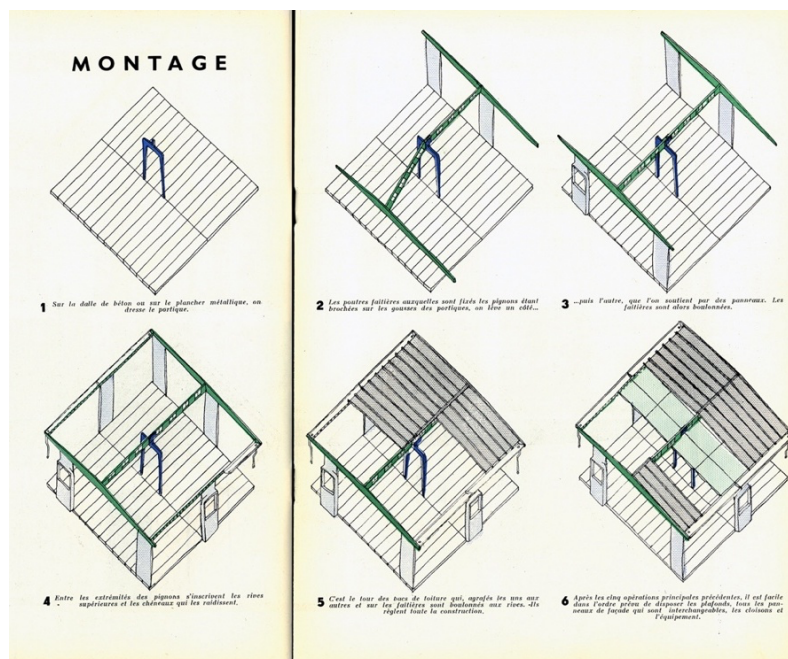
O estudo do processo de montagem da Casa Standard foi inicialmente baseado no texto explicativo de Jean Prouvé contido no acordo provisório do Ateliers Jean Prouvé com o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (Sulzer, 2005), e complementado por imagens representativas e fotos de montagem disponíveis no website oficial do acervo de Jean Prouvé (Jean Prouvé SAS, 2024) e em Sulzer (2005).

Segundo Sulzer (2005), para Prouvé uma Casa Standard completa de dimensões 8 x 8 m poderia ser construída em 200 horas de trabalho, ou por 5 operários em 5 dias. A operação

de montagem foi ilustrada pelo Ateliers Jean Prouvé (Figura 74) e era realizada da seguinte forma:

1. Montagem da estrutura de piso sobre bases metálicas ou laje de concreto;
2. Fixação do pórtico central, estabilizado por chumbadores;
3. Instalação das vigas de cumeeira, içadas com auxílio dos oitões;
4. Apoio inicial da cobertura sobre dois painéis de vedação vertical em cada fachada, garantindo contraventamento;
5. Instalação das vigas laterais superiores conectadas aos oitões;
6. Montagem dos painéis de cobertura, assegurando proteção climática já no segundo dia;
7. Instalação dos painéis de vedação verticais internos e externos (cegos, de portas e de janelas);
8. Fixação final das juntas com isodrite e colocação de dutos elétricos.

Figura 74 - Ordem de montagem – Casa Standard.



Fonte: Ateliers Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>. Acesso em: 5 ago. 2025.

Em um segundo momento de estudo da ordem de montagem, foram analisados registros fotográficos do processo de construção da Casa Standard com estrutura de piso em concreto (Figura 75). Nesse caso, observa-se que toda a estrutura metálica foi erguida antes da instalação dos painéis de vedação vertical, apenas com a colocação de montantes para guia

de conexão dos painéis, de forma distinta da ordem de montagem pré-estabelecida por Jean Prouvé. Tal composição evidencia a leveza da estrutura desenvolvida, além das diferentes possibilidades de montagem da obra.

Figura 75 - Montagem sobre estrutura de concreto – Casa Standard.

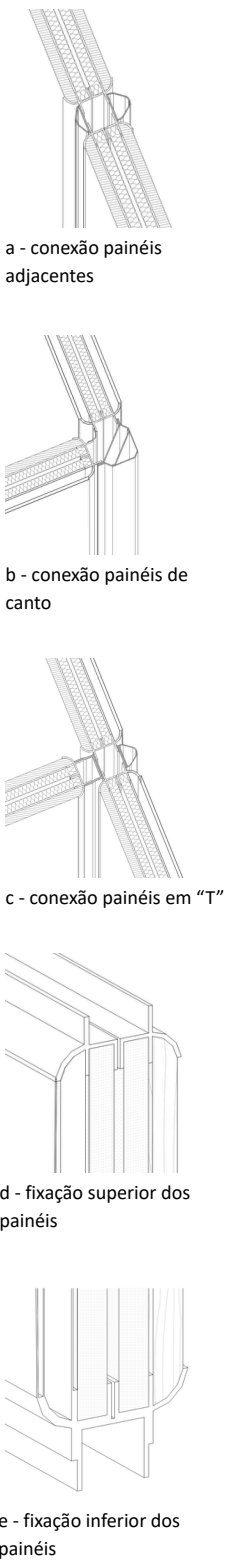


Fonte: Sulzer (2005).

A etapa de estudo e compreensão projetual da Casa Standard, intensificada pela prática do redesenho, possibilitou a elaboração de uma ficha técnica (Figura 76), que reúne os principais componentes e elementos construtivos do sistema desenvolvido por Jean Prouvé. Essa sistematização tornou-se fundamental para consolidar o entendimento do processo construtivo, ao mesmo tempo em que orientou a análise desenvolvida no decorrer do próximo capítulo.

Figura 76 - Ficha técnica Casa Standard.

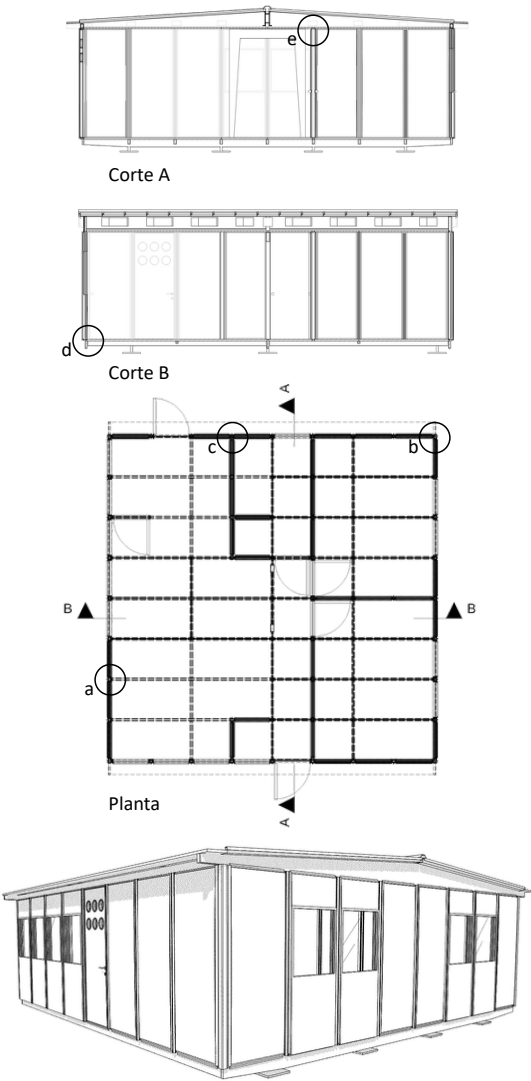
Detalhes construtivos



2 - Casa Standard 8x8

França, 1950

Desenvolvidas por Jean Prouvé visando a reconstrução da França no período pós-guerra, as casas foram construídas com dimensões 8x8 m e 8x12 m. Foram desenvolvidos componentes de piso, painéis sanduíche de vedação vertical com variantes de janela e de porta, além de cobertura em chapa dobrada e estrutura metálica composta por pórtico central e vigas vazadas centrais. O objetivo de Jean Prouvé foi direcionar a casa Standard à produção em massa, criando uma casa leve e dinâmica para a população, com elementos padronizados e de fácil e rápida montagem. Os componentes de maior dimensão têm menos de 4 m de comprimento, os painéis de vedação vertical externos pesam aproximadamente 37 kg e o componente mais pesado é a estrutura do pórtico central, pesando 57,7 kg.



Painéis de vedação vertical



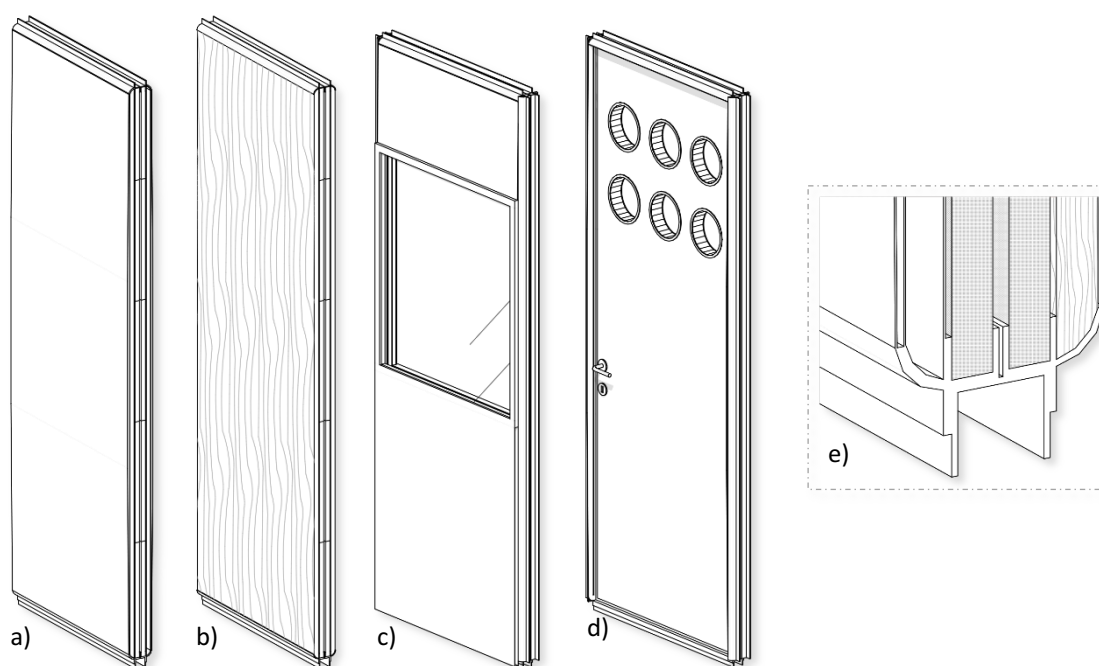
Fonte: elaborado pela autora (2025), com base em Herzog *et al.* (2004).

3.2.2. Modelagem tridimensional como etapa intermediária de análise construtiva

A etapa de modelagem dos componentes da Casa Standard iniciou-se pelos **painéis de vedação vertical**, com base no detalhamento construtivo das tipologias apresentadas em Sulzer (2005). A partir dos desenhos, foi possível compreender a complexidade de projeto demandada para a confecção desses painéis. Foi utilizada a ferramenta “perfil complexo” do Archicad para o desenvolvimento dos tipos de painéis de vedação cegos, que foram utilizados na modelagem como “paredes”. Na elaboração dos perfis complexos, é possível determinar cada material presente nas camadas que compõem as duas seções do painel, além de desenhar as dobras de chapa metálica de forma fiel ao projeto de Prouvé (Figura 77).

Figura 77 - Modelagem painéis de vedação vertical – Casa Standard.

a) Painel cego alumínio; b) Painel cego madeira; c) Painel janela; d) Painel porta; e) detalhe fixação painel alumínio-madeira.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Após a modelagem dos painéis de vedação vertical, foram elaborados os **perfis de conexão dos painéis**, com desenhos complexos de peças de chapa de alumínio dobrada. O conjunto de painéis e conexões compõe as fachadas de acordo com a modulação estipulada para o sistema construtivo, o que possibilitou a conferência das dimensões de projeto e da modelagem desses perfis.

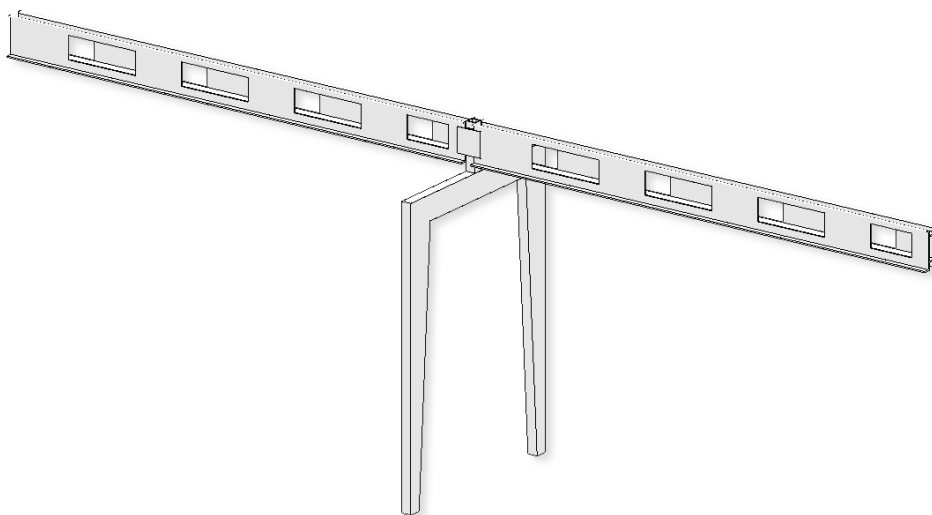
Em sequência, foram elaboradas as **vigas de estruturação do piso**. De chapa metálica e seções habituais retangulares, esses elementos construtivos foram modelados por meio da

utilização da ferramenta “viga” do *software*, o qual permite também a criação de vigas com seção descontínua, como o caso da viga de piso 1. Cada viga foi modelada de acordo com seu desenho e dimensões modulares do sistema, garantindo fidelidade projetual.

A estrutura central da obra foi modelada na sequência. A modelagem do **pórtico central** seguiu o detalhamento dos Ateliers Jean Prouvé, com dois montantes em chapa de aço dobrada, de seção descontínua, que foram elaborados com a ferramenta “pilar” do *software*, e uma viga de seção retangular, também de chapa de aço dobrada, elaborada com a ferramenta “viga”, que, ao serem unidos, formam o componente pórtico.

A **viga de cumeeira** foi desenvolvida a partir da ferramenta de “perfil complexo” do Archicad, o que possibilitou o desenho fiel ao projeto, que previu a viga elaborada com duas seções de chapa de aço dobrada, cada uma com aberturas retangulares que se desencontram. As aberturas presentes na alma da viga foram realizadas por ferramenta específica de “abertura” do *software*, podendo personalizar as dimensões e pontos de inserção de cada uma, seguindo o projeto específico. O conjunto composto pelos componentes de pórtico e vigas de cumeeira pode ser observado na Figura 78.

Figura 78 - Imagem da composição da estrutura central – Casa Standard.

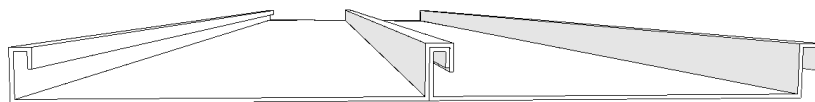


Fonte: elaborado pela autora (2025).

Dando continuidade à concepção da estrutura de cobertura, foi modelada a **viga lateral**, de seção retangular em chapa de aço dobrada e seguindo as dimensões determinadas em projeto. Os **componentes de cobertura** foram modelados na sequência, utilizando a ferramenta de perfil complexo. Em primeiro lugar foi modelado o painel de cobertura

intermediária que, com alguns ajustes nas dobras da chapa metálica, gera o perfil do painel de cobertura de extremidade. Os painéis de cobertura são conectados por meio de encaixe possibilitado pelo perfil do componente em chapa metálica dobrada (Figura 79).

Figura 79 - Modelagem painéis de cobertura – Casa Standard.

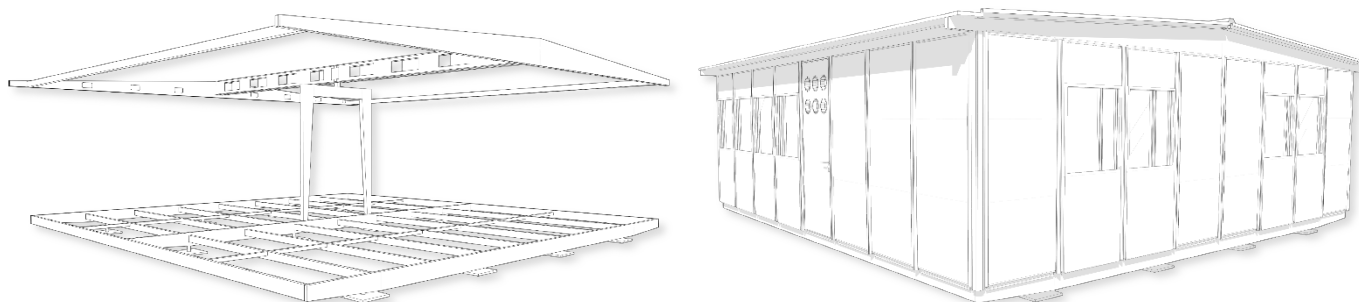


Fonte: elaborado pela autora (2025).

Para finalizar a concepção 3D dos componentes da Casa Standard, foram modeladas a **cumeeira** e a **calha**, ambas em chapa dobrada e com perfil desenvolvido por Prouvé para utilização nessa obra.

Com todos os componentes prontos, foi possível realizar a montagem da edificação por completo. Iniciando a ordem de montagem, foi elaborada a estrutura de piso, e em sequência a estrutura central e a estrutura de cobertura da construção, para depois realizar o fechamento com os painéis de vedação verticais e horizontais (Figura 80).

Figura 80 - Modelagem final – Casa Standard.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Ao final da etapa de modelagem 3D foram compiladas as informações necessárias para a fabricação e prototipagem da obra, com os dados resumidos em ficha técnica (Figura 76), que apresenta a Casa Standard com seus principais detalhes construtivos. Esse material foi utilizado como base para organização dos materiais para prototipagem, possibilitando a análise em sequência.

3.2.3. As relações entre a prototipagem e a pré-fabricação

Esta segunda experiência de prototipagem ocorreu já com maior domínio sobre o processo de configuração da impressão 3D, o que possibilitou maior precisão no planejamento da fabricação. Ainda assim, o modelo reduzido da Casa Standard trouxe novos desafios, sobretudo relacionados à complexidade formal de seus elementos construtivos. A escala de 1:20 manteve-se como parâmetro, exigindo a produção de peças em espessuras delicadas e de difícil reprodução manual, justificando a opção pela impressão 3D. Essa tecnologia viabilizou a materialização dos componentes concebidos por Jean Prouvé e previamente modelados no Archicad, assegurando fidelidade ao projeto original e permitindo aprofundar a compreensão dos detalhes construtivos da obra.

Para dar início à etapa de pré-fabricação por meio da impressão 3D dos componentes, foi necessário realizar algumas adaptações nas peças já modeladas, que continham detalhes de dimensões pequenas ou que impossibilitariam a correta impressão na escala 1:20. Alguns componentes com seções esbeltas e dobras complexas precisaram ser simplificadas e preenchidas, para serem confeccionadas sem erros de fabricação, como o caso dos perfis de conexão dos painéis de vedação vertical. Esses ajustes foram feitos diretamente no Archicad, e então os componentes foram exportados individualmente em extensão .stl para serem utilizados no *Crealty Print*.

De acordo com o processo de montagem da Casa Standard estudado, buscou-se incluir no modelo reduzido os componentes essenciais para a estruturação da construção e para a compreensão do sistema construtivo total. Assim, alguns componentes foram retirados do modelo completo, gerando uma versão mais leve e com menor quantidade de peças e volume de material para impressão 3D.

a) Fabricação

Materiais utilizados: para a impressão 3D dos componentes, foram utilizados dois filamentos PLA de características distintas: PLA Madeira Pinus da marca 3D Fila para as peças em madeira maciça, e PLA PLUS Cinza da marca GTMax3D para as peças metálicas. Além disso, para representação da madeira compensada, foi utilizada lâmina de madeira Pau Marfim. Para fixação das peças, foi utilizada cola instantânea.

Ordem de fabricação: os primeiros componentes fabricados para o modelo reduzido da Casa Standard foram as **bases de apoio**, de forma simples e impressão rápida. Em seguida,

passou-se à fabricação das vigas de piso, iniciando pelas **vigas de piso 1 e 2**, que compuseram uma mesma mesa de impressão. Essas vigas precisaram ser seccionadas para impressão 3D e unidas posteriormente para confecção dos componentes, devido a suas dimensões em relação ao equipamento. As **vigas de piso 3 e 4** foram fabricadas em seguida, em impressões distintas, porém de rápida duração, em razão de suas geometrias simples.

Com a estrutura de piso finalizada, foram fabricados os **perfis de conexão** dos painéis de vedação vertical, que necessitaram de duas etapas de impressão, devido a quantidade de peças demandadas para o modelo. A estrutura central foi fabricada em seguida, iniciando pelo primeiro teste de impressão da **viga central**. Foram necessários três testes de impressão desse componente para alcançar um resultado formal satisfatório e com boa resistência mecânica, devido aos vazios da peça e à pequena espessura do material.

As vigas de extremidade, formando os **oitões**, foram fabricadas em seguida e de forma seccionada devido ao comprimento das peças. Os componentes vazados e o de fechamento do oitão foram impressos em conjunto, utilizando apenas uma etapa de impressão 3D. O **pórtico central** foi fabricado em seguida, de forma completa e em uma única impressão, seguido do componente de conexão do pórtico central.

Após a finalização da fabricação dos componentes estruturais da obra, passou-se à impressão 3D dos **painéis de vedação vertical**. O primeiro teste de impressão envolveu o **painel de janela**, em razão do menor consumo de material para impressão devido ao vão da esquadria. Foram realizados alguns ajustes no modelo 3D do componente para prosseguir com a fabricação dos painéis, que foram impressos em duas etapas.

Os **painéis de vedação vertical cegos** foram fabricados em seguida, com a realização de um teste de impressão envolvendo um painel de cada tipo: com duas faces de alumínio, com uma face de madeira e com as duas faces de madeira. Os painéis de vedação vertical restantes foram fabricados em seis etapas de impressão, sendo a última do **painel de porta** externa.

Em seguida, passou-se aos componentes de cobertura, sendo fabricadas as **vigas de cobertura laterais**, de geometria simples e rápida impressão 3D. Os **painéis de cobertura** foram fabricados em seguida, necessitando de duas etapas de impressão 3D para a finalização dos componentes. Para a correta impressão das peças foi realizado um aumento na espessura do modelo 3D do componente, gerando painéis impressos de melhor qualidade e resistência.

Para finalizar a impressão dos componentes metálicos, foram fabricados os **perfis de conexão** dos painéis de vedação vertical, com utilização de duas etapas de impressão 3D. Após realizar a troca do filamento da impressora 3D, foram fabricados os **painéis de piso** com filamento de Madeira Pinus. Os painéis tiveram suas dimensões personalizadas para se adequarem aos locais de instalação no modelo reduzido, e foram fabricados em seis etapas de impressão 3D, organizadas de acordo com a ordem de instalação dos componentes no modelo.

Com a etapa de fabricação finalizada, os componentes foram organizados e categorizados de acordo com o seu subsistema construtivo: estrutural de piso, estrutural central, de cobertura ou de vedação vertical (Figura 81).

Figura 81 - Organização dos componentes pré-fabricados – Casa Standard.



Fonte: arquivo da autora (2025).

b) Montagem

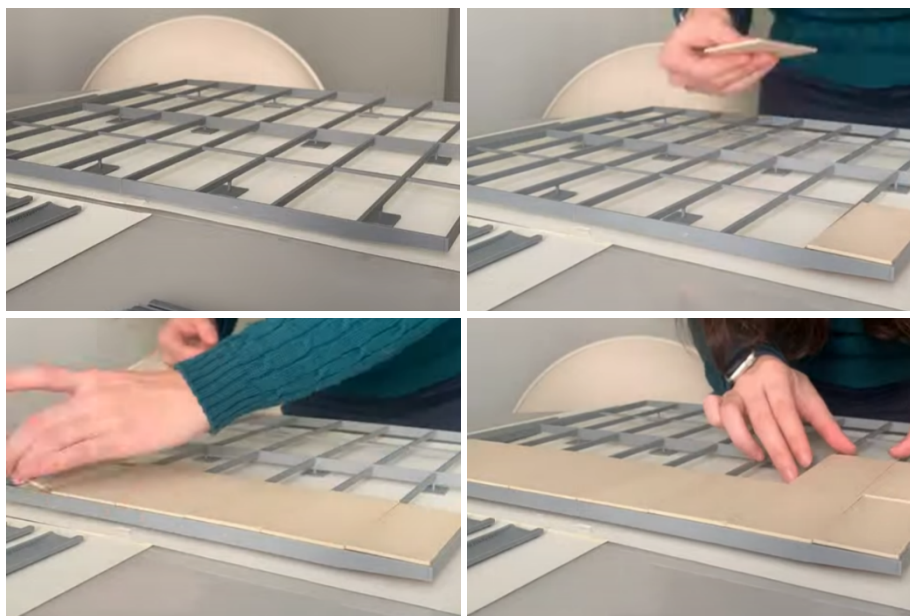
Para a montagem da edificação foi seguida a ordem semelhante à Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6, pois a ordem de montagem da Casa Standard disponível para consulta em documentário é a de dimensões maiores, com a utilização de dois pórticos centrais, o que altera a configuração de montagem do sistema. Na edificação 8x8, há apenas um pórtico central, que deve ser instalado após os painéis de piso e em conjunto com as vigas vazadas, que são conectadas às vigas frontais de seção descontínua, estas apoiadas sobre painéis de vedação vertical. Assim, o processo de montagem estabelecido para essa obra segue as seguintes etapas:

1. Composição da estrutura de piso, a partir das bases metálicas e vigas principais;

2. Conexão das bases metálicas às vigas de piso 1 e 3 de acordo com a modulação pré-determinada em projeto (as vigas foram apoiadas na mesa de montagem e as bases do piso foram conectadas a elas, de modo inverso do que seria realizado na montagem da obra em escala real);
3. Conexão das vigas 1 e 3, estabilizando o quadro estrutural inicial (durante o processo, as dimensões do modelo reduzido foram conferidas com o escalímetro, visando maior fidelidade construtiva e dimensional)
4. Instalação das vigas 2 e 4, finalizando a montagem da estrutura de piso.

Após a montagem da estrutura de piso, observou-se uma alteração diminuta das dimensões voltadas à instalação dos painéis de piso, ocasionada por pequenos desencontros entre as peças e que acarretaria erros de instalação caso esses painéis fossem fabricados seguindo as dimensões padronizadas do projeto. Assim, optou-se por realizar a medição de cada local de instalação dos painéis para fabricar os componentes com menor margem de erro na instalação. Com os painéis impressos em dimensões personalizadas, foi realizada a instalação do piso, de modo a encaixar cada painel em seu local específico entre as vigas, como pode ser observado na Figura 82.

Figura 82 - Sequência de imagens - processo de instalação do piso – Casa Standard.

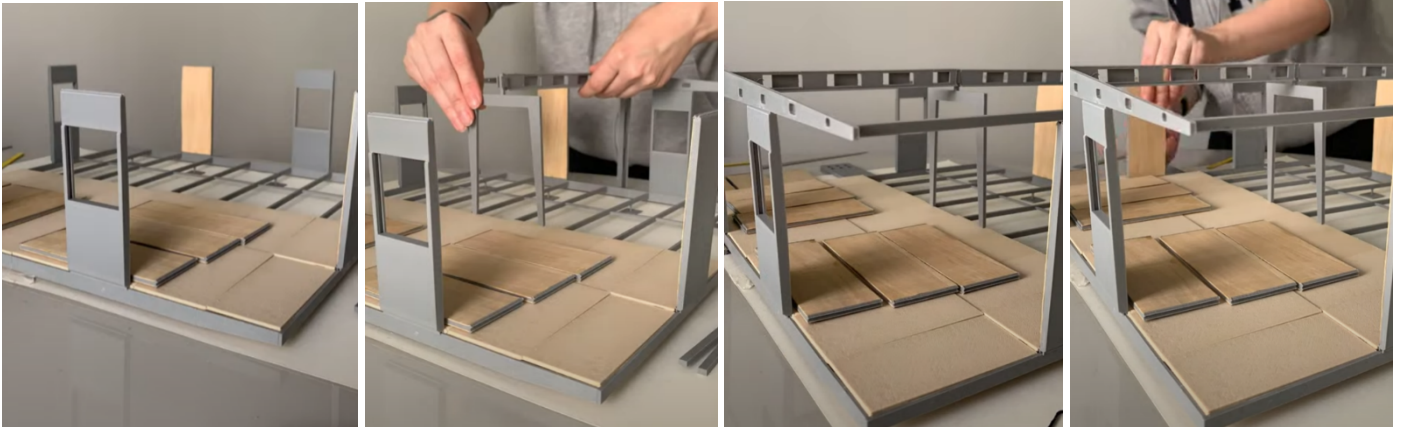


Fonte: arquivo da autora (2025).

5. Posicionamento inicial de dois painéis de vedação vertical nas extremidades, que serviram de apoio estrutural para as etapas seguintes;

6. Montagem do pórtico central e fixação das vigas de cumeeira nas vigas da extremidade;
7. Instalação das vigas laterais longitudinais de cobertura, conectadas às extremidades das vigas de extremidade que formam os oitões;

Figura 83 - Imagens referentes ao processo de instalação da estrutura central – Casa Standard.



Fonte: arquivo da autora (2025).

8. Instalação dos painéis de vedação vertical restantes, incluindo painéis de porta e painéis de janela, acompanhados dos perfis de conexão;
9. Instalação final dos painéis de cobertura, completando a edificação.

O resultado (Figura 84) foi um modelo reduzido fiel ao sistema construtivo de Jean Prouvé, que permitiu compreender a lógica modular da obra e evidenciar as relações entre prototipagem e pré-fabricação, com peças impressas de forma seriada, ajustes dimensionais para garantir precisão de montagem e racionalidade construtiva.

Figura 84 - Sequência de imagens – Modelo reduzido Casa Standard.





Fonte: arquivo da autora (2025).

A análise do processo de montagem planejado por Prouvé para a Casa Standard em comparação com o executado no modelo reduzido evidencia correspondências e adaptações, conforme apresentado no Quadro 13.

Quadro 13 - Comparação entre os processos de montagem – Casa Standard.

Etapa do processo de montagem definido por Jean Prouvé	Adaptação necessária para o modelo reduzido
1. Montagem da estrutura de piso sobre bases metálicas ou laje de concreto;	Foi necessário inverter a ordem de fixação, sendo as bases metálicas conectadas à estrutura de piso. Além disso, a instalação das vigas de piso foi subdividida em três etapas.
2. Fixação do pórtico central, estabilizado por chumbadores;	O pórtico central só pôde ser instalado após a fixação dos painéis de vedação vertical nas extremidades.
3. Instalação das vigas de cumeeira, içadas com auxílio dos oitões;	-
4. Apoio inicial da cobertura sobre dois painéis de vedação vertical em cada fachada, garantindo contraventamento;	-
5. Instalação das vigas laterais superiores conectadas aos oitões;	-
6. Montagem dos painéis de cobertura;	Os painéis de vedação vertical restantes foram instalados antes da cobertura, para garantir estabilidade do modelo reduzido.
7. Instalação dos painéis de vedação vertical internos e externos (cegos, de portas e de janelas);	
8. Fixação final das juntas com Isodrite e colocação de dutos elétricos;	Etapa não realizada no modelo reduzido.

Legenda:

- Etapas realizadas como o proposto por Jean Prouvé
- Etapas com adaptações necessárias para o modelo reduzido

Fonte: elaborado pela autora (2025).

Embora a ordem geral tenha sido preservada, com a composição da estrutura de piso, montagem do pórtico central, instalação das vigas de cumeeira e laterais, posicionamento dos painéis de vedação vertical e finalização com os painéis de cobertura, alguns ajustes foram realizados no protótipo devido à escala reduzida e às limitações construtivas. No modelo, foi

necessário conectar as bases metálicas às vigas de piso antes do fechamento do quadro estrutural, instalar dois painéis de vedação nas extremidades como apoio estrutural, e posicionar manualmente os demais painéis de vedação, incluindo portas e janelas, com os perfis de conexão. Além disso, a sequência de colocação das vigas e painéis de cobertura foi ajustada para garantir estabilidade durante a montagem.

Essas diferenças evidenciam como o trabalho manual e a experimentação em escala reduzida, aliados à impressão 3D de componentes, permitem compreender a lógica construtiva de Prouvé de forma prática. Embora realizada em uma escala reduzida, a modelagem e montagem do protótipo reproduzem, de maneira análoga, os processos que seriam empregados em uma produção industrial contemporânea, possibilitando analisar as adaptações necessárias e a viabilidade construtiva de seus sistemas em diferentes contextos.

3.3. CASA PARA MELHORES DIAS – 1956

A Casa para Melhores Dias foi projetada por Jean Prouvé em 1956, a pedido do Abbé Pierre e da Associação Emmaüs, como resposta à grave crise habitacional que assolava a França após os rigorosos invernos do pós-guerra. O projeto tinha como premissa oferecer uma solução habitacional rápida, econômica e de montagem simplificada, garantindo melhores condições de habitabilidade para populações em situação de vulnerabilidade.

Inspirada na experiência da casa “Alba” (1952–1953), desenvolvida em Maxéville, a Casa para Melhores Dias foi concebida em apenas seis semanas, com a colaboração de uma equipe reduzida. Tratava-se de uma habitação compacta, equivalente a um apartamento de cerca de 57 m², pensada para ser produzida em série segundo princípios industriais. Seu protótipo foi construído e exposto ainda em 1956 no *Salon des Arts Ménagers*, em Paris, dentro de uma campanha solidária mobilizada por Abbé Pierre, o que conferiu grande visibilidade ao projeto.

3.3.1. Compreensão projetual: transferência de informações para o modelo reduzido

Foram utilizados como referência principal para o estudo projetual desta obra os desenhos de Jean Prouvé disponíveis em Sulzer (2008) e no website oficial do acervo de Jean Prouvé (Jean Prouvé SAS, 2024). Além disso, foi necessário ampliar o estudo por meio de vídeo de remontagem da obra realizada pela *Galerie Patrick Seguin* para compreensão de aspectos não tratados em projetos e documentos textuais passíveis de serem consultados. Também foi

tomado como base para análise da composição interna dos painéis de vedação vertical os detalhes construtivos de obras posteriores de Jean Prouvé, disponíveis em Sulzer (2008), que foram desenvolvidas em experimentação contínua a partir da Casa para Melhores Dias, como uma sequência de casa de férias.

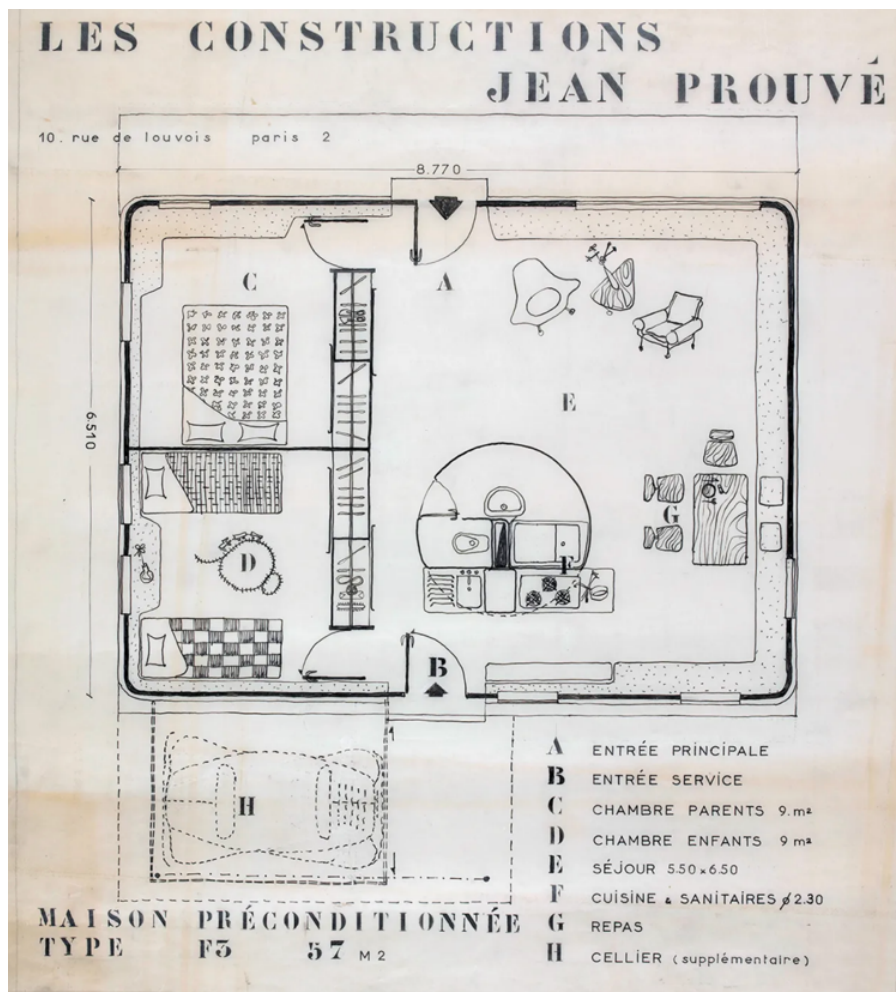
a) Sistema construtivo:

O sistema construtivo desenvolvido na Casa para Melhores Dias combina elementos em concreto pré-moldado, madeira compensada e componentes metálicos, reafirmando a busca de Prouvé por soluções mistas que unissem racionalidade estrutural, rapidez construtiva e conforto ambiental.

A edificação se inicia com uma **estrutura de piso** composta por uma **laje maciça em concreto** de dimensões 8,77 x 6,51 m e com cantos arredondados, compondo a forma da edificação. Em conjunto com a laje, foram desenvolvidas “**muretas**” de concreto pré-moldado, que possuem função de apoio para os painéis de vedação vertical externos, além de servirem como mesas ou bancos em um layout pré-determinado para a edificação.

Os ambientes que compõem a Casa para Melhores Dias são setorizados de acordo com a estrutura principal da edificação e pré-determinados pela instalação das muretas de concreto, que também delimitam alguns usos. Como pode ser observado na Figura 85, os ambientes foram organizados em: acesso principal, acesso de serviços, quarto do casal, quarto dos filhos, sala de estar, cozinha e sanitários, sala de jantar, e garagem (externa à edificação).

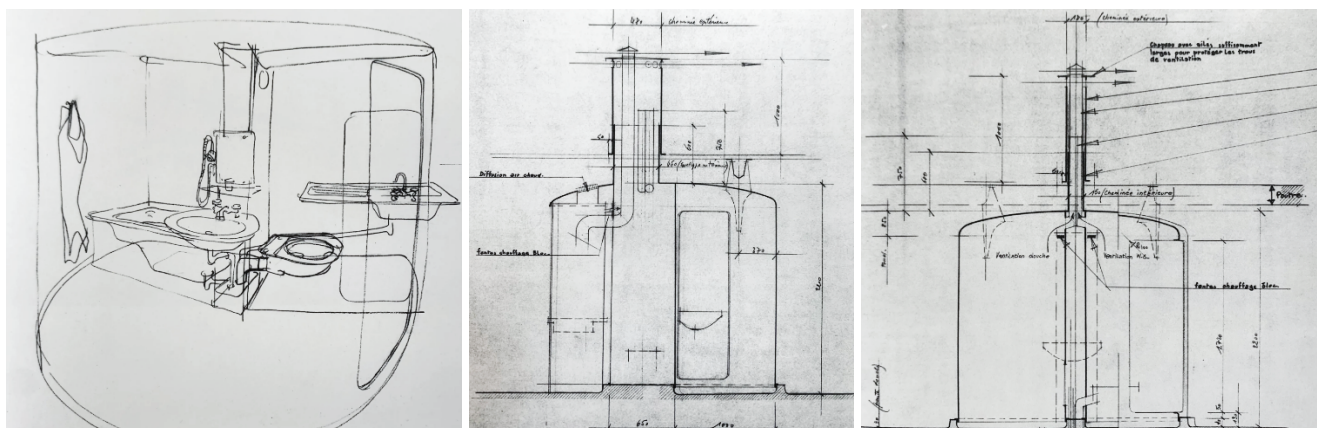
Figura 85 - Planta com layout – Casa para Melhores Dias.



Fonte: Centre Pompidou, MNAM-CCI, Dist. RMN-Grand Palais. Disponível em:
<https://www.jeanprouve.com/fiche/1956-4>. Acesso em: 24 ago. 2025.

A estrutura principal tem como componente central um **núcleo hidráulico** portante, uma estrutura metálica cilíndrica projetada e desenvolvida por Jean Prouvé (Figura 86). Este elemento é instalado de forma descentralizada e desempenha papel estrutural e funcional, ao abrigar as instalações de cozinha e sanitário e organizar ao seu redor os ambientes de estar e repouso. A concentração dos sistemas técnicos em um único módulo simplifica a logística de montagem e assegura racionalidade na manutenção e economia de materiais.

Figura 86 - Projeto núcleo hidráulico – Casa para Melhores Dias.



Fonte: Sulzer (2008).

Vinculada ao núcleo hidráulico, há uma **viga central** em chapa de aço dobrada e de seção em “V” com suas extremidades em seção descontínua, apoiando-se pontualmente nos painéis de vedação vertical das extremidades da construção. A viga é o elemento principal de suporte dos componentes de cobertura, compostos pelos **painéis Rousseau** em madeira lamelada cruzada e pelos **painéis de cobertura** em perfil metálico.

Os **painéis de vedação vertical** da Casa para Melhores Dias foram desenvolvidos com o diferencial de possuírem tipologia de canto curvo por meio da moldagem a vapor, que diminui quinas e juntas no subsistema de vedação. Esses painéis possuem configuração sanduíche, com chapa de madeira compensada nas faces interna e externa do painel, e camada intermediária em material isolante. Por meio de imagens e vídeo de remontagem da obra, foram identificados tamanhos padronizados para os painéis de vedação vertical, definidos dependendo do local de instalação na obra, e com tipologia específica para painel de janela e para painel de porta. Suas extremidades de conexão lateral, superior e inferior são confeccionadas em chapa metálica dobrada, garantindo maior flexibilidade de montagem e desmontagem ao subsistema.

O painel de porta e os painéis de vedação vertical internos possuem maior dimensão vertical, acompanhando o pé-direito da edificação, pois são instalados diretamente sobre o piso de concreto, enquanto os demais painéis são instalados sobre as muretas de apoio, que afastam os painéis do solo, como pode ser observado na Figura 87. Além disso, também são utilizadas aberturas amplas em vidro de diferentes dimensões, que compõem o conjunto da obra e garantem boa iluminação interna.

Figura 87 - Fotos da reconstrução – Casa para Melhores Dias.
Vista externa – juntas invisíveis entre os painéis; b) vista interna – juntas visíveis entre os painéis.



Fonte: Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1956-5>. Acesso em: 25 ago. 2025.

O **perfil de conexão** dos painéis de vedação vertical da Casa para Melhores Dias foi desenvolvido em chapa metálica e possui seção em “T” de pequenas dimensões, de modo a ficar quase invisível na face externa da edificação (Figura 87-a) e permitir a visualização interna das peças de fixação e acabamento (Figura 87-b).

No Quadro 14 são elencados os componentes do sistema construtivo desenvolvido para a Casa para Melhores Dias, com quantitativo e materiais utilizados.

Quadro 14 - Componentes do sistema construtivo – Casa para Melhores Dias.

Componente	Quantidade	Material
Piso	1	Concreto
Mureta de suporte	12	Concreto
Suporte núcleo hidráulico	1	Concreto
Núcleo hidráulico	1	Aço
Viga central	1	Aço
Painel de vedação vertical retilíneo 1	9	Madeira compensada e alumínio
Painel de vedação vertical retilíneo 2	2	Madeira compensada e alumínio
Painel de vedação vertical retilíneo 3	1	Madeira compensada e alumínio
Painel de vedação vertical de canto curvo	4	Madeira compensada e alumínio
Painel de porta externa	1	Madeira compensada e alumínio
Painel de porta interna	2	Madeira compensada e alumínio

Painel de janela veneziana	6	Madeira compensada e alumínio
Painel de janela de vidro	3	Alumínio e vidro
Perfil de fixação inferior dos painéis de vedação vertical	4	Aço
Perfil de fixação superior dos painéis de vedação vertical	4	Aço
Perfil de conexão dos painéis de vedação vertical	23	Alumínio
Painel Rousseau de cobertura	6	Madeira industrializada
Telha de cobertura	15	Alumínio

Fonte: elaborado pela autora (2025).

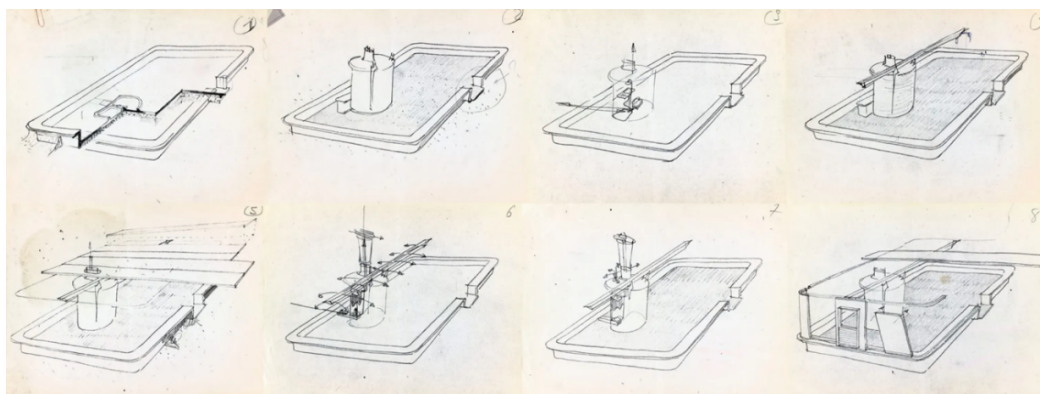
b) Montagem:

O processo de montagem da Casa para Melhores Dias foi pré-determinado por Jean Prouvé a partir de desenhos esquemáticos (Figura 88) e de imagens publicadas para divulgação da obra (Figura 89). A primeira etapa de montagem consiste na execução do piso em concreto, seguido pelas muretas de apoio. O núcleo hidráulico é então instalado sobre uma base circular de concreto alocada sobre o piso, em localização descentralizada e determinando os ambientes que compõem a edificação.

Em sequência, a viga de cumeeira é instalada sobre os apoios no núcleo hidráulico, mantendo-se estabilizada com a instalação de alguns perfis metálicos de fixação e conexão dos painéis de vedação vertical. Com os perfis metálicos instalados, passa-se à etapa de composição da cobertura, primeiramente com os painéis Rousseau e em seguida com a colocação dos painéis metálicos de cobertura.

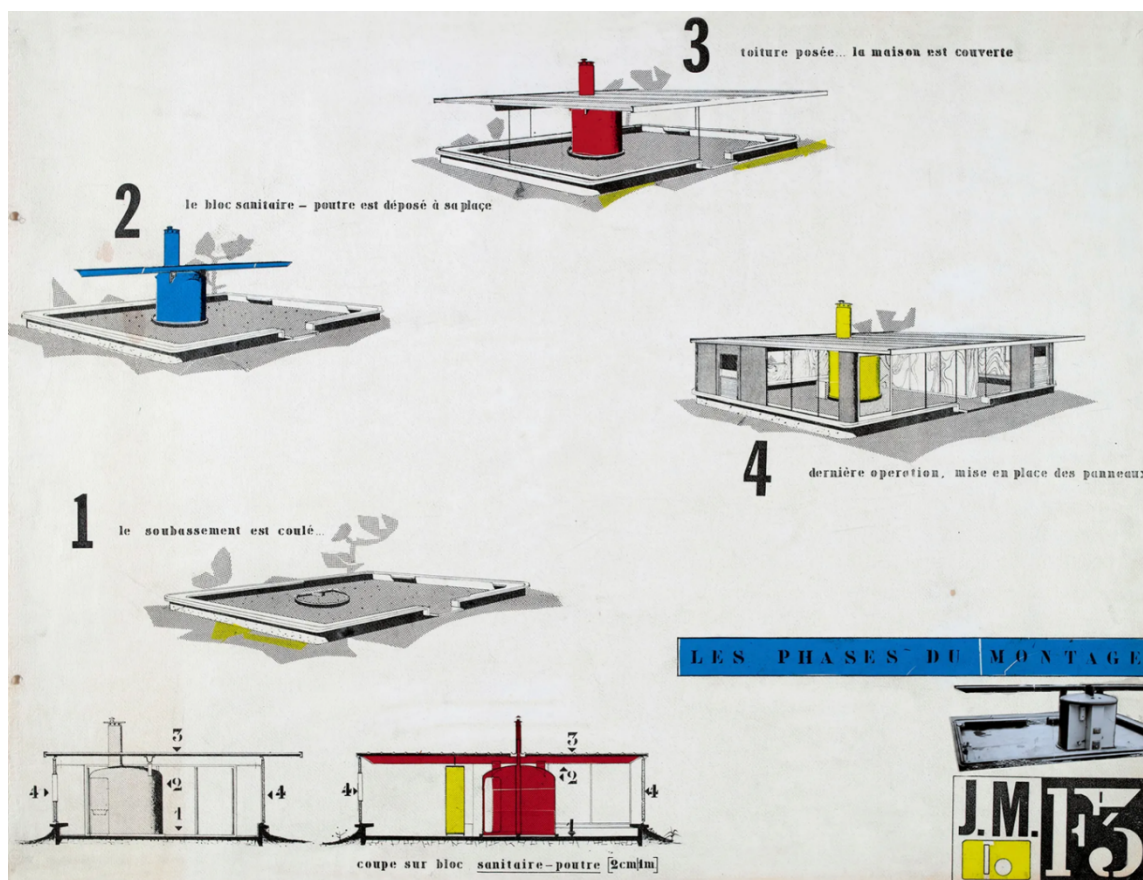
A instalação dos painéis de vedação vertical é indicada como última etapa da construção. Os painéis são instalados com uma leve inclinação, para fixação inferior e superior nos perfis metálicos, e o acabamento é realizado pelos perfis de conexão em “T”.

Figura 88 – Croquis de estudo do processo de montagem – Casa para Melhores Dias.



Fonte: Fonds Jean Prouvé. Disponível em: <https://www.jeanprouve.com/fiche/1956-4>. Acesso em: 24 ago. 2025.

Figura 89 - Divulgação processo de montagem – Casa para Melhores Dias.



Fonte: Centre Pompidou, MNAM-CCI. Dist. RMN-Grand Palais. Disponível em:
<https://www.jeanprouve.com/fiche/1956-4>. Acesso em: 24 ago. 2025.

Em um segundo estudo do processo de montagem da obra, utilizando como referência o vídeo da remontagem da Casa para Melhores Dias realizada pela Galerie Patrick Seguin, foram observados aspectos que distinguem a montagem da obra real daquela proposta por Jean Prouvé. As primeiras etapas, de confecção do piso em concreto, instalação das muretas de apoio e do núcleo hidráulico são mantidas, entretanto há diferenças na ordem de instalação dos painéis de vedação vertical e da cobertura.

Como pode ser observado na Figura 90, após a instalação da viga de cumeeira são instalados todos os perfis de fixação (superiores e inferiores) e de conexão dos painéis de vedação vertical, para então serem instalados os painéis de vedação vertical. Estes, instalados antes dos componentes da cobertura, possuem função de apoiar os painéis Rousseau em conjunto com a viga, garantindo maior estabilidade no processo de montagem final da edificação.

Figura 90 – Sequência de imagens referentes ao processo de remontagem – Casa para Melhores Dias.

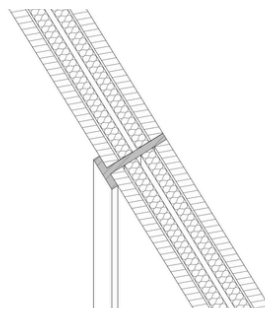


Fonte: Galerie Patrick Seguin. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=C8-9JaYnITo>. Acesso em: 26 ago. 2025.

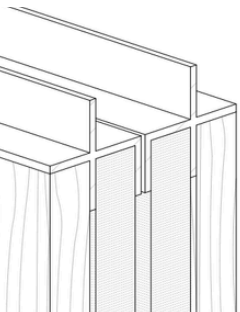
A etapa de estudo e compreensão projetual da Casa para Melhores Dias, intensificada pela prática do redesenho, possibilitou a elaboração de uma ficha técnica (Figura 91), que reúne os principais componentes e elementos construtivos do sistema desenvolvido por Jean Prouvé. Essa sistematização tornou-se fundamental para consolidar o entendimento do processo construtivo, ao mesmo tempo em que orientou a análise desenvolvida no decorrer do próximo capítulo.

Figura 91 - Ficha técnica obra 3.

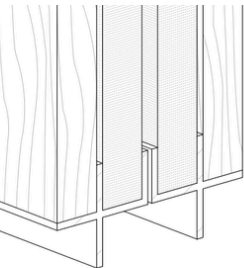
Detalhes construtivos



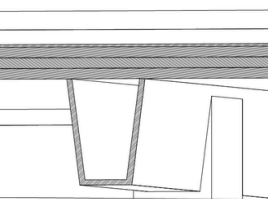
a - conexão painéis adjacentes



b - fixação superior dos painéis



c - fixação inferior dos painéis

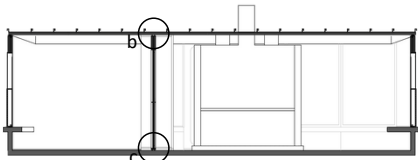


d - detalhe viga central

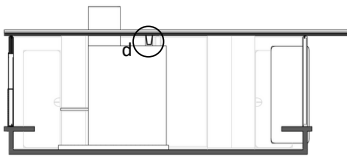
3 - Casa para melhores dias

França, 1956

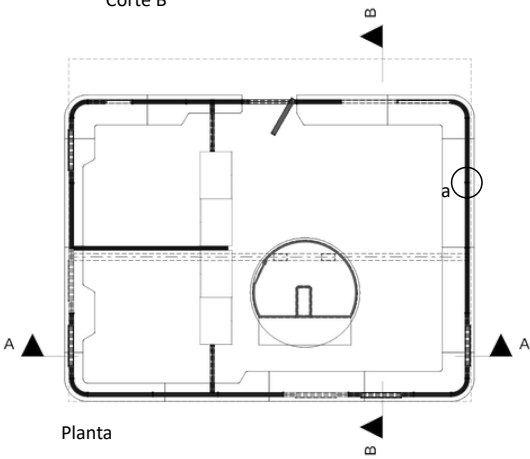
A Casa para Melhores Dias foi desenvolvida por Jean Prouvé em resposta a uma solicitação do Abade Pierre para a construção de casas pré-fabricadas para a população, visando utilizar a industrialização da construção como solução para a crise habitacional da época. Foi solicitada uma construção rápida, de 50 m², com componentes estruturais metálicos e painéis de vedação vertical metálicos ou de madeira, pré-fabricados. O sistema construtivo inclui um núcleo sanitário metálico e uma viga metálica central como estrutura principal, base de piso em concreto e vedações em madeira, sendo a cobertura em painéis Rousseau e telhas metálicas, e as vedações verticais em painéis sanduíche de cantos curvos em madeira compensada. De construção rápida, a casa foi finalizada em seis semanas desde os primeiros esboços.



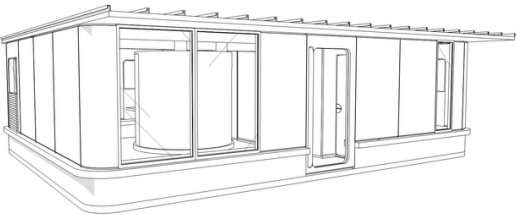
Corte A



Corte B



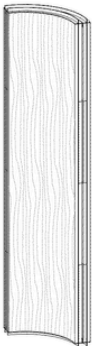
Planta



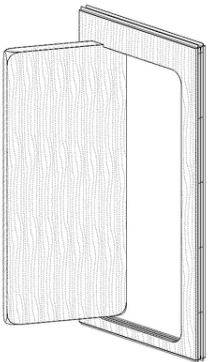
Painéis de vedação vertical



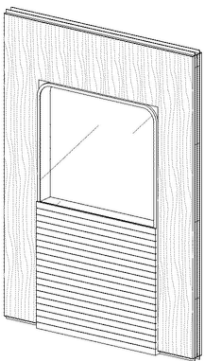
Painel cego



Painel de canto curvo



Painel porta



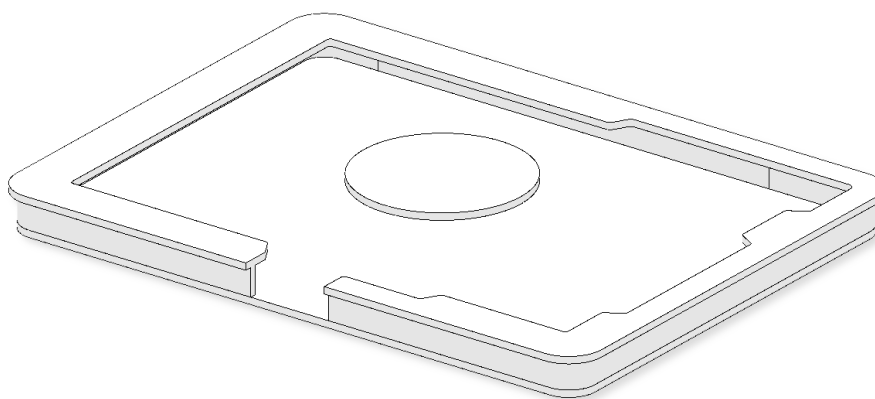
Painel janela

3.3.2. Modelagem tridimensional como etapa intermediária da análise construtiva

A modelagem da Casa para Melhores Dias representou um desafio particular devido à escassez de informações técnicas completas sobre a obra. Por isso, além dos desenhos e croquis de Jean Prouvé (Sulzer, 2008; Jean Prouvé SAS, 2024), foi necessário recorrer a imagens e vídeos de reconstrução, especialmente da remontagem organizada pela *Galerie Patrick Seguin*, a fim de compreender dimensões, encaixes e soluções construtivas.

O processo iniciou-se pela **laje de piso em concreto**, que apresenta cantos arredondados, característica marcante da forma arquitetônica da obra. Para sua representação no Archicad, utilizou-se a ferramenta “**laje**”, configurada com o material concreto e dimensões originais. A seguir, foram modeladas as **muretas pré-moldadas em concreto**, apoiadas sobre a laje e responsáveis tanto pela sustentação dos painéis de vedação vertical quanto pela delimitação espacial interna. Como cada mureta possui geometria específica e funções distintas, foi necessário recorrer às imagens de reconstrução (Figura 90) para determinar com precisão sua configuração e composição final (Figura 92).

Figura 92 - Modelagem componentes de concreto – Casa para Melhores Dias.

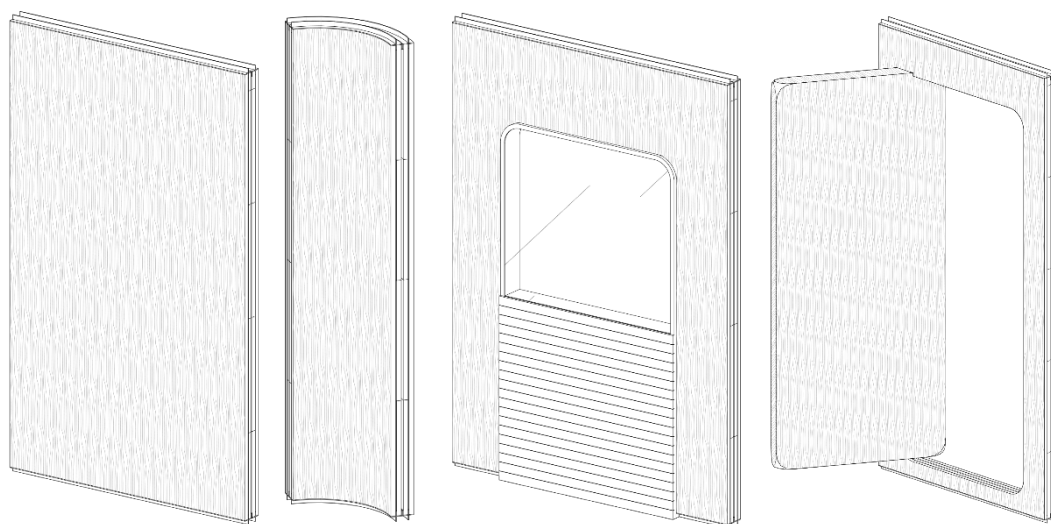


Fonte: elaborado pela autora (2025).

Com a curvatura dos cantos determinada na modelagem dos elementos em concreto, passou-se ao desenvolvimento dos **painéis de vedação vertical** (Figura 93), utilizando a ferramenta “perfil complexo” do *software*. Assim, foi possível elaborar as camadas do painel sanduíche com os materiais especificados e modelar de forma fiel os encaixes metálicos superior e inferior do painel. A composição foi utilizada com a ferramenta “parede”, possibilitando a criação de planos de diferentes dimensões, ângulos e formas, o que facilita a elaboração do painel curvo.

Para a modelagem dos componentes de esquadria foi necessário desenhar a esquadria criada por Jean Prouvé com linhas de documentação no Archicad para depois transformá-lo em modelo 3D e utilizá-lo como janela ou porta, devido à complexidade formal. Assim foram criadas a janela guilhotina com veneziana no peitoral, com arestas arredondadas – desenvolvida pelo profissional em outros projetos – e a porta também com arestas curvas, com a mesma composição de materiais dos painéis de vedação vertical.

Figura 93 - Modelagem painéis de vedação vertical – Casa para Melhores Dias.

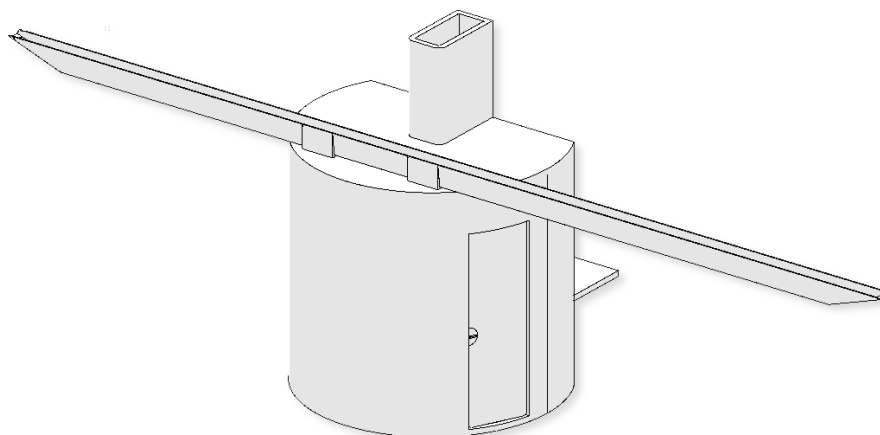


Fonte: elaborado pela autora (2025).

Em seguida, foi modelado o **núcleo hidráulico**, utilizando como referência os croquis e detalhes de projeto de Jean Prouvé. Com a utilização das ferramentas de “parede” e “laje” do Archicad, foi possível criar o volume de cilindro do núcleo, com abertura para a porta e criação de duto vertical destinado à ventilação. O conjunto de peças modeladas foi transformado em “morph”, característica que possibilita a criação de uma peça única a partir das anteriores já modeladas, e possíveis ajustes formais.

Para finalizar a modelagem da estrutura metálica, foi modelada a **viga de cobertura**. O modelo específico projetado por Prouvé foi criado em “perfil complexo” e utilizado com a ferramenta “viga” do *software*, o que possibilitou a modificação das extremidades da viga em seção descontínua, como no projeto. Com a viga criada, foram desenvolvidas suas peças de suporte anexadas ao núcleo hidráulico, de forma a encaixarem perfeitamente com a implementação de “operações de elementos sólidos” disponíveis no Archicad. O conjunto da estrutura metálica da obra pode ser observado na Figura 94.

Figura 94 - Modelagem estrutura principal – Casa para Melhores Dias.



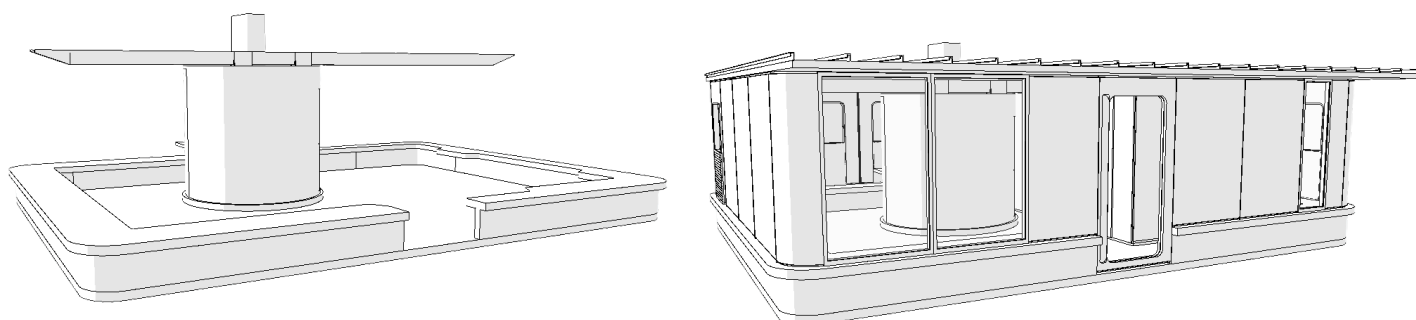
Fonte: elaborado pela autora (2025).

O **painel Rousseau**, empregado na cobertura da edificação, foi modelado no Archicad como um painel de CLT, utilizando três camadas de madeira lamelada cruzadas. Já os **painéis de cobertura** foram desenvolvidos seguindo a modulação da obra e as referências das obras 1 e 2 já desenvolvidas, com os encaixes e dobras de chapa metálica desenvolvidos por Jean Prouvé.

Por fim, foram modelados os **perfis de conexão e de fixação** dos painéis de vedação vertical, com as ferramentas de “ pilar ” e “ viga ”, respectivamente. Esses componentes foram criados a partir da configuração de parâmetros de elementos predefinidos do software, pois possuem seções tradicionais, em “ T ” e em “ C ”.

Com todos os componentes prontos, foi possível realizar a montagem da edificação por completo. Iniciando a ordem de montagem, foi elaborada a estrutura de piso e central, e em sequência estrutura de cobertura da construção, para depois realizar o fechamento com os painéis de vedação verticais e horizontais (Figura 95).

Figura 95 - Modelagem final - Casa para Melhores Dias.



Fonte: elaborado pela autora (2025).

Ao final da etapa de modelagem 3D foram compiladas as informações necessárias para a fabricação e prototipagem da obra, com os dados resumidos em ficha técnica (Figura 91), que apresenta a Casa para Melhores Dias com seus principais detalhes construtivos. Esse material foi utilizado como base para organização dos materiais para prototipagem, possibilitando a análise em sequência.

3.3.3. As relações entre a prototipagem e a pré-fabricação

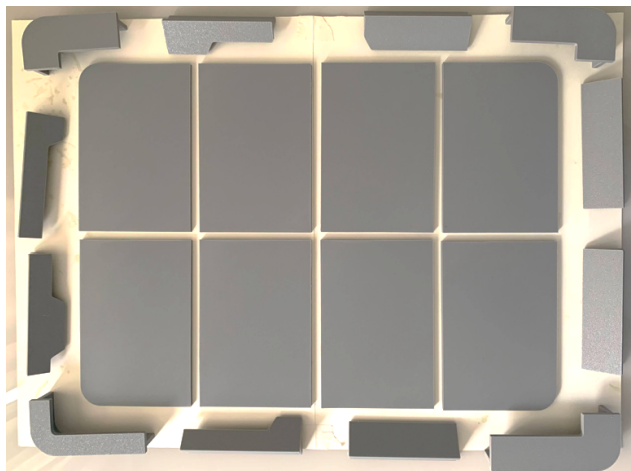
Nesta terceira experiência de prototipagem, a familiaridade com a impressão 3D permitiu explorar novas possibilidades, como a fabricação de peças curvas impressas na orientação vertical. Esse processo trouxe especificidades técnicas, sobretudo pela delicadeza e reduzida dimensão de muitos componentes, que exigiram maior cuidado na manipulação e na pós-produção. Além disso, a etapa de prototipagem demandou ajustes complexos em alguns elementos modelados no Archicad para viabilizar a confecção do painel de janela, que possui cantos curvos na esquadria e veneziana. A impressão 3D, nesse contexto, mostrou-se essencial para traduzir com precisão as soluções construtivas propostas por Jean Prouvé para o modelo reduzido em escala 1:20, reforçando o papel da prototipagem como ferramenta de investigação e compreensão projetual.

a) Fabricação

Materiais utilizados: para a impressão 3D dos componentes da Casa para Melhores Dias, foi utilizado filamento PLA PLUS Cinza da marca GTMax3D, tanto para os componentes metálicos quanto para os de concreto. A madeira compensada foi representada pela utilização de lâmina de madeira Pau Marfim e os painéis Rousseau por uma placa de aglomerado de 3 mm. Para fixação das peças, foi utilizada cola instantânea.

Ordem de fabricação: a etapa de prototipagem da Casa para Melhores Dias iniciou-se com a impressão 3D dos componentes de piso e de suporte dos painéis de vedação vertical, compostos pela laje de piso e muretas de concreto. A laje é originalmente concretada no local de implantação da obra, em um único bloco, porém para a execução do modelo reduzido em escala 1:20, foi necessário subdividi-la em 8 partes (Figura 96), em razão da dimensão máxima da mesa de impressão. Já as muretas de suporte dos painéis são originalmente pré-fabricadas e montadas no local, o que possibilitou a impressão fiel às suas dimensões na escala estipulada.

Figura 96 - Organização de peças estruturantes do piso – Modelo reduzido Casa Para Melhores Dias.



Fonte: arquivo da autora (2025).

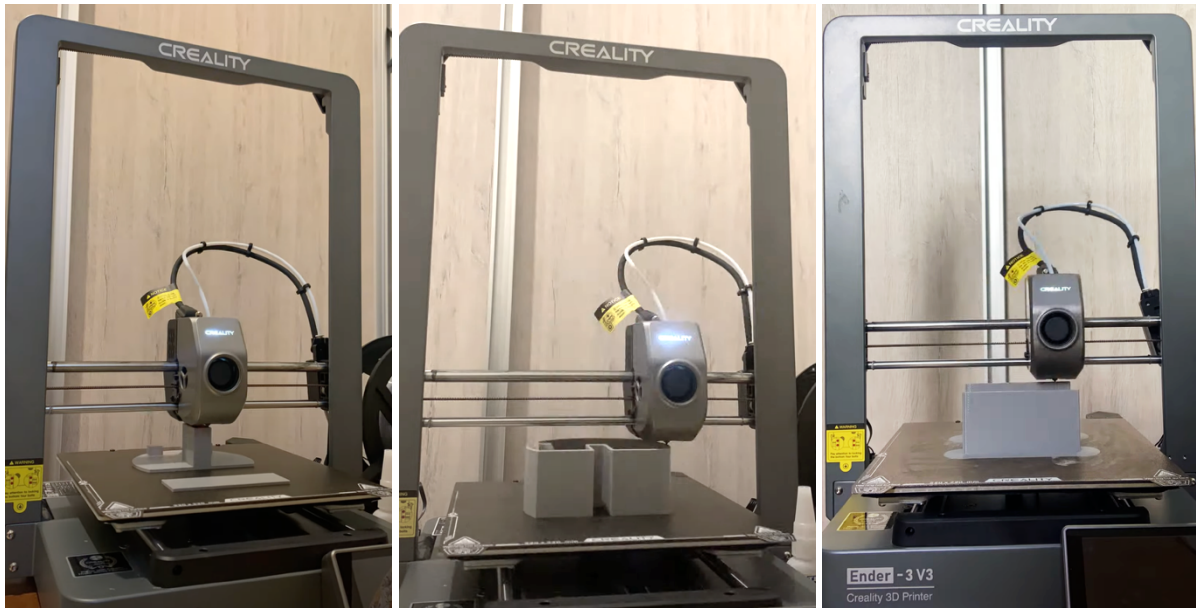
As peças que compõem a **laje de piso** foram fabricadas individualmente, demandando oito etapas de impressão 3D. Em seguida, as **muretas de apoio** foram fabricadas em três etapas de impressão, organizadas de acordo com o local de instalação dos componentes: primeiro, as muretas da lateral esquerda, em seguida da fachada posterior, e por fim a lateral direita.

Posteriormente, passou-se à fabricação do **núcleo hidráulico**, que demandou três etapas de impressão 3D e foi fabricado de forma seccionada: primeiro, foram impressos o topo do núcleo com os suportes da viga central, e a bancada, em seguida o volume do núcleo hidráulico, e por fim a sua base circular. A **viga central** foi fabricada em seguida, de forma seccionada em razão de sua dimensão total ser maior que a mesa de impressão. As partes foram unidas posteriormente, formando o componente.

Os **painéis de vedação vertical** demandaram maior tempo de confecção total. Foi realizado um teste de impressão envolvendo um painel de canto curvo e um painel retilíneo e, após a verificação de qualidade de impressão, foram necessárias outras seis etapas de impressão 3D dos painéis, sendo a última direcionada ao **painel de janela**. Em razão de suas geometrias distintas, os painéis de canto foram impressos em orientação vertical, enquanto os painéis retilíneos foram impressos orientados horizontalmente, garantindo uma fabricação mais rápida.

Figura 97 - Processo de impressão 3D – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.

a) Fabricação topo núcleo hidráulico; b) Fabricação volume núcleo hidráulico; c) Fabricação de painéis de vedação vertical retilíneos.



Fonte: arquivo da autora (2025).

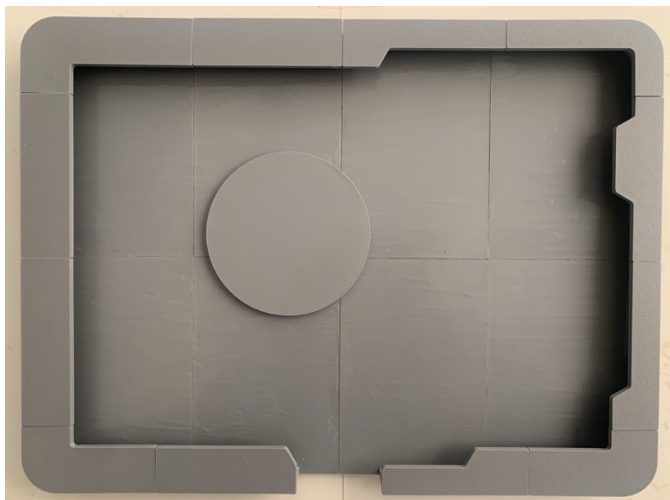
Os **perfis de conexão e de fixação** dos painéis foram os últimos componentes fabricados para o modelo reduzido da Casa para Melhores Dias, demandando duas etapas de impressão 3D de rápida duração.

b) Montagem

Os primeiros componentes montados foram os painéis de vedação vertical, com a colagem das lâminas de madeira sobre as faces dos painéis. Em seguida, as placas que compõem a base de piso foram conectadas, criando o componente inicial para a montagem do modelo reduzido. O processo de montagem buscou seguir a lógica da obra real, com adaptações para a escala:

1. Instalação das muretas de apoio sobre o piso, conectadas lateralmente;
2. Colocação da base circular do núcleo hidráulico, de forma descentralizada sobre o piso (Figura 98);

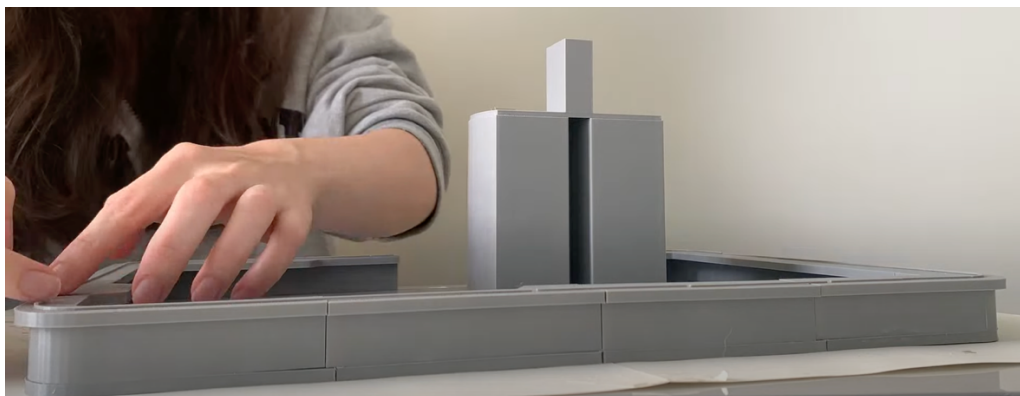
Figura 98 – Montagem dos componentes de concreto – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.



Fonte: arquivo da autora (2025).

3. Montagem do núcleo hidráulico sobre a base de concreto;
4. Instalação dos perfis de fixação inferiores sobre as muretas de apoio (Figura 99);

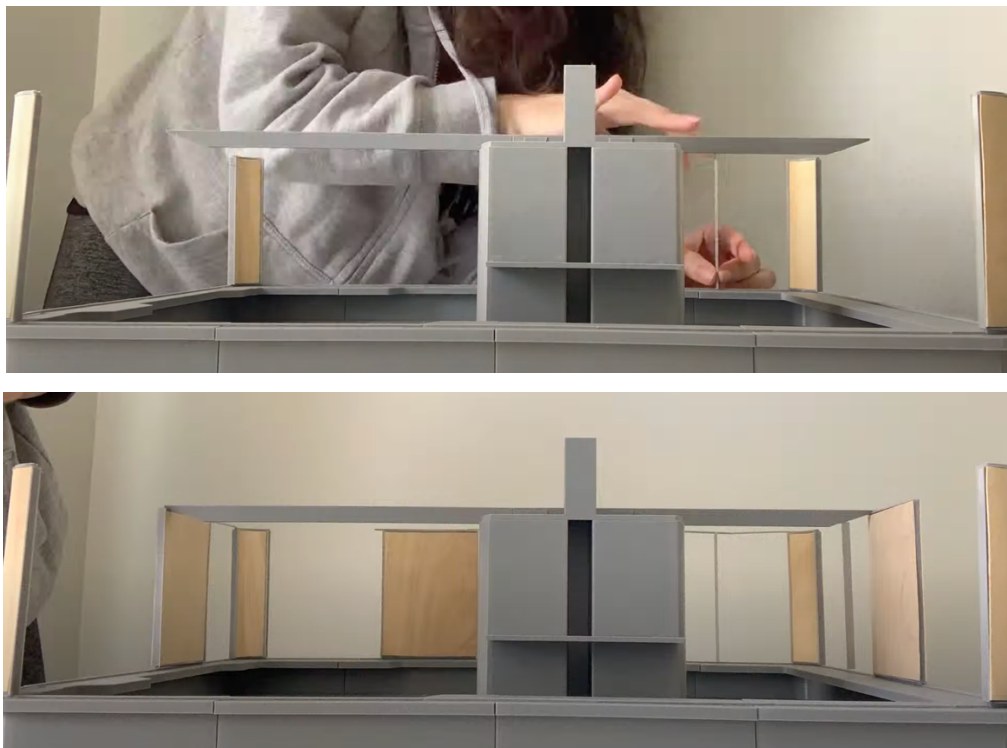
Figura 99 - Instalação perfis de fixação inferiores – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.



Fonte: arquivo da autora (2025).

5. Posicionamento da viga de cobertura sobre o núcleo hidráulico;
6. Instalação inicial dos painéis de canto curvo, seguidos pelos painéis retilíneos e perfis de conexão e fixação superior (Figura 100);

Figura 100 - Instalação dos painéis de vedação vertical – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.

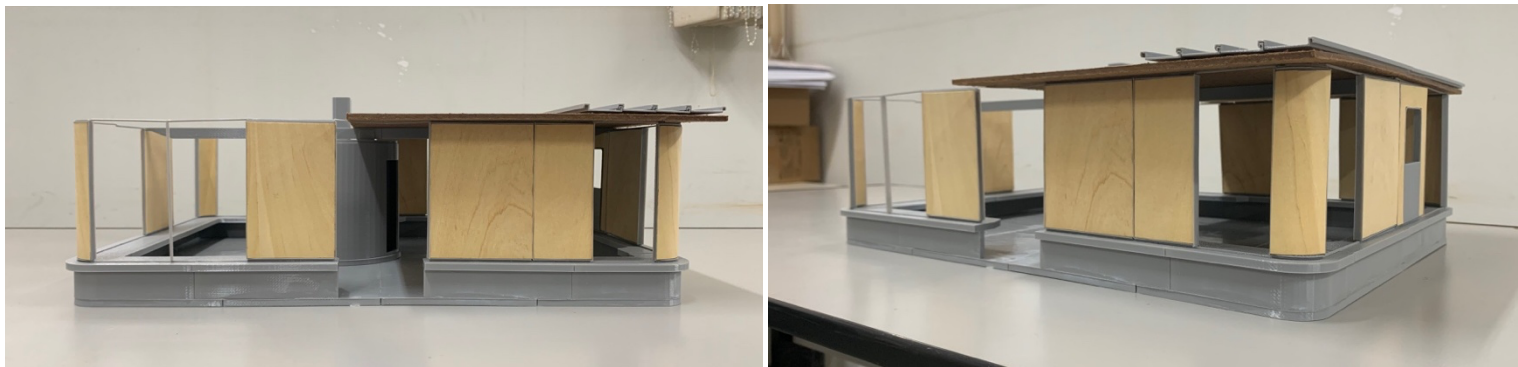


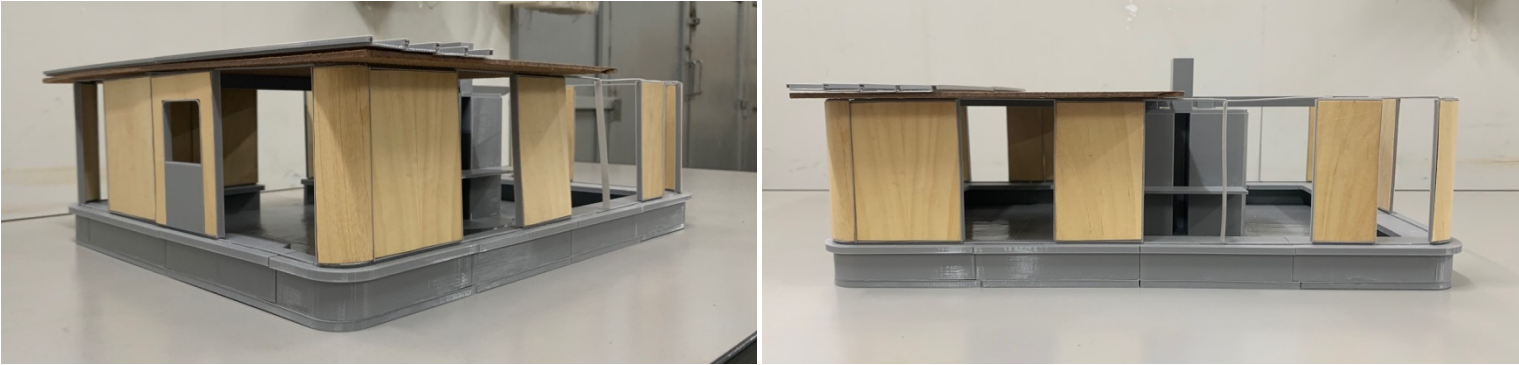
Fonte: arquivo da autora (2025).

7. Com o fechamento vertical concluído, instalação dos painéis Rousseau na cobertura;
8. Finalização da cobertura com a instalação dos painéis metálicos, já conectados entre si por meio dos encaixes pré-determinados.

O resultado (Figura 101) foi um modelo reduzido fiel ao sistema de Prouvé, revelando tanto a viabilidade da pré-fabricação quanto as adaptações necessárias para a escala e a tecnologia de prototipagem por impressão 3D.

Figura 101 - Sequência de imagens – Modelo reduzido Casa para Melhores Dias.





Fonte: arquivo da autora (2025).

A análise do processo de montagem da Casa para Melhores Dias, comparando o procedimento idealizado por Jean Prouvé com aquele executado no modelo reduzido, evidencia tanto convergências quanto adaptações decorrentes da escala e do caráter experimental do protótipo, como pode ser observado no Quadro 15.

Quadro 15 - Comparação entre os processos de montagem – Casa para Melhores Dias.

Etapa do processo de montagem definido por Jean Prouvé	Adaptação necessária para o modelo reduzido
1. Execução do piso em concreto;	-
2. Instalação das muretas de apoio sobre o piso;	-
3. Colocação da base circular de concreto para o núcleo hidráulico, em posição descentralizada;	-
4. Montagem do núcleo hidráulico sobre a base de concreto, definindo a organização dos ambientes;	-
5. Instalação da viga de cumeeira sobre os apoios do núcleo hidráulico, estabilizada com perfis metálicos de fixação e conexão dos painéis de vedação vertical;	Os perfis de fixação e conexão foram instalados em conjunto com os painéis de vedação vertical, não sendo utilizados para estabilização da viga de cumeeira.
6. Instalação dos perfis metálicos superiores e inferiores de fixação e de conexão dos painéis de vedação vertical;	
7. Composição da cobertura: primeiro os painéis Rousseau, depois os painéis metálicos de cobertura;	
8. Instalação dos painéis de vedação vertical, posicionados com leve inclinação para fixação nos perfis metálicos;	A ordem de instalação dos painéis de vedação vertical e da cobertura foi invertida, pois os painéis tiveram função de estabilizar a estrutura de cobertura.

Legenda:

- Etapas realizadas como o proposto por Jean Prouvé
- Etapas com adaptações necessárias para o modelo reduzido

Fonte: elaborado pela autora (2025).

As etapas iniciais, de execução do piso em concreto, instalação das muretas de apoio e posicionamento do núcleo hidráulico, foram mantidas, respeitando a lógica de organização

espacial da edificação. No entanto, no modelo reduzido, os perfis de fixação inferiores e superiores foram instalados concomitantemente aos painéis de vedação vertical, no início do processo, invertendo a sequência original, de modo a garantir estabilidade durante a montagem e permitir o correto encaixe dos painéis de canto curvo e retilíneos. Nesse processo, os painéis de vedação vertical assumiram um papel estrutural fundamental, servindo de apoio para a instalação subsequente da cobertura e assegurando a estabilidade do conjunto até a finalização da edificação. Essa experiência evidencia como o trabalho manual e a prototipagem em escala reduzida permitem compreender a lógica construtiva do profissional, analisar a função estrutural e adaptativa de cada elemento, e simular processos industriais de maneira controlada, fornecendo percepções sobre a aplicabilidade e flexibilidade dos sistemas em diferentes contextos construtivos.

É importante evidenciar que o processo completo de prototipagem dos modelos reduzidos das três obras analisadas demandou aproximadamente 122 horas de impressão 3D e utilizou dois rolos de filamento PLA Cinza e um rolo de PLA Madeira Pinus, ambos de 1 kg cada), incluindo testes de impressão e ajustes necessários.

No mais, o levantamento e a sistematização dos processos de concepção, fabricação e montagem das três obras estudadas permitiram a compreensão de seus princípios construtivos e a lógica projetual empregada por Jean Prouvé. A partir da modelagem e da prototipagem em escala reduzida, foi possível aprofundar o estudo das soluções adotadas, organizando as informações necessárias para fundamentar a etapa seguinte do trabalho. Esse conjunto de descrições constitui, portanto, a base para a análise crítica a ser desenvolvida no capítulo subsequente, no qual as obras foram examinadas em diálogo com o contexto contemporâneo e suas particularidades.

4. EXPLORANDO OS DADOS: ANÁLISE DE APLICABILIDADE NO CONTEXTO ATUAL

O atual contexto relacionado ao desenvolvimento da construção civil é marcado por desafios que extrapolam a dimensão estritamente técnica e exigem uma abordagem integrada entre fatores ambientais, tecnológicos, sociais/culturais e econômicos. A pressão causada pelas mudanças climáticas, pela urbanização acelerada e pela necessidade de reduzir emissões de carbono evidencia a urgência de soluções construtivas mais eficientes em termos de consumo energético, uso racional de recursos naturais e durabilidade dos materiais. Nesse cenário, sistemas construtivos modulares, pré-fabricados e desmontáveis, como os concebidos por Jean Prouvé, podem ser considerados como referências relevantes, ao indicarem caminhos passíveis de adaptação em que racionalidade construtiva, inovação tecnológica e responsabilidade ambiental podem vir a se articular de maneira produtiva.

Entre as soluções mais promissoras desse panorama destaca-se o avanço da construção em madeira, em especial da madeira industrializada como CLT (*Cross Laminated Timber*), LVL (*Laminated Veneer Lumber*), MLC (Madeira Lamelada Colada) e demais técnicas com derivados. Essas técnicas combinam desempenho técnico elevado, menor impacto ambiental e maior capacidade de industrialização, constituindo alternativas estratégicas frente ao uso de recursos minerais e de sistemas convencionais de alta emissão de carbono. A industrialização da construção em madeira aliada à pré-fabricação contribui para processos mais ágeis, padronizados e precisos, ao mesmo tempo em que reduz perdas no canteiro de obras e potencializa a desmontagem e a reutilização dos componentes.

Esse debate também esteve presente no XVIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM¹⁶, cujas discussões ressaltaram a relevância da madeira como material estratégico na transição para modelos construtivos mais sustentáveis, reforçando sua pertinência para diferentes escalas e segmentos, desde o design de objetos e mobiliário, até estruturas de grande porte, verticalizadas ou voltadas a grandes vãos com a adoção de técnicas inovadoras. Essa participação evidencia a inserção deste trabalho em um campo de discussão científica em constante atualização, permitindo relacionar a análise dos sistemas de Jean Prouvé às práticas e pesquisas atuais.

¹⁶ O XVIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM foi realizado entre os dias 05 e 09 de maio de 2025 em Curitiba/PR. O evento contou com palestras nacionais e internacionais, mesas-redondas, feira técnica, concursos e hackaton, além da apresentação de 113 trabalhos científicos. O encontro destacou-se como ambiente de troca de conhecimentos entre academia e mercado, estimulando inovações tecnológicas, o uso sustentável da madeira e o diálogo sobre políticas públicas e normas técnicas.

Nesse horizonte, organismos internacionais como a Organização das Nações Unidas (ONU) e a União Internacional de Arquitetos (UIA) desempenham papéis estratégicos na promoção da sustentabilidade no Ambiente Construído. A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, elaborada pela ONU em 2015, constituiu um marco orientador ao definir os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como diretrizes para enfrentar os desafios globais. Dentre esses objetivos, cinco dialogam diretamente com o presente trabalho: ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura; ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis; ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis; ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima e ODS 17 – Parcerias e Meios de Implementação.

Em consonância com essas diretrizes, a UIA promoveu em 2023 o Congresso Internacional de Arquitetura em Copenhague, que resultou nas chamadas “Lições de Copenhague”. Os dez princípios formulados nesse encontro consolidam orientações para a transformação do Ambiente Construído, reforçando a necessidade de: reutilizar estruturas existentes antes de novos empreendimentos; preservar áreas verdes urbanas; reduzir a exploração de recursos minerais virgens, priorizando a reutilização e o reaproveitamento de materiais; adotar práticas construtivas limpas, com minimização de resíduos; valorizar recursos locais e renováveis; e promover estratégias de captura de carbono como parte fundamental da sustentabilidade.

Nesse sentido, analisar algumas propostas de Jean Prouvé a partir da articulação entre essas diferentes dimensões permite não apenas revisitar sua contribuição histórica, mas também refletir sobre a pertinência e atualidade de suas ideias frente às condições e desafios da contemporaneidade. Seus sistemas construtivos, concebidos há mais de meio século, dialogam diretamente com os debates atuais sobre pré-fabricação, racionalização projetual e construtiva, versatilidade do material madeira e eficiência do sistema construtivo quanto ao reuso de peças e componentes, apontando possibilidades de inovação alinhadas aos objetivos globais de sustentabilidade.

4.1. AS RESPOSTAS ALCANÇADAS POR MEIO DA PROTOTIPAGEM

A análise das três obras selecionadas e indicadas no Capítulo 3: a Construção desmontável para vítimas de guerra (1944), a Casa Standard (1950) e a Casa para Melhores Dias (1956), possibilitou compreender particularidades relacionadas à experimentação no pensamento construtivo de Jean Prouvé, com a consolidação de algumas técnicas

desenvolvidas e o aprimoramento da síntese dos elementos construtivos. O intervalo de seis anos entre cada projeto evidencia uma trajetória marcada por permanências e transformações, revelando tanto a busca por maior racionalização quanto o esforço em garantir adaptabilidade e desempenho dos sistemas mistos.

Ao conjugar modelagem digital 3D e prototipagem em escala reduzida, identificaram-se avanços, limites e lacunas nas informações disponíveis sobre cada sistema construtivo desenvolvido para as obras analisadas, especialmente os subsistemas de vedação vertical. Além disso, foram evidenciadas dificuldades de replicação da ordem de montagem e desmontagem dos elementos, da escala real para o modelo reduzido, para compreensão das similitudes e diferenças de montagem para a obtenção do protótipo final. Em escala reduzida, a inserção de painéis e encaixes tornou-se definitiva e restrita, dificultando a reversibilidade (desmontagem), ainda que esse fosse um princípio fundamental nos projetos originais de Prouvé. Essa constatação não apenas revelou limites metodológicos da representação em escala reduzida, mas também reforçou a importância da lógica sequencial no sistema construtivo, em que a ordem das operações influencia diretamente a viabilidade de desmontagem.

Ao longo da prototipagem da **Construção desmontável para vítimas de guerra** foi possível verificar com mais precisão a falta de algumas informações importantes nos documentos consultados. Não havia descrição da ordem de instalação dos painéis de vedação vertical, exigindo a elaboração de um gabarito para padronizar a sequência de montagem. Essa prática permitiu compreender a lógica construtiva dos painéis, baseada em ripas de madeira levemente abauladas que conferem estabilidade ao conjunto e na diferenciação entre ripas superiores, intermediárias e inferiores, articuladas a montantes laterais e centrais. A face interna dos painéis apresenta acabamento diferenciado, com função estética, promovendo aspecto mais acolhedor ao abrigo.

Embora tenha sido utilizada a impressão 3D para a fabricação das peças do modelo reduzido, devido ao grau de complexidade e detalhes das mesmas, o nível de atividades manuais para a elaboração do protótipo foi elevado. Foi necessário elaborar uma ordem de montagem para a confecção de cada tipo de painel. Para a face interna dos painéis, foram confeccionadas separadamente a parcela do painel com instalação horizontal das tábuas e a parcela com instalação vertical para acabamento, unindo-as em momento posterior. Apesar do protótipo em escala reduzida não ter permitido simular a desmontagem em razão da

necessidade de fixação permanente dos componentes construtivos para a montagem e estabilidade, identificou-se o potencial do sistema para flexibilidade interna: divisórias independentes, liberdade no posicionamento das aberturas e possibilidade de substituir determinados componentes. Ainda que o pórtico central delimite a criação de dois espaços internos, com a insinuação de uma circulação central, permanece a liberdade de organização interna com os painéis de vedação vertical.

A estrutura de piso, com a presença de leves balanços laterais em uma direção de instalação das vigas sobre os blocos de fundação, demonstra possível busca pela otimização de seções da estrutura de piso. O sistema construtivo evidencia a importância das interfaces madeira/metal para os componentes, que garantem dilatação do material e estabilidade. A substituição integral do aço por madeira, embora testada em variantes como a B.C.C. 8x8, limita o processo de desmontagem e remontagem da edificação e compromete a durabilidade dos componentes de madeira em razão do desgaste das peças. Já os componentes metálicos presentes no sistema misto contornam as limitações da madeira nesse quesito, pois os encaixes em metal não desgastam as fibras da madeira, possibilitando maior ancoragem dos elementos de fixação e estabilidade do sistema.

Esta obra representa a primeira síntese do pensamento sobre construções desmontáveis de Prouvé. Embora ainda marcada pela execução manual e pela predominância da madeira maciça, já se reconhece a importância de elementos metálicos como mediadores da modularidade, quando inseridos em locais estratégicos. O sistema é altamente adaptável, podendo substituir peças que compõem os painéis de vedação vertical, perfis de conexão e painéis de piso por exemplo. O elevado número de peças que compõem o sistema dificulta sua padronização e replicabilidade em larga escala, funcionando mais como laboratório de soluções construtivas que seriam aprimoradas nas obras seguintes.

Na **Casa Standard**, a lógica experimental evoluiu em relação à obra anterior no que se refere à padronização industrial. Devido ao caráter permanente da edificação, os painéis de vedação vertical passaram a incorporar isolamentos térmico e acústico especificados, esquadrias integradas e conexões metálicas otimizadas. A madeira industrializada, utilizada no ambiente interno em forma de chapa de madeira compensada, desempenha papel complementar ao alumínio, configurando um subsistema de vedação vertical misto de alta eficiência e utilização equilibrada dos dois materiais, embora quando analisada a obra como um todo, a utilização de componentes metálicos é predominante. A montagem da obra em

escala real é facilitada pelo baixo peso dos componentes (32 kg por painel de aproximadamente 2,50 m x 1 m), dispensando equipamentos de elevação e demandando apenas ferramentas simples. A fixação dos painéis de vedação vertical por aparafusamento não ocorre diretamente nas peças de madeira, e sim nas conexões metálicas, evitando o desgaste da madeira e aumentando a facilidade de realização de ajustes quando necessário.

Apesar da clara modularidade clara e da leveza dos componentes, a análise da obra revelou uma limitação crucial: sua dependência de indústrias altamente especializadas. Entrevistas coletadas por Sulzer (2005) apontaram dificuldades enfrentadas por moradores para realizar manutenções ou substituir peças, comparáveis à conservação de automóveis colecionáveis. Essa característica restringiu sua replicabilidade em contextos de menor infraestrutura industrial.

A dificuldade de fabricação desses componentes mais complexos foi identificada também na etapa de experimentação com elaboração de modelo reduzido da Casa Standard. Os painéis de vedação vertical prototipados por meio da impressão 3D demonstram parcialmente a complexidade da fabricação real em indústrias. Os detalhes construtivos, como o emprego de sutil curvatura dos painéis, a fim de conferir-lhes maior rigidez frente à reduzida espessura das chapas, assim como, o elevado número de conexões, complexidade dos encaixes metálicos que compõe um painel de diferentes camadas, determina a necessidade de fabricação estritamente industrial.

Quando comparada à obra anterior, a Casa Standard representa um avanço qualitativo de desempenho das vedações em relação à estanqueidade e conforto térmico e acústico, além da racionalização do sistema construtivo, visto que permite a fabricação de painéis com redução de juntas e interfaces. Contudo, esse avanço foi acompanhado de um aumento da complexidade técnica e da perda de autonomia dos usuários em relação à manutenção.

A **Casa para melhores dias**, desenvolvida após Prouvé perder sua empresa, apresenta documentação técnica mais escassa, possivelmente relacionada a diminuição significativa de publicações neste período (ver Gráfico 2), algo que as inovações alcançadas pela experimentação em sua fábrica impulsionavam também sua divulgação por meio de diferentes veículos de comunicação. Este projeto evidencia a busca por simplificação produtiva, algo perseguido em seus projetos ao longo de sua trajetória. Para se alcançar a simplicidade construtiva e de meios é necessário maturidade e grande repertório, aspectos

que Prouvé possuía. Os perfis de conexão foram reduzidos a um único modelo de geometria simples, em contraste com a multiplicidade dos projetos anteriores, e a chapa de madeira compensada passou a ser aplicada em ambas as faces dos painéis. Essa decisão aponta para maior racionalização e acessibilidade dos componentes, além da maior aceitação da madeira como material construtivo, pois neste momento, o material já teria alcançado alto grau de industrialização no território francês.

A obra mantém elementos centrais do pensamento de Prouvé, como a adoção de elementos estruturantes centrais ou posicionados excentricamente, como o núcleo hidráulico substituindo o pórtico central, incorporando outras funções técnicas e de uso do espaço. Quanto à lógica desmontável e de transportabilidade, este projeto apresenta limitações em relação aos demais projetos apresentados, devido a utilização de elementos mais permanentes, como a base de piso em concreto. Algumas problemáticas relativas ao núcleo hidráulico também foram identificadas, como o seu posicionamento, direcionando as funções privadas e coletivas da habitação, comprometendo a flexibilidade do sistema. Outro problema identificado neste elemento foi a dificuldade de exaustão do ar, algo já identificado pelas críticas da época, devido à ausência de janelas, embora ele tenha previsto um sistema de exaustão pela cobertura.

Diferentemente da Casa Standard, a ênfase do desenvolvimento dos painéis deslocou-se para uma solução mais flexível e adaptável, por apresentar menos complexidade técnica, visto que os painéis de vedação vertical desenvolvidos na Casa para Melhores Dias consistem em camadas simples de compensado nas faces interna e externa, com camada de preenchimento isolante termoacústico, com redução de elementos e acessórios metálicos nos sistemas de encaixes. A complexidade e inovação direciona-se no uso dos painéis curvos de canto, obtidos pelo sistema de curvatura a vapor. Este artifício possibilita contornar eventuais problemas advindos das junções dos painéis nesta parte da edificação, levando Prouvé a desenvolver encaixes diferenciados nas obras anteriores, devido a angulação, otimizando o processo construtivo e impactando o custo final da edificação.

O estudo comparativo dos subsistemas de vedação vertical nas três obras de Prouvé evidencia não apenas sua contribuição histórica de experimentação contínua, mas também caminhos potenciais para adaptar suas soluções para diferentes contextos, conciliando sustentabilidade, industrialização e flexibilidade espacial.

A execução dos modelos reduzidos das três obras de Jean Prouvé constituiu uma etapa fundamental para a compreensão de seus sistemas construtivos e soluções projetuais, no sentido de validar informações documentais e obter dados complementares, ampliando desta forma o entendimento sobre suas obras e seu processo metodológico projetual/experimental. Os protótipos ofereceram uma contribuição significativa ao tornar visível, de forma tátil, a lógica modular, a racionalidade estrutural e a relação de ordem no processo de confecção dos componentes. A manipulação dos modelos possibilitou observar de forma clara como os elementos se articulam, como os painéis se relacionam com a estrutura principal e como a ordem de montagem proposta revela a coerência do pensamento construtivo de Prouvé.

A investigação por meio dos modelos reduzidos também proporcionou um entendimento ampliado das proporções, da espacialidade e da legibilidade do processo construtivo, aspectos que dificilmente seriam captados apenas em representações bidimensionais ou modelos digitais. Nesse sentido, os protótipos se confirmaram como ferramentas pedagógicas e exploratórias eficazes, capazes de transformar conceitos abstratos em experiências táteis e visuais mais diretas.

No entanto, é igualmente importante reconhecer as limitações encontradas. Certas questões como o desempenho estrutural em escala real, a resistência e o comportamento físico dos materiais, os aspectos de conforto térmico e acústico, bem como a viabilidade produtiva e econômica dos sistemas, permanecem fora do alcance da investigação em escala reduzida da impressão 3D. Tais dimensões só poderiam ser plenamente avaliadas por meio de metodologias complementares, como a construção de painéis ou módulos em escala real com materiais semelhantes ao projeto original, com realização de ensaios técnicos específicos e a articulação com agentes e centros de pesquisa com infraestrutura adequada.

Dessa forma, a contribuição desta etapa da pesquisa reside em oferecer um campo de experimentação acessível e elucidativo, capaz de revelar a lógica construtiva e as intenções projetuais de Jean Prouvé, ao mesmo tempo em que delimita claramente quais perguntas permanecem abertas e demandam outros meios de investigação. Ao explicitar tanto os potenciais quanto as limitações da metodologia adotada, reafirma-se o papel dos modelos reduzidos como recurso de aproximação entre a teoria e a prática, entre experimentação construtiva acadêmica e aplicabilidade no contexto real.

4.2. ANÁLISE DOS PAINÉIS DE VEDAÇÃO VERTICAL

A análise dos painéis de vedação vertical desenvolvidos por Jean Prouvé se mostra especialmente relevante no contexto atual, em que flexibilidade adaptativa e racionalização equilibrada se tornaram diretrizes para sistemas construtivos sustentáveis. A trajetória entre as tipologias estudadas pode ser lida como um processo de experimentação, em que:

- Na Construção desmontável para vítimas de guerra 6x6, a montagem dos painéis e sua desmontagem aparecem como princípios ainda dependentes da execução manual do trabalho, desde o beneficiamento da madeira maciça;
- Na Casa Standard, esses princípios são traduzidos para a lógica industrial, resultando em painéis com maior grau de industrialização, inclusive com emprego da madeira industrializada, porém os painéis apresentam características que levam a difícil manutenção;
- Na Casa para Melhores Dias, há uma simplificação produtiva que privilegia a redução da complexidade dos componentes e elementos de fixação.

Ao triangular a análise dessas soluções com o contexto atual, emergem três dimensões principais de aplicabilidade: aspectos de ordem ambiental, aspectos técnicos e aspectos socioeconômicos. Embora a investigação a seguir seja apresentada a partir da divisão em tópicos de análise correspondentes às dimensões supracitadas, é fundamental reconhecer a indissociabilidade entre esses aspectos no contexto estudado.

4.2.1. Aspectos de ordem ambiental

A análise dos painéis de vedação vertical concebidos por Jean Prouvé permitiu observar diferentes implicações ambientais, a partir do emprego de materiais diversos e de suas combinações em sistemas mistos com distintas características. Desde os primeiros exemplares, nas **Construções desmontáveis para vítimas de guerra (1944)**, nota-se que os painéis constituem sistemas mistos, uma vez que, embora a madeira maciça fosse predominante na vedação, as conexões entre os painéis eram realizadas em aço, o que conferia maior estabilidade estrutural e permitia a desmontagem e remontagem dos elementos. Essa característica evidencia que a experimentação de Prouvé nunca se restringiu a um único material, mas desde o início buscou a integração entre materiais naturais e industriais, explorando suas potencialidades técnicas e construtivas.

No primeiro modelo analisado, a utilização majoritária de madeira maciça configura uma solução ambientalmente vantajosa, uma vez que se trata de um material renovável, de baixa energia incorporada e capaz de estocar carbono durante seu ciclo de vida. O emprego quase total da madeira maciça nesse sistema de vedação reduz a dependência de materiais de origem fóssil ou de elevado consumo energético no seu beneficiamento, conferindo ao painel um caráter ambiental amigável. O uso de peças de madeira de pequenas dimensões no fechamento dos painéis possibilita o aproveitamento de madeira de menor qualidade ou de madeira de rejeitos em sua face interna. Além disso, por não apresentar adição de colas e aditivos, a madeira maciça utilizada permite diferentes destinos ao final de sua vida útil: o painel completo pode ser reaproveitado em outra construção; as tábuas que apresentam condições de aproveitamento podem ser removidas para reconstituição ou reutilizadas em outros componentes; e, em último caso, a madeira pode ainda ser descartada sem prejuízos à natureza, ampliando o ciclo de uso do recurso natural e reforçando seu caráter circular.

Por outro lado, o emprego de grandes volumes de madeira maciça nos painéis resulta em componentes mais pesados, o que implica maior impacto no transporte e logística, além de demandar seções robustas que podem gerar desperdícios de matéria-prima se não houver racionalização no processamento. Esses limites, entretanto, não anulam as qualidades ambientais do componente, mas evidenciam a necessidade de maior eficiência na gestão dos recursos florestais empregados.

Neste componente, o aço é empregado de forma pontual nas conexões do sistema misto, desempenhando um papel essencial tanto do ponto de vista estrutural quanto ambiental. As chapas dobradas, empregadas nas junções, reforçam a estabilidade do conjunto e, ao mesmo tempo, protegem o topo das peças de madeira contra infiltrações e umidade, o que melhora a estanqueidade pela possibilidade de ajustes, reduz a necessidade de manutenção frequente e prolonga a durabilidade do sistema, já que os topos são a região de maior suscetibilidade a deterioração. Assim, aplicado de forma reduzida, o aço contribui para potencializar o desempenho ambiental do painel, não apenas por racionalizar o uso da madeira, mas também por ampliar o intervalo entre substituições e possibilitar a desmontagem e reuso do componente e suas partes, favorecendo a longevidade e a circularidade do conjunto.

Nas tipologias desenvolvidas para a **Casa Standard (1950)**, a introdução da madeira compensada marcou um avanço significativo na racionalização do uso da madeira e no

processo de industrialização dos painéis. Empregada nas faces internas das vedações voltadas a ambientes secos, essa solução permitiu obter painéis de maiores dimensões com menor volume de matéria-prima, reduzindo o peso dos painéis. As florestas manejadas para fabricação de chapas, como o compensado, são jovens e de ciclo de abate curto, com qualidade inferior em relação a peças de madeira maciça, facilitando sua renovação. Contudo, a presença de resinas e adesivos industriais introduz novos impactos, como a emissão de compostos voláteis e a dificuldade de reciclagem ao final da vida útil do material ou componente.

O aço foi adotado em maior volume em relação aos painéis do modelo anterior, aplicado tanto nas conexões como no revestimento externo, garantindo a estabilidade dos painéis mais delgados e ampliando a durabilidade do conjunto. Quando analisada sua cadeia produtiva, deve-se reconhecer a elevada energia incorporada e emissões durante seu beneficiamento, mostrando-se um material de alto impacto ambiental. Apesar destas fragilidades de caráter ambiental, o material apresenta elevado potencial de reciclagem e vida útil prolongada. Dessa forma, sua associação à madeira resultou em um sistema misto no qual se combinavam a renovabilidade de um material natural com a precisão e a resistência do industrial, permitindo minimizar algumas limitações da madeira, principalmente nos encaixes de topo, por aumentar a durabilidade da chapa e sua substituição em curto período de tempo.

O alumínio introduzido nas faces externas e em áreas úmidas acrescentou uma dimensão mais complexa à análise ambiental. Se por um lado ele oferece leveza, durabilidade, resistência à corrosão, protege os topos das placas e favorece a padronização industrial, por outro, apresenta o maior impacto ambiental entre os materiais utilizados, com altíssimo gasto energético e emissões ao longo de sua cadeia produtiva. Além disso, a manutenibilidade dos painéis ficou comprometida pela difícil substituição de peças, fragilizando a adaptabilidade do sistema, impondo dependência de setores industriais altamente especializados. Embora sua reciclabilidade mitigue parcialmente tais impactos, o alumínio desloca o equilíbrio observado no primeiro painel: a madeira renovável perde protagonismo e a lógica da industrialização ganha centralidade, revelando os tensionamentos entre eficiência construtiva e sustentabilidade ambiental.

Nos painéis desenvolvidos na **Casa para Melhores Dias (1956)**, observou-se uma evolução significativa em relação às soluções anteriores. Diferentemente da Casa Standard, esses painéis passaram a ser confeccionados inteiramente em madeira com chapas de

compensado, aplicadas tanto nas faces internas quanto nas externas, reforçando a racionalização do uso da madeira em detrimento da maciça. Essa escolha permitiu alcançar elementos de vedação mais leves e com maior aproveitamento de matéria-prima, todavia, manteve os desafios ambientais relacionados ao emprego de resinas e adesivos industriais presentes na chapa industrializada. A inovação mais expressiva, contudo, foi a introdução da tipologia de canto curvo, que aprimorou a estanqueidade das quinas e reduziu pontos críticos de infiltração e desgaste, elevando o desempenho ambiental e a durabilidade da envoltória, além de permitir padronizar os elementos de fixação, sem a necessidade de elaborar um tipo específico para esta região da edificação. As conexões entre os painéis passaram a ser realizadas em alumínio, substituindo o aço nesse papel e reforçando o caráter industrial e seriado do sistema de vedação. Embora a produção do alumínio apresente elevada energia incorporada e emissões de carbono, sua durabilidade e reciclabilidade representam vantagens no ciclo de vida do componente, além de ser aplicado pontualmente, diminuindo consideravelmente seu consumo em relação aos painéis da Casa Standard. O aço, por sua vez, foi mantido apenas na estrutura portante da edificação, deixando de integrar os sistemas de vedação vertical. Essa reconfiguração material evidencia uma mudança no equilíbrio entre recursos renováveis e industrializados, reforçando o caráter híbrido da arquitetura de Prouvé, mas também trazendo novos tensionamentos em termos de impactos ambientais e estratégias de sustentabilidade.

Assim, cada tipologia analisada expressa uma etapa da evolução no pensamento construtivo de Prouvé, revelando também diferentes graus de impacto ambiental dos seus projetos. Se, por um lado, os primeiros exemplares em madeira maciça com conexões em aço destacam-se pela simplicidade e pela presença marcante de um material renovável, por outro, o peso dos painéis limitava a eficiência geral do processo de montagem. O compensado representou um avanço em termos de industrialização e leveza, embora introduzisse impactos relacionados ao consumo de outros produtos em sua composição, como colas e aditivos que comprometem sua reciclabilidade e descarte final. As soluções mistas em aço e madeira configuraram um equilíbrio entre materiais naturais e industriais, conciliando leveza, eficiência estrutural e certo potencial de sustentabilidade. Já a introdução do alumínio consolidou o paradigma da industrialização, ampliando a padronização e o desempenho técnico, mas ao custo de maior energia incorporada e menor participação da madeira na confecção do painel. Essa evolução demonstra não apenas o caráter experimental e inovador

de Prouvé, mas também os diferentes equilíbrios ambientais presentes em cada solução, que hoje permitem refletir sobre o papel da combinação entre materiais renováveis e industriais nas estratégias contemporâneas de sustentabilidade, algo pouco explorado e considerado no período em que atuou profissionalmente.

Essas considerações inserem-se em um debate mais amplo sobre sistemas construtivos mistos, que vêm sendo explorados com o objetivo de potencializar as propriedades da madeira para ampliar sua aplicação na construção de edifícios mais sustentáveis e eficientes (Premrov e Leskovar, 2023). Como observa Engel (2003), tais sistemas exploram as propriedades individuais de cada material em benefício do desempenho final, estabelecendo complementaridade eficaz sempre que as funções originais de sustentação forem equipotentes e interdependentes em seu novo comportamento. Além disso, a natureza pré-fabricada dos sistemas mistos, sobretudo quando envolvem elementos padronizados de madeira, oferece vantagens significativas em termos de rapidez e eficiência construtiva, bem como maior flexibilidade para substituição e reutilização de componentes.

A conjugação entre aço e madeira, nesse sentido, não apenas aprimora o desempenho estrutural, mas também abre possibilidades para uma diversidade de soluções arquitetônicas e experiências sensoriais, nas quais se combinam a precisão industrial e a racionalidade do aço com a textura, o aconchego e o conforto ambiental da madeira. Como reforça Gandini (2016), essa associação deve ser concebida a partir de uma análise conjunta do desempenho e da vida útil de cada material, considerando suas características próprias e os fatores ambientais relacionados à sustentabilidade, de modo a orientar soluções mais equilibradas e duráveis.

No caso do aço, sua consolidação como um dos materiais mais relevantes para a construção civil contemporânea deve-se à sua elevada resistência mecânica, durabilidade e leveza. Como evidenciado por Liubartas *et al.* (2015), além dessas propriedades, destaca-se pela rapidez de montagem, qualidade e racionalização construtiva, bem como pela possibilidade de desmontagem e reaproveitamento de peças, potencializada pelo uso de conexões padronizadas. No contexto atual de busca por práticas mais sustentáveis, sua reciclabilidade e potencial reuso tornam-se atributos centrais para a economia circular e para a redução de impactos ambientais no setor.

A cadeia produtiva do aço pode seguir dois principais processos. O primeiro é partir de matérias-primas como o minério de ferro, calcário e coque em alto forno (BF-BOF). Essa

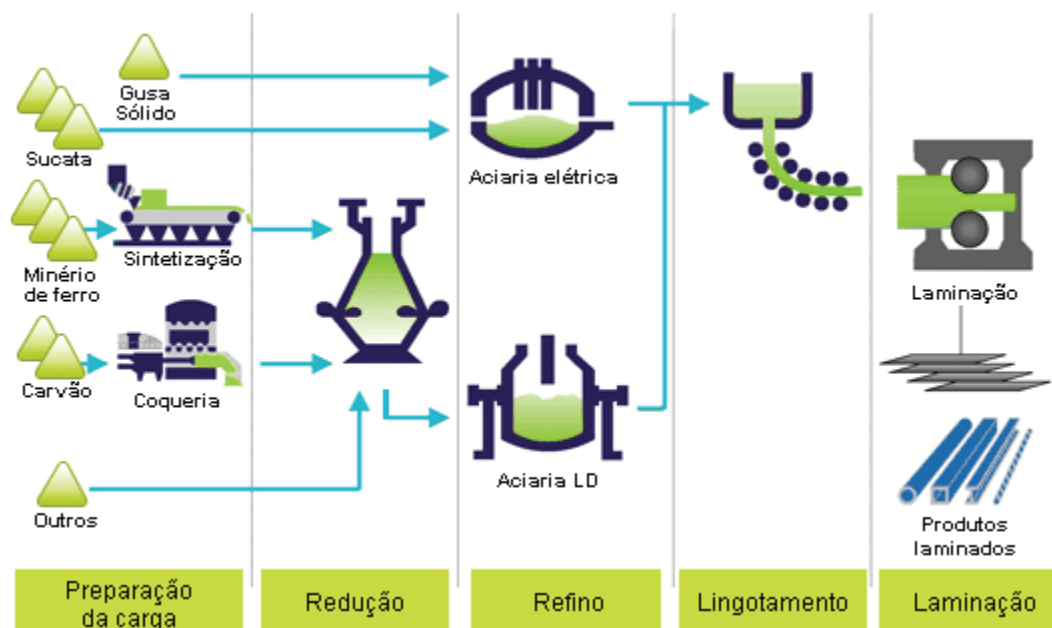
rota, tradicional, consome em média 20 a 21 GJ por tonelada de aço e emite entre 1,8 e 2,2 toneladas de CO₂ por tonelada produzida (Associação Brasileira de Metalurgia, 2022). No Brasil, observa-se a particularidade do uso do carvão vegetal em substituição parcial ao coque, uma prática que, embora apresente vantagens ambientais como a possibilidade de neutralização das emissões via florestas plantadas, enfrenta desafios técnicos e logísticos, além de permanecer altamente intensiva em consumo energético.

O segundo processo é a reciclagem da sucata metálica em forno elétrico a arco (EAF). Esse processo é consideravelmente mais eficiente, com consumo médio de 2 a 5 GJ/t e emissões de cerca de 0,3 tCO₂/t (Davis *et al.*, 2024; Lee *et al.*, 2025). Ainda assim, trata-se de uma etapa com demanda energética relevante, sobretudo quando não alimentada por fontes renováveis. Nesse aspecto, a comparação entre produção primária e reciclagem mostra uma redução de mais de 70% nas emissões de CO₂, confirmando o potencial do aço como elemento estratégico em transições energéticas e em sistemas construtivos de baixo impacto ambiental, utilizado em menor consumo pontualmente.

Apesar das vantagens da reciclagem, a reutilização direta de componentes de aço, sem necessidade de fusão ou remanufatura, apresenta-se como a alternativa mais eficiente em termos energéticos e ambientais. Segundo Lee *et al.* (2025), estratégias de projeto orientadas para desmontagem e reuso (*design for deconstruction and reuse* – DfDR) permitem que edifícios sejam concebidos com componentes metálicos desmontáveis, reaproveitáveis e adaptáveis a novos contextos construtivos. Essas práticas são especialmente eficazes em sistemas de vedação vertical compostos por painéis metálicos modulares ou perfis leves de aço galvanizado (Zhaona, 2021), aproximando-se das soluções já vislumbradas por Jean Prouvé em seus experimentos com painéis mistos no século XX.

O fluxo simplificado do processo de produção do aço (Figura 102) evidencia como diferentes insumos podem ser direcionados a processos distintos de redução e refino, resultando em produtos laminados. Essa visão sistêmica permite compreender os pontos de maior consumo energético e de potencial reaproveitamento de materiais, fundamentais para o estudo da circularidade na cadeia do aço.

Figura 102 - Fluxo simplificado de produção do aço.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2025). Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/aco/>. Acesso em: 10 set. 2025.

De acordo com Davis *et al.* (2024), para que a circularidade do aço seja alcançada em escala, é fundamental investir em políticas públicas, certificações técnicas e mecanismos de rastreabilidade que assegurem a qualidade e a segurança dos componentes reutilizados. Tais medidas, associadas à consolidação de uma indústria voltada à pré-fabricação e ao design desmontável, podem transformar o aço em vetor central de práticas construtivas mais sustentáveis, alinhadas às metas globais de redução de emissões e de racionalização dos recursos.

A madeira, por sua vez, apresenta qualidades que a colocam no patamar na discussão sobre aspectos ambientais, tratando-se de um material renovável, capaz de capturar e estocar carbono durante seu ciclo de vida, e que, ao mesmo tempo, reúne propriedades físico-mecânicas relevantes dependendo de como é empregada, como leveza, isolamento térmico e acústico, resistência à tração paralela às fibras e versatilidade plástica. Segundo Herzog *et al.* (2004), o uso da madeira como material construtivo proporciona diferentes opções de possibilidades compositivas, contudo, requer contínuos estudos e avanços tecnológicos para atender às atuais demandas de construção, sendo fundamental estabelecer uma conexão permanente entre a arquitetura e as últimas abordagens da engenharia, servindo como base para pesquisas e modelos científicos, desde o ensino da construção.

Nas vedações mistas com o aço, a madeira contribui ainda com sua textura natural e versatilidade plástica, proporcionando conforto, aconchego e qualidades sensoriais ao Ambiente Construído, ao aproximar o usuário com o contexto natural. Essa combinação resulta em soluções construtivas estratégicas, não apenas sob os aspectos técnicos e estéticos, mas também no que se refere à sustentabilidade, à racionalização de materiais e à modularidade. São atributos recorrentes na obra de Jean Prouvé, cuja construção industrializada explorava sistemas mistos, desmontáveis e pré-fabricados, com grande sensibilidade ao potencial construtivo de cada material empregado.

A cadeia produtiva da madeira apresenta um caráter multifacetado, em que práticas sustentáveis e impactos negativos coexistem, como foi possível compreender a partir do Capítulo 1 deste trabalho, com a elaboração de esquemas da cadeia produtiva da madeira em seus diferentes graus de industrialização (Figura 2). Desde a extração da matéria-prima, passando pelo processamento primário até os produtos industrializados, observa-se tanto o potencial de reduzir impactos ambientais quanto limitações que ainda precisam ser superadas. Nas etapas iniciais, como corte, desdobro e secagem, a geração de resíduos permanece significativa, em parte devido ao baixo aproveitamento dos troncos, às técnicas pouco otimizadas e à baixa qualidade de algumas florestas disponíveis no mercado devido à falta de manejo. Esses resíduos, frequentemente tratados como subprodutos de baixo valor, representam ao mesmo tempo um desafio e uma oportunidade: quando reinseridos na cadeia produtiva, podem originar uma série de produtos derivados que aumentam o aproveitamento integral da árvore.

O desenvolvimento de derivados como MDF, MDP, OSB ou CLT exemplifica esse esforço de reintegração, embora muitas empresas se utilizem de florestas próprias ou de terceiros, em alguns casos, há a possibilidade de transformar resíduos em componentes de maior valor agregado¹⁷. Esses produtos ampliaram as possibilidades de padronização, modularidade e pré-fabricação, fundamentais para o setor da construção civil. Contudo, apresentam contradições importantes: grande parte deles depende de adesivos sintéticos à base de formaldeído ou de outros compostos químicos, que dificultam o reuso, comprometem a reciclabilidade e podem liberar compostos orgânicos voláteis (COVs) ao longo da vida útil.

¹⁷ No caso da empresa Águia Florestal, os resíduos provenientes da cadeia produtiva da madeira serrada são utilizados para a fabricação de painéis CLT, que posteriormente são utilizados em construções habitacionais desenvolvidas pela organização.

Essa condição gera um paradoxo: ao mesmo tempo em que esses produtos promovem eficiência material e racionalização, introduzem novas barreiras à circularidade plena do ciclo produtivo, como apontado por Laverde e Lourenço (2025).

As pesquisas mais recentes apontam caminhos para superar essas limitações, como o uso de adesivos de base biológica (à base de lignina, taninos ou proteínas vegetais), tratamentos menos agressivos à saúde e ao meio ambiente e processos de fabricação com menor gasto energético. Essas alternativas ainda se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento, mas indicam a possibilidade de aliar desempenho técnico a uma sustentabilidade mais consistente, ampliando o horizonte de aplicação dos derivados de madeira em sistemas construtivos de maior escala.

No campo da construção civil, a madeira e seus derivados destacam-se pela capacidade de combinar propriedades técnicas, como resistência mecânica, leveza e facilidade de trabalho, a atributos ambientais, como a renovabilidade e o potencial de captura e estocagem de carbono. Ao mesmo tempo, a aplicabilidade desses materiais precisa considerar limitações de durabilidade, exigências de manutenção periódica e vulnerabilidade a agentes biológicos, sobretudo em contextos de alta umidade. Estratégias de reuso, reciclagem e pré-fabricação surgem, nesse cenário, como elementos-chave para prolongar a vida útil dos componentes, reduzir a pressão sobre florestas e alinhar o setor às metas globais de sustentabilidade.

Assim, a análise da cadeia produtiva da madeira evidencia que, embora esse material ofereça condições favoráveis para a industrialização e para a racionalização de recursos, sua utilização sustentável depende de um equilíbrio entre inovação tecnológica, regulação ambiental e práticas de projeto conscientes. O desafio contemporâneo é transformar a madeira e seus derivados em elementos de sistemas construtivos verdadeiramente circulares, capazes de reduzir impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida e, ao mesmo tempo, oferecer desempenho técnico e econômico compatível com as demandas atuais.

Nesse sentido, tanto o aço quanto a madeira apresentam potencialidades e desafios no campo da sustentabilidade, e sua associação em sistemas mistos representa uma oportunidade de conciliar racionalidade produtiva, desempenho técnico e baixo impacto ambiental. O estudo das cadeias produtivas desses materiais revela que, enquanto o aço se destaca pela durabilidade e pela reciclabilidade em larga escala, a madeira contribui com a renovabilidade, a estocagem de carbono e a versatilidade arquitetônica. As soluções de

Prouvé, ao explorar a pré-fabricação, a desmontabilidade e a modularidade, anteciparam o debate contemporâneo sobre circularidade e eficiência material, mesmo em um momento em que esta discussão ainda era incipiente, apontando caminhos possíveis para transformar tais recursos em sistemas construtivos verdadeiramente sustentáveis.

4.2.2. Aspectos técnicos

Um dos avanços mais significativos observados na trajetória de Jean Prouvé foi a racionalização progressiva de seus sistemas construtivos. Da complexidade inicial da **Construção desmontável para vítimas de guerra (1944)**, marcada por um elevado número de componentes de madeira e conexões específicas para cada uso, à simplificação gradativa presente na **Casa Standard (1950)** e consolidada na **Casa para Melhores Dias (1956)**, nota-se a redução constante da quantidade de peças e a busca por elementos de conexão mais simples e universalizados. Essa diminuição resultava não apenas em economia de material, mas também em menor gasto energético vinculado à produção industrial, além de simplificar a logística de transporte e montagem.

A racionalização, nesse sentido, não deve ser entendida apenas como economia, mas como uma estratégia de prolongamento do ciclo de vida dos componentes. Sistemas menos complexos tendem a demandar menos manutenção, possibilitam substituições mais rápidas e favorecem a desmontagem e o reuso, antecipando discussões que hoje estão no cerne da sustentabilidade aplicada à construção civil.

A rapidez de montagem foi outro princípio estruturador da obra de Prouvé. Elementos leves e modulares, associados a conexões padronizadas, permitiam que a execução fosse conduzida sem o uso de maquinário pesado, utilizando apenas ferramentas simples. Na Casa Standard, por exemplo, a leveza dos painéis (aproximadamente 32 kg por módulo) e das peças de cobertura (menos de 12 kg) tornava possível a instalação apenas com mão de obra especializada em montagem, reduzindo o tempo de obra e os custos operacionais. Esse princípio mantém-se altamente pertinente no contexto atual, em que a eficiência dos canteiros e a redução de prazos são determinantes para a viabilidade dos projetos.

Outro aspecto relevante é a interface entre os painéis de vedação vertical e as esquadrias, que Prouvé já os concebia como parte de um mesmo subsistema construtivo. Na Casa Standard, as aberturas estavam incorporadas à lógica modular, evitando improvisos em obra e assegurando maior controle do desempenho do componente. Essa integração, hoje, é

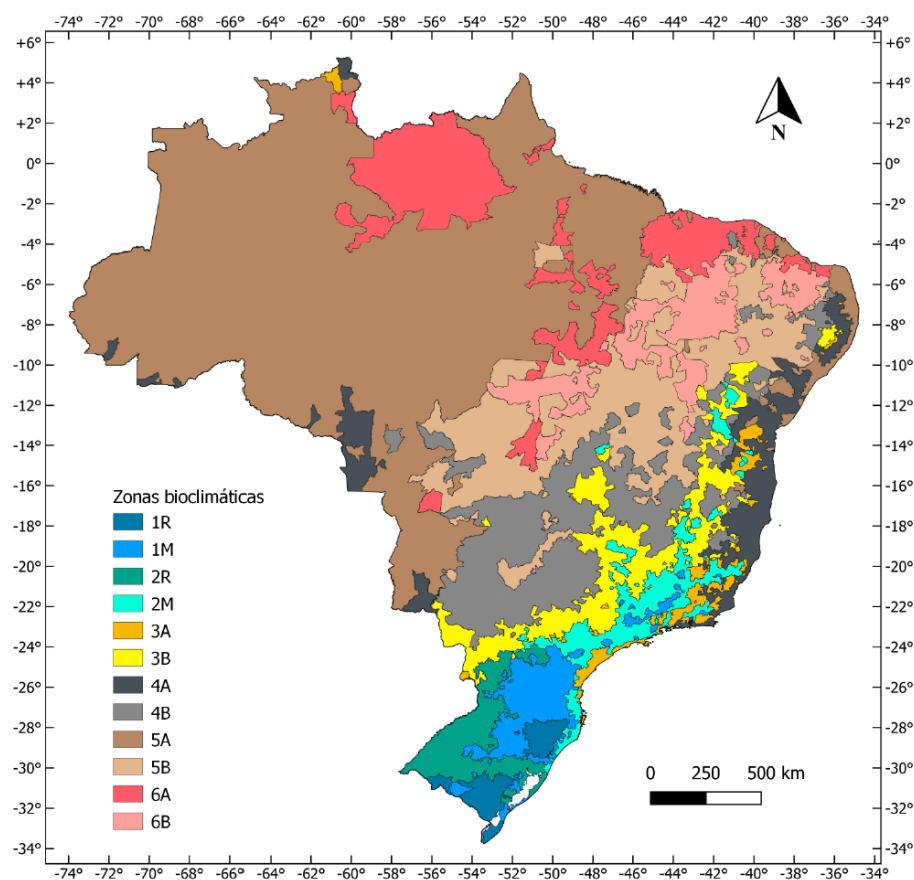
reconhecida como fundamental para atender às normativas contemporâneas de desempenho.

No caso brasileiro, a compreensão da diversidade climática constitui uma etapa indispensável para avaliar a aplicabilidade desses sistemas. Como enfatizado por Barata (2008), as dimensões do território nacional resultam em uma diversidade ambiental significativa, o que evidencia a necessidade de identificar zonas bioclimáticas distintas e formular diretrizes projetuais adequadas a cada região.

Esse entendimento foi posteriormente consolidado pela ABNT NBR 15220-3 (2024), que define o zoneamento bioclimático brasileiro em doze zonas distintas (Figura 103), variando de muito frias a muito quentes, com subdivisões em função da umidade relativa¹⁸. Esse mapeamento fornece parâmetros fundamentais para orientar decisões projetuais voltadas ao desempenho térmico e energético das edificações. O zoneamento também dialoga com outras normativas que regem o desempenho de fachadas e esquadrias, reforçando o papel da adaptação climática como parte do projeto arquitetônico.

¹⁸ Cada zona está associada a cidades representativas, como Curitiba (1M – muito fria), São Paulo (2M – fria), Brasília (3B – mista seca), Rio de Janeiro (4A – levemente quente úmida), Recife (5A – quente úmida) e Fortaleza (6A – muito quente úmida).

Figura 103 – Zoneamento bioclimático por desempenho térmico e umidade relativa.



Fonte: ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho térmico (2024).

Tanto a ABNT NBR 15575-4:2013, referente aos sistemas de vedações verticais, quanto a ABNT NBR 10821-2:2017, direcionada às esquadrias, estabelecem requisitos e critérios de desempenho que apresentam pontos de convergência. Ambas tratam de aspectos como estanqueidade à água e ao ar, desempenho térmico e acústico, resistência estrutural às cargas de vento, bem como durabilidade, manutenção e vida útil dos componentes. Esses parâmetros, ao enfatizar segurança, conforto e sustentabilidade, reforçam a compreensão de que tais elementos não atuam apenas como fechamentos, mas desempenham papel ativo nas condições de habitabilidade.

Além disso, ambas as normas incorporam o zoneamento bioclimático como referência, ampliando a análise de aplicabilidade adaptável dos sistemas construtivos em diferentes contextos ambientais do território brasileiro. No entanto, para além das condicionantes climáticas, é imprescindível considerar as variáveis de projeto e implantação

de cada componente, pois o desempenho final depende não apenas do material e do sistema construtivo, mas também de sua correta inserção no edifício e este no terreno.

Nesse sentido, no caso dos painéis desenvolvidos por Jean Prouvé, a análise deve contemplar simultaneamente as duas normativas, uma vez que esses elementos se situam entre a vedação e a esquadria. Sua natureza híbrida exige avaliar tanto os critérios aplicados às superfícies de fechamento quanto aqueles referentes a componentes móveis ou transparentes, articulando-os às especificidades de implantação e às exigências de desempenho condicionadas pelo zoneamento bioclimático. Essas condicionantes estão diretamente relacionadas à carta bioclimática e, portanto, aos requisitos de projeto e implantação, que precisam ser adequados ao contexto de cada edificação.

Cabe destacar que os cálculos referentes ao desempenho térmico e acústico, previstos pelas normas técnicas, apresentam elevado grau de complexidade e não integram os objetivos deste trabalho. A verificação efetiva desses parâmetros exige ensaios laboratoriais em protótipos em escala real, capazes de reproduzir fielmente as condições de uso, incluindo mecanismos de acabamento, conexões e dispositivos de estanqueidade. Tais variáveis são determinantes para o desempenho final dos painéis, influenciando diretamente sua eficiência frente a requisitos como estanqueidade ao ar e à água, conforto térmico e isolamento acústico.

Assim, a análise aqui proposta concentra-se em discutir a aplicabilidade dos sistemas desenvolvidos por Prouvé em diferentes contextos, tomando como base os requisitos e critérios de desempenho estabelecidos pelas normas. Trata-se, portanto, de um estudo fundamentado em referências normativas e bibliográficas, complementado pela elaboração de modelos reduzidos, sem a pretensão de validar experimentalmente o desempenho dos painéis, mas com o intuito de evidenciar sua pertinência e atualidade frente às demandas contemporâneas da construção civil.

A análise comparativa dos três painéis principais evidencia como a escolha dos materiais influencia diretamente o atendimento aos critérios técnicos:

O painel da Construção desmontável para vítimas de guerra, em madeira maciça, apresenta desempenho potencialmente favorável em relação à resistência mecânica e à durabilidade, sobretudo quando adequadamente tratado e protegido contra agentes biológicos e umidade. A inclusão de lã mineral poderia contribuir significativamente para o

isolamento térmico e acústico. Ainda assim, sua estanqueidade ao ar e à água depende fortemente do desenho das conexões e acabamentos.

O painel da Casa Standard, em alumínio e madeira compensada, com núcleo em lã mineral, configura uma solução híbrida que combina leveza e durabilidade do alumínio com a versatilidade do compensado. Esse arranjo permite alcançar bom desempenho térmico e acústico, além de elevada resistência à ação da umidade, quando comparado à madeira maciça aplicada externamente. No entanto, a presença do alumínio implica maior impacto ambiental, baixa manutenibilidade e dificuldade de substituição de peças, aspectos que tensionam sua aderência às diretrizes de sustentabilidade previstas nas normas.

Já o painel da Casa para Melhores Dias, com faces em madeira compensada e núcleo em lã mineral, caracteriza-se pela uniformidade material e pela compatibilidade entre as camadas, favorecendo a racionalização produtiva e a leveza construtiva. A lã mineral desempenha papel central na melhoria do desempenho térmico e acústico, enquanto o compensado, por sua estabilidade dimensional e superfície contínua diminuindo as juntas em relação ao primeiro painel, contribui para a estanqueidade quando associado a sistemas de fixação e vedação adequados. A durabilidade do conjunto, contudo, depende de tratamentos de proteção superficial, especialmente em exposição externa prolongada.

Em todos os casos, a aplicabilidade dos painéis depende não apenas das propriedades intrínsecas dos materiais, mas também das condições de projeto e implantação, em consonância com as exigências normativas. O zoneamento bioclimático, previsto nas duas normas, orienta a adequação do desempenho térmico em diferentes regiões, enquanto os mecanismos de conexão e acabamento garantem a estanqueidade e a vida útil do sistema. Dessa forma, a pertinência dos painéis deve ser avaliada de forma abrangente, articulando critérios ambientais, técnicos e socioeconômicos.

Ao relacionar essas particularidades às soluções desenvolvidas por Jean Prouvé, observa-se que a lógica dos painéis de vedação vertical pode ser reinterpretada a partir da adequação bioclimática. Enquanto em zonas frias e muito frias a prioridade recai sobre o reforço do isolamento térmico e da estanqueidade, em zonas quentes e úmidas ganha relevância a ventilação cruzada e a integração entre vedação e dispositivos de sombreamento. A modularidade e a pré-fabricação, princípios centrais nos experimentos de Prouvé, revelam-se particularmente úteis nesse contexto, pois permitem ajustes de acordo com diferentes condições climáticas sem perda de eficiência produtiva. Vale ressaltar que a flexibilidade

normativa – diante da variabilidade climática nacional – dá indicativos favoráveis para que os diferentes países possam atender ao usuário em algumas regiões do país.

Assim, a carta bioclimática brasileira exemplifica um desafio que é global: conciliar industrialização e padronização dos sistemas construtivos com a necessidade de respostas específicas a contextos climáticos e culturais diversos. Mais amplamente, a aplicabilidade contemporânea desses sistemas requer equilíbrio entre industrialização e flexibilidade: enquanto a industrialização assegura padronização e controle, a flexibilidade garante adaptação a diferentes formas de habitar e a variados contextos produtivos. A obra de Prouvé, ao antecipar tais preocupações, oferece um referencial valioso para o desenvolvimento de sistemas de vedação vertical alinhados às demandas globais de sustentabilidade, desempenho e adaptabilidade.

4.2.3. Aspectos socioeconômicos

A aceitação cultural da madeira, do aço e dos sistemas mistos continua sendo um fator determinante para sua aplicabilidade em diferentes contextos. Em algumas regiões, a madeira ainda é associada à precariedade, por sua presença histórica em construções de baixo custo ou provisórias. Em contrapartida, em outros cenários, especialmente no Norte da Europa e na América do Norte, a madeira é amplamente valorizada como material tecnológico e sustentável, sobretudo em suas versões engenheiradas, como a utilização de CLT e MLC em edificações. O aço, por sua vez, consolidou-se como sinônimo de durabilidade e modernidade, mas pode gerar resistências ligadas à percepção de alto custo ou de desconforto térmico.

Os sistemas mistos de aço e madeira, como aqueles explorados por Jean Prouvé, enfrentam o desafio de romper estigmas e ampliar sua aceitação cultural. Nesse sentido, experiências contemporâneas mostram que a difusão de sistemas industrializados depende não apenas da comprovação técnica de desempenho, mas também de sua inserção em programas habitacionais, projetos públicos e iniciativas de mercado que contribuam para naturalizar sua presença no cotidiano das cidades.

Outro aspecto central diz respeito à mão de obra. A montagem de sistemas pré-fabricados exige, em muitos casos, equipes especializadas capazes de compreender instruções precisas e lidar com componentes que exigem processos de instalação diferenciados. No entanto, a lógica da pré-fabricação também abre espaço para a capacitação de mão de obra

local, já que as operações repetitivas e padronizadas permitem treinamento rápido e escalável.

Culturalmente, a aceitação de novos sistemas está vinculada tanto à familiaridade dos trabalhadores com as técnicas empregadas como também do próprio usuário, para que possa promover a manutenibilidade requerida, principalmente diante de uma sociedade em que a pré-fabricação não teve expressividade na construção civil quando comparada a sistemas construtivos tradicionais. Mercados que investem em capacitação e formação técnica tendem a absorver mais facilmente tecnologias de montagem industrializada. Dessa forma, o aspecto social amplia-se para além da viabilidade técnica: trata-se de gerar oportunidades de emprego qualificado e difundir novas práticas no setor da construção civil.

A viabilização de painéis pré-fabricados, como aqueles analisados neste estudo, depende da existência de uma indústria capaz de produzir e fornecer componentes padronizados. Essa indústria não precisa ser, necessariamente, altamente sofisticada: em muitos casos, o que se demanda é a capacidade de fabricação seriada com controle de qualidade e logística eficiente.

Entretanto, quanto mais complexos forem os componentes — como no caso da Casa Standard, em que o número de conexões e a precisão de encaixe eram elevados — maior é a necessidade de infraestrutura industrial especializada. Essa relação evidencia o vínculo entre o aspecto técnico e o socioeconômico: um sistema altamente eficiente em projeto pode tornar-se inviável se não houver cadeia produtiva ou mercado de manutenção que o sustente.

A questão da manutenção a longo prazo revela-se crucial. Jean Prouvé enfrentou, já em meados do século XX, dificuldades relacionadas à reposição de peças e componentes. Relatos de moradores das Casas Standard apontam para a dificuldade de realizar reparos em suas residências, dado que cada peça era desenhada sob medida e dependia de um sistema produtivo específico que, uma vez encerrado, tornava inviável a reposição dos componentes.

Esse dilema ecoa também em experiências brasileiras, como as obras de Lelé, cuja alta personalização dos componentes construtivos pré-moldados e pré-fabricados, apesar da eficiência técnica, resultou em sistemas dependentes de uma indústria muito particular, dificultando a manutenção de suas obras após a desativação de suas fábricas. Tais exemplos reforçam a necessidade de pensar sistemas que conciliem inovação e padronização, garantindo não apenas o desempenho inicial, mas também a viabilidade de manutenção e substituição de peças ao longo da vida útil da edificação.

Por fim, o custo constitui variável determinante para a difusão dos sistemas pré-fabricados, especialmente com a utilização de diferentes materiais em sistema misto. A estimativa do valor de cada painel analisado foi realizada a partir da composição de valores dos materiais disponíveis em tabela SINAPI¹⁹ MG e SP (2024), com base em materiais contemporâneos que poderiam ser empregados nas tipologias de painéis de vedação vertical cegos. As quantidades de cada material utilizado foram calculadas com base nas especificidades de cada painel, tomando como base uma tipologia de medidas L = 1 m, H = 2,5 m e E = 0,1 m. As unidades de cálculo variaram conforme a unidade de medida contida na Tabela SINAPI em questão, sendo empregados os seguintes materiais para composição de custos:

Quadro 16 - Descrição de materiais para composição de custos segundo tabela SINAPI MG e SP 2024.

Código	Descrição	Unidade de medida	Valor / MG	Valor / SP
00043058	Aço CA-50, 10,0 mm, ou 12,5 mm, ou 16,0 mm, ou 20,0 mm, dobrado e cortado	kg	R\$ 7,79 / kg	R\$ / 7,64 kg
00034360	Perfil de alumínio anodizado	kg	R\$ 63,61 / kg	R\$ 44,09 / kg
00011134	Compensado naval – chapa/painel em madeira compensada prensada, de 2200 x 1600 mm, E = 10 mm	m ²	R\$ 73,17 / m ²	R\$ 53,27 / m ²
00004006	Madeira serrada em pinus, mista ou equivalente da região – bruta	m ³	R\$ 1774,14 / m ³	R\$ 1657,41 / m ³
00011615	Poliestireno expandido/EPS (isopor), tipo 2F, placa, isolamento termoacústico, E = 10 mm, 1000 x 500 mm	m ²	R\$ 2,48 / m ²	R\$ 3,68 / m ²

Fonte: elaborado pela autora (2025) com base nas Tabelas SINAPI MG e SP 2024.

A partir dessas informações, foi elaborada estimativa de custos de materiais tendo em vista a confecção de um painel de vedação vertical de cada obra selecionada, com dimensões padronizadas entre eles para análise comparativa. O resultado foi exposto no Quadro 17.

¹⁹ O SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - é a principal fonte de referência brasileira de custos para obras e serviços de engenharia, por determinação do Decreto 7.983/2013. É mantido por parceria entre a CAIXA e o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Quadro 17 - Estimativa de custos de materiais - painéis de vedação vertical.

Tipologia	Materiais	Quantidade	Preço unitário / MG	Preço unitário / SP	Custo Unitário / MG	Custo unitário / SP
Painel Cego Construção desmontável para vítimas de guerra	Madeira maciça	0,25 m ³	R\$ 443,53	R\$ 414,35	R\$ 473,10	R\$ 446,47
	Aço	3,00 kg	R\$ 23,37	R\$ 22,92		
	Isolamento termoacústico	2,50 m ²	R\$ 6,20	R\$ 9,20		
Painel Cego Casa Standard	Madeira compensada	2,50 m ²	R\$ 182,93	R\$ 133,18	R\$ 1.135,44	R\$ 769,33
	Alumínio	13,70 kg	R\$ 871,45	R\$ 604,03		
	Isolamento termoacústico	2,50 m ²	R\$ 6,20	R\$ 9,20		
	Aço	3,00 kg	R\$ 74,86	R\$ 22,92		
Painel Cego Casa para Melhores Dias	Madeira compensada	5,00 m ²	R\$ 365,85	R\$ 266,36	R\$ 486,55	R\$ 454,41
	Isolamento termoacústico	2,50 m ²	R\$ 6,20	R\$ 9,20		
	Alumínio	1,8 kg	R\$ 114,50	R\$ 79,36		

Fonte: elaborado pela autora (2025) com base nas Tabela SINAPI MG e SP 2024.

A análise comparativa dos custos unitários dos três painéis de vedação vertical evidencia diferenças significativas tanto na composição material quanto na viabilidade econômica de sua aplicação no contexto contemporâneo. O painel cego da **Construção Desmontável para Vítimas de Guerra (1944)** apresenta o menor custo unitário (R\$ 473,10 em MG e R\$ 446,47 em SP), em grande parte devido ao uso predominante de madeira maciça em pequena quantidade, associada a baixos custos de aço e de isolamento. Trata-se de uma solução simples, cuja produção poderia ser realizada de forma artesanal, com ferramentas convencionais de marcenaria, ou ainda em escala mecanizada, sem a necessidade de parques fabris altamente especializados. Esse aspecto reforça a adequação do sistema a contextos emergenciais, em que a rapidez e a disponibilidade de mão de obra local constituem fatores determinantes.

Em contrapartida, o painel cego da **Casa Standard (1950)** apresenta o maior custo unitário (R\$ 1.135,44 em MG e R\$ 769,33 em SP), sobretudo em função do uso expressivo de alumínio, que sozinho representa parcela significativa do custo total. Além da onerosidade material, a fabricação desse sistema demandaria um parque industrial especializado, com equipamentos de conformação, corte e tratamento do alumínio, bem como mão de obra altamente qualificada. Isso restringe sua aplicabilidade em contextos nos quais a infraestrutura industrial e os investimentos em tecnologia não estão amplamente

desenvolvidos, ainda que proporcione vantagens técnicas, como leveza, durabilidade e potencial de reciclagem.

Já o painel cego da **Casa para Melhores Dias (1956)** apresenta custo similar ao primeiro, relativamente baixo (R\$ 486,55 em MG e R\$ 454,41 em SP), resultado da combinação entre compensado, alumínio em menor quantidade e isolamento. A produção desse painel é semelhante à da marcenaria convencional, exceto pelo painel de canto curvo, que exige técnicas e maquinários específicos para conformação da madeira. Tal particularidade confere maior complexidade em comparação à Construção desmontável para vítimas de guerra, mas sem alcançar o grau de especialização industrial exigido pela Casa Standard. Assim, sua fabricação pode ser viabilizada em escalas e contextos variados, conciliando a racionalização dos custos com a incorporação de soluções técnicas mais avançadas.

O Quadro 18 apresenta uma comparação dos custos estimados para a construção de uma edificação de 6x6 m utilizando as três tipologias de painéis de vedação vertical analisados neste estudo. Observa-se que, entre as tipologias avaliadas, o emprego dos painéis da Casa Standard apresenta o maior custo de construção, tanto em MG (R\$ 27.250,56) quanto em SP (R\$ 18.463,92), refletindo o valor unitário mais elevado por painel. Já o emprego dos painéis da Construção desmontável para vítimas de guerra e da Casa para Melhores Dias apresenta custos relativamente similares, com destaque para a tipologia da Casa para Melhores Dias, cujo custo total (R\$ 11.677,20 em MG e R\$ 10.905,84 em SP) se mantém ligeiramente acima da construção desmontável, mesmo empregando maior industrialização em sua fabricação.

Quadro 18 - Comparação de custos estimados para construção do sistema de vedação vertical de uma edificação 6X6m com os painéis analisados.

Tipologia	Quant. de painéis	Custo Unitário / MG	Custo edificação 6x6m / MG	Custo unitário / SP	Custo edificação 6x6m / SP
Construção desmontável para vítimas de guerra	24	R\$ 473,10	R\$ 11.354,40	R\$ 446,47	R\$ 10.715,28
Casa Standard	24	R\$ 1.135,44	R\$ 27.250,56	R\$ 769,33	R\$ 18.463,92
Casa para Melhores Dias	24	R\$ 486,55	R\$ 11.677,20	R\$ 454,41	R\$ 10.905,84

Fonte: elaborado pela autora (2025).

De modo geral, a comparação demonstra que, além dos custos diretos dos materiais, a viabilidade dessas soluções, considerando o contexto atual nacional, depende da infraestrutura produtiva disponível e do grau de especialização da mão de obra. Enquanto a Construção desmontável para vítimas de guerra aponta para um modelo de baixo custo, passível de execução artesanal ou com mecanização simples, a Casa Standard revela um sistema de alta complexidade técnica e valor econômico elevado, dependente de processos industriais avançados. Já a Casa para Melhores Dias equilibra desempenho, custos e parcialmente viabilidade produtiva (diante de algumas particularidades do sistema), apresentando-se como alternativa interessante e adaptável para diferentes contextos, no qual a busca por soluções sustentáveis precisa estar articulada à realidade socioeconômica e tecnológica de cada local.

Além disso, a estimativa de custos dos materiais para fabricação dos painéis, calculada para os estados de Minas Gerais e São Paulo demonstra a variabilidade de preços de acordo com o local de fabricação e os materiais utilizados. Como pode ser observado no Quadro 17, no estado de São Paulo os materiais necessários para fabricação dos painéis possuem custo mais baixo do que em Minas Gerais, principalmente relacionado aos materiais com maior grau de industrialização, como o alumínio.

É importante destacar que os custos de mão de obra e maquinários necessários à produção não foram incluídos nos cálculos dos valores unitários apresentados na tabela. Ainda assim, eles exercem um papel fundamental na viabilidade de cada tipologia. Os painéis da Construção desmontável para vítimas de guerra apresentam baixo custo de material, mas a mão de obra tende a representar parcela significativa do custo final. Esses painéis podem ser executados com ferramentas básicas de marcenaria, viabilizando a produção artesanal ou semi-industrial e reduzindo custos logísticos pela possibilidade de fabricação local. Em contextos em que existe disponibilidade de trabalho artesanal ou mão de obra local mais acessível, esse sistema se mostra mais viável; já em locais com custos elevados de trabalho, o peso desse fator pode comprometer a competitividade do sistema.

Na Casa Standard, o custo é fortemente impactado pelo material predominante (alumínio). Sua produção depende de processos industriais especializados, como conformação e tratamento do alumínio, que exigem maquinário de alto custo (extrusoras, prensas, corte CNC, bancadas de solda, tratamento superficial etc.). Esse investimento só se justifica em produções seriadas, pois em pequena escala ele encarece significativamente o

produto. Portanto, a viabilidade econômica do painel está mais vinculada à disponibilidade e ao preço do alumínio, bem como à possibilidade de produção em escala, possivelmente viável em regiões com maior desenvolvimento industrial.

A Casa para Melhores Dias ocupa uma posição intermediária. A fabricação envolve processos similares à marcenaria convencional, porém, a execução do painel curvo demanda técnicas específicas, como curvatura a vapor ou moldagem em formas, elevando o custo de mão de obra em relação aos painéis planos. O processo pode ser otimizado quando incorporado à produção industrial, aumentando a escala produtiva e controle tecnológico das etapas mais complexas.

A exclusão dos custos de mão de obra e maquinário dos valores unitários indica que os resultados da tabela devem ser entendidos como uma base material mínima. Na prática, os custos finais variam de acordo com o contexto socioeconômico de aplicação, sobretudo em função do mercado de trabalho local e da disponibilidade de infraestrutura produtiva. Assim, a interpretação dos dados precisa considerar não apenas o preço dos insumos, mas também o impacto da mão de obra e dos processos produtivos sobre a viabilidade de cada tipologia²⁰.

Cabe destacar que esse exercício não teve apenas caráter financeiro, mas também crítico: evidenciou-se como sistemas inovadores concebidos no século XX, em que a análise quanto à sua aplicabilidade atual deve ser confrontada com dados de custo, disponibilidade de materiais e capacidade produtiva. Assim, a análise socioeconômica consolida-se como etapa indispensável para a compreensão da viabilidade real dos sistemas estudados, concomitantemente à sua aceitação cultural em uma determinada região.

Ao mesmo tempo, a articulação entre aspectos ambientais, técnicos e socioeconômicos mostra-se essencial, pois apenas a integração dessas dimensões permite avaliar de forma abrangente os potenciais e as limitações da adoção de tais soluções no contexto atual, um campo em que frequentemente se apresentam de forma indissociável. Os sistemas mistos em aço e madeira, por exemplo, possibilitam a proteção das peças de madeira por meio do uso de perfis metálicos para acabamento e conexão entre os painéis, como no caso da Construção desmontável para vítimas de guerra. Nessa solução, o topo da madeira é protegido pelas conexões metálicas, o que reduz a exposição a agentes de degradação, amplia

²⁰ Para complementar o estudo de custos dos painéis analisados, houve a tentativa de contactar empresas fabricantes no contexto do estado de São Paulo, porém sem retorno.

o tempo entre intervenções de manutenção e substituição de peças, e articula diretamente os aspectos ambientais, técnicos e socioeconômicos.

A manutenibilidade é outro requisito que permeia essas três dimensões e que se manifesta em diferentes graus nos painéis estudados. Ela envolve tanto a possibilidade de reuso de peças e materiais empregados, quanto o nível de detalhamento técnico para pré-fabricação, montagem e desmontagem, impactando a vida útil dos componentes e a economia de recursos. No caso dos painéis de madeira maciça da Construção desmontável para vítimas de guerra, a substituição de elementos é facilitada, sobretudo nas faces externas, em que as tábuas utilizadas no fechamento dos painéis podem ser retiradas e substituídas individualmente. Já nos painéis da Casa Standard, essa prática é mais restrita: as chapas de compensado são de grandes dimensões e as faces externas de alumínio integram o painel como um todo, inviabilizando trocas pontuais. A placa de compensado pode ser retirada para manutenção após a desmontagem do painel, sem comprometer a estrutura do edifício, porém, a substituição de partes do componente deve ser realizada dentro da indústria. De modo similar, na Casa para Melhores Dias, a placa de compensado também pode ser substituída, mas a fixação da camada interna de isolamento termoacústico, conectada às faces de madeira, dificulta a manutenção do conjunto em uma manutenção *in loco*, sendo recomendável condições técnicas oferecidas pela indústria.

A análise empreendida percorreu três dimensões complementares. A primeira destacou as potencialidades dos materiais aplicados – madeira e seus derivados, aço e alumínio — considerando suas cadeias produtivas e princípios associados à sustentabilidade. A segunda concentrou-se nos aspectos técnicos, explorando as normas da ABNT referentes a esquadrias e vedações, os critérios de desempenho, bem como as especificidades produtivas, como a pré-fabricação, a racionalização projetual e as soluções de montagem e desmontagem. A terceira dimensão abordou os aspectos socioeconômicos, que incluem não apenas custos e volumes de material, mas também questões culturais, como o grau de aceitação contemporânea dos sistemas mistos, das soluções pré-fabricadas e da aplicação da madeira em edificações civis no contexto atual.

Essas três esferas, entretanto, não podem ser entendidas de forma isolada. As escolhas técnicas, como a adoção de sistemas pré-fabricados ou de soluções de desmontagem, condicionam o desempenho ambiental das construções, seja pela redução de resíduos, pelo uso eficiente dos recursos ou pela extensão da vida útil dos componentes. As

demandas ambientais, por sua vez, orientam as soluções construtivas, reforçando a seleção de materiais renováveis, recicláveis e de baixo impacto. Já os fatores socioeconômicos delimitam a viabilidade dessas propostas, influenciando tanto os custos e a disponibilidade de insumos quanto a aceitação cultural dos sistemas mistos e da madeira aplicada em vedações verticais.

Assim, percebe-se que a análise dos painéis de Jean Prouvé deve ser entendida como um exercício de interdependência entre dimensões ambientais, técnicas e socioeconômicas, como apresentado em síntese no Quadro 19. Para essa síntese, foram estabelecidos cinco critérios de caracterização do grau de industrialização dos painéis de vedação vertical estudados, sendo:

- Grau 0: produção artesanal, sem necessidade de processos industriais;
- Grau 1: baixa industrialização, exigindo apenas cortes simples e padronizados realizados em pequena escala em marcenarias ou serrarias convencionais, sem depender de maquinário especializado;
- Grau 2: industrialização básica, com a necessidade de fabricar peças com encaixes ou conexões pré-definidas, podendo demandar cortes mais precisos e padronização mínima, mas ainda viáveis em oficinas comuns;
- Grau 3: industrialização intermediária, com maior padronização e repetição de peças, uso de chapas ou perfis metálicos simples, demandando maquinário industrial mais específico;
- Grau 4: alta industrialização, com processos industriais mais avançados, como moldagem de madeira ou componentes metálicos que precisam de cortes e dobras em escala industrial;
- Grau 5: industrialização máxima, com maior dependência de processos altamente especializados e personalizados, combinando tecnologias industriais complexas.

Quadro 19 – Síntese da análise dos painéis de vedação vertical.

CrITÉRIOS de análise	Painel 1 – Construção desmontável para vítimas de guerra (1944)	Painel 2 – Casa Standard (1950)	Painel 3 – Casa para Melhores Dias (1956)
Materialidade e impacto ambiental	Predomínio de madeira maciça, com baixa energia incorporada; aço aplicado pontualmente nas conexões, com impacto ambiental reduzido.	Introdução da madeira compensada incorpora resinas e adesivos; maior uso de aço e alumínio eleva a energia incorporada e as emissões.	Uso integral de compensado racionaliza a aplicação da madeira, mantendo impactos associados aos adesivos; alto impacto energético do alumínio, porém em menor volume.
Circularidade, desmontagem e reuso	Alto potencial de desmontagem, remontagem e reuso integral ou parcial; madeira sem aditivos favorece múltiplos destinos ao final da vida útil.	Sistema parcialmente desmontável; reciclabilidade dos metais contrasta com a dificuldade de reuso do compensado colado.	Conexões em alumínio permitem desmontagem pontual; sistema mais seriado e industrializado, com materiais duráveis e recicláveis.
Racionalização construtiva	Sistema complexo, com elevado número de peças e conexões específicas; painéis mais pesados e menor padronização, embora desmontáveis.	Redução significativa de componentes; painéis leves e conexões padronizadas, permitindo montagem rápida e racionalizada.	Maior racionalização produtiva; uniformização da composição dos painéis e das conexões.
Viabilidade socioeconômica	Baixo custo de materiais, possibilidade de fabricação com industrialização básica e uso de mão de obra local; boa manutenibilidade e facilidade de reposição de peças.	Elevado custo de materiais, dependência de indústria altamente especializada; apesar do bom desempenho técnico, o apresenta dificuldade de manutenção e reposição de componentes.	Equilíbrio entre custos relativamente baixos e elevado grau de industrialização; possibilidade de fabricação em marcenaria mecanizada ou em escala industrial; complexidade do painel curvo.

Fonte: elaborado pela autora (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar diferentes técnicas desenvolvidas por Jean Prouvé em sistemas de vedações verticais mistas em aço e madeira, identificando os principais fatores que tornam essas soluções construtivas passíveis de aplicação no contexto atual. Para isso, foram examinadas três obras representativas de sua trajetória: a Construção desmontável para vítimas de guerra (1944), a Casa Standard (1950) e a Casa para Melhores Dias (1956). A investigação revelou avanços significativos no desenvolvimento dos painéis de vedação vertical destas edificações, tanto em relação à racionalização produtiva quanto ao desempenho técnico, montagem e desmontagem, além de evidenciar a forma singular como Prouvé adequava a industrialização de suas inovações ao contexto histórico, explorando de maneira eficiente e complementar as propriedades da madeira e do aço.

A análise da cadeia produtiva da madeira, desde sua forma maciça até os produtos industrializados, evidenciou que estratégias como pré-fabricação, modularidade, reaproveitamento de resíduos e uso consciente da matéria-prima contribuem significativamente para a redução de impactos ambientais e para a eficiência no consumo de recursos. O estudo revelou também que, embora a madeira apresente excelentes atributos renováveis e ambientais, sua performance se potencializa quando combinada a elementos metálicos, que conferem maior precisão, estabilidade e durabilidade aos sistemas construtivos.

No contexto das vedações verticais, identificou-se uma transição importante na obra de Prouvé: o deslocamento da madeira maciça para produtos industrializados, em diálogo com o uso crescente do aço. Essa combinação resultou em soluções mais leves e modulares, capazes de equilibrar o desempenho e flexibilidade construtiva. O aço, empregado como elemento de conexão e reforço, assumiu papel essencial para a racionalização dos sistemas, enquanto a madeira manteve-se como material principal de fechamento e expressão formal. A análise demonstrou que os sistemas mistos permitem explorar o melhor de cada material, superando limitações que surgem quando utilizados isoladamente.

Apesar dos avanços técnicos e ambientais apontados, a literatura nacional sobre a aplicação da madeira em vedações verticais permanece limitada, sobretudo no que se refere à utilização de sistemas mistos. Assim, esta pesquisa contribui para preencher parte dessa lacuna ao discutir as potencialidades da madeira como recurso construtivo sustentável e tecnologicamente adaptável. Ao aliar tradição, inovação e responsabilidade ambiental, a madeira reafirma sua relevância para uma construção racional, eficiente e de baixo impacto.

Ao retomar a primeira pergunta de pesquisa apresentada no Capítulo Introdutório – “*Quais os limites e potencialidades dos sistemas mistos em aço e madeira em vedações verticais em relação à dimensão ambiental?*” – a análise dos sistemas permitiu identificar limites e potencialidades do ponto de vista ambiental. No desenvolvimento deste trabalho, foi possível abordar de maneira integrada os princípios da sustentabilidade aplicados à construção em madeira, destacando o equilíbrio entre aspectos ambientais, técnicos e socioeconômicos. Observou-se que a redução do número de peças e a simplificação dos sistemas de conexão desenvolvidos e aprimorados por Jean Prouvé em sua trajetória profissional resultam em benefícios materiais, energéticos e operacionais, ao mesmo tempo em que favorecem a desmontagem e o reaproveitamento dos componentes. Essas constatações reforçam a atualidade de seu pensamento construtivo, alinhado a conceitos atuais de sustentabilidade, como o design para desmontagem (*Design for Disassembly*) e a economia circular.

A investigação dos painéis mistos evidenciou a complexidade e a precisão exigidas por esses sistemas. A complementaridade entre madeira e aço — entre leveza e resistência, entre naturalidade e precisão — permite o desenvolvimento de painéis modulares pré-fabricados com alto desempenho térmico e estrutural. Para tanto, são fundamentais o correto dimensionamento das peças, a padronização das conexões e a compatibilidade entre materiais. A madeira, em seus diversos graus de industrialização, oferece versatilidade ao projeto; o aço, por sua vez, assegura resistência local, uniformidade e potencial de reaproveitamento. O conjunto desses fatores resulta em sistemas eficientes, duráveis e compatíveis com a busca por uma construção de menor impacto ambiental.

A aplicação em obra requer, entretanto, atenção à sequência de montagem, à estanqueidade e à integração entre painéis e esquadrias. Quando devidamente planejados, os sistemas mistos apresentam vantagens notáveis: rapidez de execução, modularidade, flexibilidade e elevado desempenho técnico. As obras de Prouvé ilustram claramente essa progressão: de sistemas mais artesanais e manuais, com predomínio da madeira maciça, para soluções industrializadas, com uso de chapas compensadas e conexões metálicas otimizadas. Essa trajetória demonstra uma busca constante por eficiência e adaptabilidade, revelando como as soluções de Prouvé conciliavam desempenho técnico e capacidade de resposta às condições produtivas de cada contexto.

Entre os avanços mais significativos identificados está a simplificação dos perfis metálicos e o aprimoramento das junções, que tornaram os sistemas mais leves e racionais. Ainda assim, registros históricos (como no estudo de Sulzer, 2005) indicam desafios em relação à manutenção e substituição de componentes, apontando fragilidades na aplicação prática. Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias digitais de fabricação e modelagem desponta como caminho promissor para atualizar as soluções de Prouvé, ampliando sua precisão, replicabilidade e sustentabilidade.

A etapa experimental da pesquisa, realizada por meio da elaboração de modelos reduzidos, mostrou-se fundamental para compreender aspectos construtivos e validar conceitos identificados na análise teórica. A prototipagem física permitiu explorar a lógica de montagem, a interação entre os componentes e materiais utilizados e o comportamento dos sistemas frente à curvatura, encaixe e modularidade. Esse processo experimental, ao unir o fazer manual ao pensamento projetual, possibilitou reflexões valiosas sobre racionalização, precisão e desempenho construtivo, além de reforçar o papel da experimentação como método de investigação em arquitetura. Apesar de limitações inerentes à escala, os modelos reduzidos se revelaram instrumentos eficazes para observar, testar e aprimorar soluções construtivas.

Em relação à segunda pergunta de pesquisa – *“Em que medida os sistemas de vedações mistos em aço e madeira desenvolvidos por Jean Prouvé podem ser aplicados, em resposta a problemáticas atuais?”* –, constatou-se que tais sistemas podem ser adaptados atualmente para diferentes contextos, desde que integrados fatores técnicos, ambientais e socioeconômicos. Aspectos técnicos, como pré-fabricação, modularidade, integração com esquadrias e uso de tecnologias digitais, são essenciais para assegurar desempenho térmico, acústico e estrutural adequado. Por outro lado, a viabilidade construtiva depende de condições produtivas adequadas, disponibilidade de materiais e infraestrutura industrial. Fatores socioeconômicos, como custo de produção e qualificação da mão de obra, influenciam diretamente a implementação prática, especialmente em contextos com menor grau de industrialização.

Ao retomar a hipótese inicial *“Os sistemas de vedações verticais mistos em aço e madeira desenvolvidos por Jean Prouvé são passíveis de aplicação no contexto atual, a partir de adaptações com materiais e técnicas contemporâneas, e permitem aliar tecnologia e princípios da sustentabilidade, ampliando as potencialidades de cada material, assim como*

minimizando suas limitações a partir da pré-fabricação e reuso” constatou-se que os sistemas estudados são, de fato, passíveis de aplicação no contexto contemporâneo, desde que realizados ajustes relativos aos materiais, técnicas e condições socioeconômicas. Os princípios de racionalização, pré-fabricação e sustentabilidade mostram-se plenamente válidos, embora a implementação prática dependa de adaptações técnicas, conformidade normativa e adequação ao contexto cultural e produtivo local, incluindo a disponibilidade de materiais, mão de obra qualificada e infraestrutura industrial. Observa-se que, em determinados ambientes industriais e econômicos, as soluções poderiam ser aplicadas com poucas modificações, demonstrando a atemporalidade do pensamento construtivo de Prouvé.

A análise das obras de Jean Prouvé evidencia diferentes possibilidades de desenvolvimento de painéis mistos, que variam de soluções mais artesanais a processos industrializados, adaptáveis a distintos contextos econômicos e culturais. Mesmo os painéis inteiramente em madeira podem assumir caráter híbrido, conforme o grau de exposição e a função de cada elemento, possibilitando a combinação entre diferentes espécies ou entre madeira maciça e produtos industrializados. Por exemplo, pode-se aplicar uma madeira de maior densidade na face externa e outra de menor densidade na face interna, ou ainda associar uma chapa industrializada na parte interna e madeira maciça na parte externa. Essas soluções adaptativas podem ser incorporadas aos três sistemas de Prouvé estudados, mantendo a lógica construtiva original e ampliando a versatilidade e o potencial de adequação dos materiais.

Do ponto de vista ambiental, técnico e socioeconômico, algumas tipologias, como a desenvolvida na Construção desmontável para vítimas de guerra, permitem o aproveitamento de peças curtas de madeira, resíduos da cadeia produtiva da madeira maciça ou madeira de menor qualidade na face interna dos painéis, aumentando a circularidade do material e seu caráter sustentável. Entretanto, considerando os avanços normativos e as exigências de desempenho atuais, os painéis originais desenvolvidos na década de 1950 não atingiriam os níveis de desempenho e estanqueidade exigidos atualmente. Isso demonstra que, embora a lógica construtiva de Prouvé permaneça válida, sua aplicação exige atualização de materiais, detalhes técnicos e adaptação a padrões modernos de eficiência e conforto.

Em síntese, este trabalho confirma que os sistemas de vedações verticais mistos em aço e madeira concebidos por Prouvé podem ser ressignificados e aplicados no contexto atual, mantendo seus princípios de modularidade, racionalização e sustentabilidade, ao mesmo

tempo em que se beneficiam de técnicas e materiais atuais. A integração entre aspectos ambientais, técnicos e socioeconômicos constitui, portanto, condição essencial para a viabilidade e difusão dessas soluções.

Por fim, o trabalho reafirma o legado de Jean Prouvé e aponta direções para futuras pesquisas. Ensaio laboratoriais e em escala real com materiais atuais, como madeira industrializada e conexões metálicas padronizadas, poderão validar e aprimorar as soluções aqui analisadas. Além disso, experimentos de desempenho térmico, acústico e estrutural permitirão avaliar a aplicabilidade prática, enquanto investigações sobre a cadeia produtiva de madeira e insumos sustentáveis, considerando a realidade regional brasileira, podem ampliar a viabilidade dos sistemas. O desenvolvimento de soluções que conciliem eficiência técnica, sustentabilidade e viabilidade socioeconômica representa um desdobramento natural do estudo, consolidando a integração entre essas dimensões como condição indispensável para a implementação efetiva de painéis mistos em aço e madeira no contexto atual. Dessa forma, a obra de Prouvé não apenas responde a demandas específicas de seu tempo, mas mantém atualidade ao evidenciar estratégias que continuam centrais para a construção civil do século XXI.

REFERÊNCIAS

- AFLALO, M. **Estruturas em madeira: forma e método**. 2020. 161 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.
- AFLALO, M. Estruturas de madeira contemporâneas. *In*: OLIVEIRA, F. L.; OLIVEIRA, G. L.; BRAZOLIN, S. (Org.). **A madeira industrializada na arquitetura contemporânea brasileira**. 1. ed. São Paulo: Editora Leud, 2023. p. 97–125.
- AHN, N. *et al.* Circular economy in mass timber construction: State-of-the-art, gaps and pressing research needs. **Journal of Building Engineering**, v. 53, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104562>
- AKPAN, E. I. *et al.* Controlled interlayer binding and healing improve the transverse properties of upcycled disposable waste wood. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 16, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.4c03707>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-4:2021**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11678:2016**: Divisórias leves internas moduladas - Verificação do comportamento sob ação das cargas provenientes de peças suspensas. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16936:2023**: Edificações em light wood frame. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15873:2024**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- BARATA, T. Q. F. **Propostas de painéis leves de madeira para vedação externa adequados ao zoneamento bioclimático brasileiro**. 2008. 283 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- BERRIEL, A. **Arquitetura de madeira: reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos**. 2009. 363 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- BERTHIER, S. Timber in the buildings of Jean Prouvé: an industrial material. **Journal of Construction History Society**, v. 30, n. 2, p. 87–106, out. 2015.
- BERTHIER, S. Les charpentes de Jacques Anglade: une contre culture constructive. **Criticat**, p. 68–87, 2016.

BERTHIER, S. **Création architecturale et industrialisation de la filière bois: l'architecture comme milieu d'expérimentation des innovations techniques**. Paris, Université Paris Saclay (ComUE), 2017.

CASTRO, F. R. DE M. **O objeto técnico: a casa em Nancy**. 2009. 85 p. Dissertação (Mestrado em Teoria e Prática do Projeto de Arquitetura) – Departamento de Projetos Arquitetônicos, Universidade Politécnica da Catalunha, 2009.

CHILETTO, T. DE O. *et al.* Produtos de madeira para construção. *In*: INO, A.; SHIMBO, L. (Org.). **Projetar e construir com madeira**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2024. p. 103.

COSTA, B. G. R.; LAVERDE, A. As relações entre tecnologia e sustentabilidade no estudo da pré-fabricação e reuso da madeira. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024. DOI: <https://doi.org/10.46421/entac.v20i1.6049>

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 2004. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DUARTE, A. L. *et al.* Tecnologia Ligno: desenvolvimento tecnológico para compósitos de resíduos de madeira da indústria moveleira. *Em*: **Tecnologia, Sociedade e Cultura: um contexto de interação**. Brasil: Geplam Assessoria: Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da UFMG, 2023. p. 195–215.

EL CROQUIS. **179/180**: SANAA 2011–2015. Madrid: El Croquis Editorial, 2015.

ENGEL, H. **Sistemas estruturais**. Barcelona: Editorial G. Gili, 2003.

ETERNIT. **Painel Wall - Ficha Técnica**. Disponível em: <<https://www.eternit.com.br/catalogos/fichas-tecnicas>>. Acesso em: 11 set. 2024.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERNÁNDEZ-COSTAS, C. *et al.* A sustainable treatment for wood preservation: enzymatic grafting of wood extractives. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 5, n. 9, p. 7557–7567, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b00714>

FERNÁNDEZ-GALIANO, L. **Jean Prouvé 1901-1984: industrial beauty**. Espanha: Ivorypress, 2011. 1 vídeo (5 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4LYVBste8vc>. Acesso em: 12 jun. 2024.

FONDATION LE CORBUSIER. **Le Corbusier - biography**. Disponível em: <<https://www.fondationlecorbusier.fr/en/le-corbusier/biography/>>. Acesso em: 15 jul. 2025.

GANDINI, J. M. D. **Aplicação de conceitos de sustentabilidade no desenvolvimento de projeto de componentes estruturais pré-fabricados com emprego de madeira de florestas plantadas**. 2016. 225 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

GAUZIN-MÜLLER, D. **Arquitetura Ecológica**. 1. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2011.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GHELLERE, F. B. **Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira**. 2020. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

GHELLERE, F. B.; INO, A. Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira: diretrizes para projeto e produção na obra. *In*: XVII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais [...]**. Florianópolis: Portal de Eventos Científicos da Escola de Engenharia de São Carlos, 8 mar. 2021.

Governo Federal. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Tabela de custos de insumos e serviços, versão 2024. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_761. Acesso em: 18 set. 2025.

GROAT, L.; WANG, D. **Architectural research methods**. 2. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

GROBA, U.; BLUMER, S. Re: source pavilion - exploring the circular use of wooden building materials. *In*: 13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023. **Anais [...]**. Oslo: World Conference on Timber Engineering (WCTE), 2023. DOI: <https://doi.org/10.52202/069179-0472>

HABER, H. L. *et al.* Environmentally friendly process for recovery of wood preservative from used copper naphthenate-treated railroad ties. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 5, n. 11, p. 10806–10814, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02760>

HARRIS, H. G.; SABNIS, G. M. **Structural modeling and experimental techniques**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780367802295>

HERZOG, T. *et al.* **Timber construction manual**. Basel: Birkhäuser, 2004. DOI: <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614634>

JEAN PROUVÉ SAS. **Jean Prouvé**. Disponível em: <<https://www.jeanprouve.com/fiche/1944-5>>. Acesso em: 8 jun. 2025.

JENCKS, C. **The New Paradigm in Architecture: The Language of Post-modernism**. New Haven: Yale University Press, 2002.

KIM, D. Y. A design methodology using prototyping based on the digital-physical models in the architectural design process. **Sustainability**, v. 11, n. 16, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.3390/su11164416>

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology: wood based materials**. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, v. 2. 1975. DOI:

https://doi.org/10.1007/978-3-642-87931-9_1

LAVERDE, A. **Os espaços experimentais das escolas públicas de arquitetura do Brasil: realidade ou utopia?** 2017. 320 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

LAVERDE, A.; BARBOSA, M. C. R. Concepção arquitetônica e estrutural com madeira reconstituída. *In*: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto, 7. **Anais [...]**. Even3, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.29327/sbqp2021.438071>

LAVERDE, A.; COSTA, B. G. R.; SANTOS, M. F. X. A contribuição de Jean Prouvé para o desenvolvimento de sistemas construtivos mistos com madeira e aço. *In*: XVII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais [...]**. Florianópolis: Portal de Eventos Científicos da Escola de Engenharia de São Carlos, 2021.

LAVERDE, A.; COSTA, B. G. R. Aplicabilidade da madeira em painéis de vedação vertical na obra de Jean Prouvé. *In*: XVIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais [...]**. Curitiba: UFPR, 2025.

LAVERDE, A.; LOURENÇO, A. S. S. Sistemas construtivos em madeira maciça na arquitetura contemporânea internacional. *In*: XVIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais [...]**. Curitiba: UFPR, 2025.

LAVERDE, A.; OLIVEIRA, C. A. Particularidades e similitudes projetuais na trajetória de Jean Prouvé e João Filgueiras Lima – Lelé. *In*: VIII Projetar - La Experimentación Proyectual. **Anais [...]**. Buenos Aires: La Experimentación Proyectual, 2017.

LAVERDE, A.; OLIVEIRA, C. T. Os espaços experimentais das escolas públicas de Arquitetura do Brasil: realidade ou utopia? **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 101, n. 258, p. 436-457, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24109/2176-6681.rbep.101i258.4357>

LEHMANN, S. Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions. **Sustainable Cities and Society**, v. 6, n. 1, p. 57–67, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2012.08.004>

LEITE, M. R. M. **Caracterização das costaneiras da madeira de eucalipto para uso na indústria moveleira**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais – REDEMAT, Belo Horizonte, 2005.

LIMA, A. T. *et al.* Mapping circular economy practices for steel, cement, glass, brick, insulation, and wood – a review for climate mitigation modeling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 202, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114697>

LIUBARTAS, D. *et al.* A SUSTENTABILIDADE DO AÇO E DAS ESTRUTURAS METÁLICAS. **INOVAE - Journal of Engineering and Technology Innovation**, p. 1–19, 2015.

MENDOZA, Z. M. S. H. *et al.* Aspectos gerais sobre adesivos para madeira. **Multitemas**, v. 22, n. 51, p. 49–68, 2017.

MIRANDA, M. J. A. C.; BRAZOLIN, S. Produção da madeira no Brasil. *In*: OLIVEIRA, F. L.; OLIVEIRA, G. L.; BRAZOLIN, S. (ORG.). **A madeira industrializada na arquitetura contemporânea brasileira**. 1. ed. São Paulo: Editora Leud, 2023. p. 41–55.

MORELLI, R. La technique est un moyen et pas une fin en soi. Entretien avec Jacques Anglade. **Cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère**, v. 20, 2024. DOI: <https://doi.org/10.4000/11pav>

NAKANISHI, T. M. **Arquitetura e domínio técnico: a prática de Marcos Acayaba**. 2007. 179 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

NIU, Y. *et al.* Prolonging life cycles of construction materials and combating climate change by cascading: the case of reusing timber in Finland. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 170, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105555>

NOGUEIRA, J. R. S.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C. Desempenho de painel de vedação vertical externa em Light Steel Framing composto por placas de madeira mineralizada. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 3, p. 289–307, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000300282>

PASTORI, S.; MAZZUCHELLI, E. S.; WALLHAGEN, M. Hybrid timber-based structures: a state of the art review. **Construction and Building Materials**, v. 359, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129505>

PEDREÑO-ROJAS, M. A. *et al.* **Reuse of wood biomass ash to improve thermal behavior of gypsum plasters**. *In*: ESICC 2023 - Energy efficiency, Structural Integrity in historical and modern buildings facing Climate change and Circularity. **Anais [...]**. Elsevier B.V., 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.02.014>

PINEDA, L. A. La Maison Standar de Jean Prouvé en Meudon. Edifício, fachadas y paneles verticales. **Revista Indexada de Textos Académicos**, n. 2, p. 106–113, 2014. DOI: [https://doi.org/10.24192/2386-7027\(2014\)\(v2\)\(07\)](https://doi.org/10.24192/2386-7027(2014)(v2)(07))

PROUVÉ, J. **Conversaciones con Jean Prouvé**. Armelle Lavalou (ed.). Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2005.

REZENDE, S. R. **Painéis de madeira para vedações internas com foco na região Uberlândia**. 2016. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

RUBIN, R. Preserving and presenting prefab: Jean Prouvé's Tropical House. **Future Anterior: Journal of Historic Preservation, History, Theory, and Criticism**, v. 2, n. 1, p. 30–39, 2005.

SACHANOWICZ, T. Creativity and Use of Physical Models in Architectural Design. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 471, n. 8, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1088/1757-899X/471/8/082072>

SAMPLE, V. A.; SEDJO, R. A. Sustainability in forest management: an evolving concept. **International Advances in Economic Research**, v. 2, n. 2, p. 165–173, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02295056>

SANDAK, A. *et al.* **Bio-based Building Skin**. Hong Kong: Springer Open, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3747-5>

SARAMAGO, R. DE C. P. **Arquitetura sustentável?: quando o discurso não mais sustenta um futuro para a prática arquitetônica**. São Paulo: Annablume, 2023.

SCHUSTER, S.; GEIER, S. CircularWOOD - Towards circularity in timber construction in the german context. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais [...]**. Berlin: IOP Publishing, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012030>

SEGUIN, P. **Jean Prouvé**. 2. ed. Paris: Edition Galerie Patrick Seguin, v. 2, 2017.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23. ed. Cortez Editora, 2014.

SULZER, P. **Jean Prouvé, Oeuvre complète: 1917-1933**. v. 1. Berlin: Birkhäuser, 1999.

SULZER, P. **Jean Prouvé, Oeuvre complète: 1934-1944**. v. 2. Berlin: Birkhäuser, 2000.

SULZER, P. **Jean Prouvé, Oeuvre complète: 1944-1954**. v. 3. Berlin: Birkhäuser, 2005.

SULZER, P. **Jean Prouvé, Oeuvre complète: 1954-1984**. v. 4. Berlin: Birkhäuser, 2008.

VALLE, I. M. R. O MODELO REDUZIDO NO ENSINO DE CONSTRUÇÃO EM MADEIRA. In: VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de madeira. **Anais [...]**. São Carlos: EESC/USP, 2000.

VALLE, I. M. R. *et al.* A contribuição de Zanine para a arquitetura e para a construção em madeira em Brasília. In: XIV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais [...]**. Natal, 2014.

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based Composites and Panel Products. In: **Wood Handbook - Wood as an Engineering Material**. Forest Products Laboratory, 1999. p. 227–257.

ZENID, G. J. (Org.). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009.

ZUMTHOR, P. **Thinking Architecture**. 2. ed. Basel: Birkhäuser, 2006.

**APÊNDICE A – NORMATIVAS VIGENTES RELACIONADAS À CONSTRUÇÃO E AOS
SUBSISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA**

CÓDIGO	TÍTULO
ABNT NBR 6627:1981	Pregos comuns e arestas de aço para madeiras
ABNT NBR 7203:1982	Madeira serrada e beneficiada
ABNT NBR 9487:1986	Classificação de madeira serrada de folhosas – Procedimento
ABNT NBR 11700:1991	Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral - Classificação
ABNT NBR 14807:2002	Peças de madeira serrada - Dimensões
ABNT NBR 14806:2002	Madeira serrada de eucalipto - Requisitos
ABNT NBR 12551:2002	Madeira serrada - Terminologia
ABNT NBR 11941:2003	Madeira – Determinação da densidade básica
ABNT NBR ISO 1096:2006	Madeira compensada – Classificação
ABNT NBR ISO 2426-1:2006	Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial
ABNT NBR ISO 1954:2006	Madeira compensada – Tolerâncias dimensionais
ABNT NBR 9480:2009	Peças roliças de eucalipto para construções rurais - Requisitos
ABNT NBR 15798:2010	Pisos de madeira – Terminologia
ABNT NBR 15799:2010	Pisos de madeira com e sem acabamento – Padronização e classificação
ABNT NBR ISO 1032:2010	Madeira serrada de coníferas – Dimensões – Termos e definições
ABNT NBR ISO 2299:2010	Madeira serrada de folhosas – Defeitos – Classificação
ABNT NBR ISO 3179:2011	Madeira serrada de coníferas – Dimensões nominais
ABNT NBR 15930-1:2011	Portas de madeira para edificações – Parte 1: Terminologia e simbologia
ABNT NBR ISO 2074:2012	Madeira compensada – Vocabulário
ABNT NBR 6232:2013	Penetração e retenção de preservativos em madeira tratada sob pressão
ABNT NBR 14810-1:2013	Painéis de partículas de média densidade – Parte 1: Terminologia
ABNT NBR 15316-1:2014	Painéis de fibras de média densidade – Parte 1: Terminologia
ABNT NBR 11869:2017	Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral – Inspeção e recebimento
ABNT NBR 12498:2017	Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral - Requisitos
ABNT NBR 15930-2:2018	Portas de madeira para edificações – Parte 2: Requisitos
ABNT NBR 16864-1:2020	Madeira Serrada – Parte 1: Terminologia
ABNT NBR 16864-2:2020	Madeira Serrada – Parte 2: Requisitos gerais
ABNT NBR 16996-1:2021	Madeira serrada – Construção civil – Parte 1: Coníferas
ABNT NBR 7190-1:2022	Projeto de estruturas de madeira – Parte 1: Critérios de dimensionamento
ABNT NBR 16936:2023	Edificações em light wood frame

Fonte: Elaborado pela autora a partir da coleção ABNT (2025).

APÊNDICE B – TABELA DE ORGANIZAÇÃO DE OBRAS DE JEAN PROUVÉ

[Link para visualização da tabela](#)

Organização de obras de Jean Prouvé

Painéis de vedação vertical em aço e madeira

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	⌵ Livro	≡ Página	⌵ Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1926	Cabine de elevador de forma octogonal	aço	1	56	Construído	☐	☐
1927	Grelha interna - Grelhas da Villa Reifenberg, Paris	aço	1	78	Construído	☐	☐
1928/29	Janelas com porta pivotante em chapa prensada	aço	1	72	Construído	☐	☐
1928/29	Porta de acesso aos apartamentos	aço ferro	1	61	Construído	☐	☐
1929	Trabalho realizado para os Etablissements Citroën, Garage Marbeouf em Paris	aço	1	144	Construído	☐	☐
1929-31	Portas em chapa curva montada em tubo	aço	1	132	Construído	☐	☐
1930	Modelo para batente de porta	aço	1	127	Construído	☐	☐
1930	Grelhas de proteção para elevador	aço	1	68	Construído	☐	☐
1930	Trabalho realizado para a Associação Lorraine d'Etudes Anthropologiques em Nancy	aço ferro	1	116	Construído	☐	☐
1930/31	Trabalho realizado no jardim de inverno	aço	1	141	Construído	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
	<u>do Hôtel Docteur Spillmann em Nancy</u>						
1930/31	<u>Trabalho realizado para o showroom e garagem da Citroën em Lyon</u>	aço	1	145	Construído	☐	☐
1931	<u>Cabines de elevador para a Cité des Informations na Exposition Coloniale em Paris</u>	aço	1	124	Construído	☐	☐
1931, 1935, 1939	<u>Trabalho realizado para as Messageries Hachette em Paris - Divisórias móveis</u>	aço	1	161	Construído	☐	☐
1931/32	<u>Divisórias móveis</u>	aço	1	157	Patente	☐	☐
1931/32	<u>Trabalho realizado para a Révillon Frères em Paris - Divisórias metálicas móveis</u>	aço	1	163	Construído	☐	☐
1932	<u>Projeto para a Société Immobilière, Paris</u>	aço	1	197	Projeto	☐	☐
1932/33	<u>Divisórias móveis</u>	aço	1	197	Patente	☐	☐
1932/33	<u>Trabalhos realizados para a Pétroles Jupiter, Pauillac</u>	aço	1	197	Construído	☐	☐
1933	<u>Acessórios metálicos para construção do apartamento na cobertura de M. Robert Germain em Argel, Argélia</u>	aço	2	67	Construído	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	⌵ Livro	≡ Página	⌵ Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1933-35	<u>Projetos e obras realizadas para a Prefeitura de Boulogne-Billancourt</u>	aço	2	55	Construído	☐	☐
1933/34	<u>Divisórias móveis</u>	aço	2	49	Construído	☐	☐
1933/34	<u>Modelo para a competição O.T.U.A.</u>	aço	2	85	Protótipo	☐	☐
1934/35	<u>Projeto de divisórias externas realocáveis</u>	aço	2	103	Projeto	☐	☐
1934/35	<u>Projetos e obras realizadas para o Musée de la Peinture - Musée des Beaux-arts de Nancy</u>	aço	2	87	Construído	☐	☐
1934/35	<u>Projetos e obras realizadas para a escola aprovada Saint-Maurice em Lamotte-Beuvron</u>	aço	2	95	Construído	☐	☐
1934/35	<u>Estudos e obras realizados para o edifício "Vienne-Rocher" da Compagnie Parisienne de Distribution d'Electricité S.A. (C.P.D.E.)</u>	aço	2	69	Construído	☐	☐
1935	<u>Divisórias móveis metálicas</u>	aço	2	103	Projeto	☐	☐
1935-39	<u>A Maison du Peuple e o mercado coberto de Clichy</u>	aço	2	187	Construído	☐	☐
1935/36	<u>O Aeroclube Roland Garros em Buc</u>	aço	2	117	Construído	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	⌵ Livro	≡ Página	⌵ Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1936	<u>Divisórias metálicas móveis</u>	aço	2	143	Construído	☐	☐
1936	<u>Projeto de divisórias operáveis estilo concertina - Painéis para divisórias operáveis</u>	aço	2	145	Projeto	☐	☐
1936	<u>Projetos e trabalhos realizados para a Exposition Internationale des Art et des Techniques Appliquées à la Vie Moderne em Paris - Projeto para o Teatro Trocadéro</u>	aço	2	145	Construído	☐	☐
1936; 1938	<u>Projeto para a Escola Técnica de Creil</u>	aço	2	157	Projeto	☐	☐
1937	<u>Exposição Internacional de 1937 em Paris, projeto para o Pavilhão do Curso de Ciências Domésticas</u>	aço	2	167	Projeto	☐	☐
1937/38	<u>Divisórias móveis, projetos e obras realizadas</u>	aço	2	219	Construído	☐	☐
1937/38	<u>B.L.P.S. (Beaudouin, Lods, Prouvé, Strasbourg) casa desmontável em aço</u>	aço	2	213	Protótipo	☐	☐
1937/38	<u>Projetos e obras realizadas para D.I.A.C. em Paris</u>	aço	2	171	Construído	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1938	<u>Projeto de unidade de quartel desmontável para o Ministério da Aviação</u>	aço	2	231	Protótipo	☑	☐
1938-1944	<u>Projeto de uma casa metálica pré-fabricada</u>	aço madeira	2	239	Protótipo	☐	☐
1938/39	<u>Trabalhos para a Société des Moteurs Gnome et Rhône, fábrica de Arnage</u>	aço	2	225	Construído	☐	☐
1939	<u>Acampamento de férias em Onville</u>	aço	2	253	Construído	☑	☐
1939	<u>Abrigos desmontáveis para o Corpo de Engenheiros</u>	aço madeira	2	259	Construído	☑	☐
1939	<u>Projeto de um cubículo operável desmontável</u>	aço	2	249	Projeto	☐	☐
1939/40	<u>Trabalhos realizados para a Société Centrale des Alliages Légers (S.C.A.L.), em Issoire</u>	aço madeira	2	265	Construído	☑	☐
1939/40	<u>Estudo de escolas para refugiados do primeiro período da guerra</u>	aço madeira	2	263	Projeto	☑	☐
1940	<u>Estudo de uma construção desmontável semi-metálica que pode ser justaposta com outra</u>	aço madeira	2	263	Projeto	☑	☐
1940/41	<u>Patente n° 865.235.</u>	aço madeira	2	261	Patente	☑	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
	<u>"Cabana desmontável"</u>						
1941-43	<u>Trabalhos para o Comité d'Organisation de l'Automobile (C.O.A.), Paris</u>	aço	2	275	Construído	☐	☐
1941, 1942	<u>Projeto de divisórias para o Comptoir des Mines du Nord, Douai</u>	aço	2	277	Projeto	☐	☐
1941/42	<u>Trabalhos realizados para Alais, Froges et Camarques (A.F.C.) em Saint-Auban</u>	aço madeira	2	273	Construído	☐	☐
1941/42	<u>Construção desmontável F 8x8m B.C.C.</u>	madeira	2	273	Construído	☒	☐
1942	<u>Várias divisórias metálicas</u>	aço	2	293	Construído	☐	☐
1943/44	<u>Trabalhos realizados para a fábrica Ferembal em Nancy</u>	aço madeira	2	303	Construído	☒	☐
1944	<u>Projetos de edifícios pré-fabricados</u>	aço madeira	3	45	Projeto	☐	☐
1944	<u>Divisórias móveis</u>	aço	2	305	Construído	☐	☐
1944	<u>Trabalhos realizados para a Spinning Mills de Nomexy</u>	aço	2	305	Construído	☐	☐
1944	<u>Trabalhos realizados para o Conserveries Lerebourg em Liverdun</u>	aço	2	307	Construído	☐	☐
1944	<u>Especificações de diferentes tipos de construções</u>	aço madeira	2	311	Construído	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1944/45	<u>Edifício para a Companhia de Madeira Baquelizada "Permali"</u>	madeira	3	53	Construído	☑	☐
1944/45	<u>Construções desmontáveis para vítimas de guerra</u>	aço madeira	3	47	Construído	☑	☑
1944/45, 1948	<u>Edifício de estrutura externa 6×6</u>	aço madeira	3	45	Construído	☐	☐
1945	<u>Projeto de edifício desmontável</u>	aço madeira	3	45	Projeto	☐	☐
1945-48	<u>Edifícios pré-fabricados para a "Stahlhaus", Sarre</u>	aço madeira	3	87	Construído	☑	☐
1945/46	<u>Vários projetos de edifícios pré-fabricados</u>	aço madeira	3	87	Construído	☐	☐
1945/47	<u>Divisórias móveis</u>	aço	3	55	Construído	☐	☐
1946	<u>Construção pré-fabricada em Carnac</u>	aço madeira	3	89	Construído	☑	☐
1946	<u>As minas de Zellidja (Marrocos), edifícios 8×8 m e 8×12 m</u>	aço madeira	3	85	Construído	☐	☐
1946	<u>Três edifícios em Bourbach-le-Haut</u>	aço madeira	3	93	Construído	☐	☐
1946	<u>Protótipo de painel ventilador/brise-soleil para África</u>	alumínio	3	125	Protótipo	☐	☐
1946	<u>Modelo de uma casa 8×8 com estrutura em pórtico</u>	aço	3	93	Protótipo	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1946	<u>Edifício pré-fabricado em Carnac</u>	aço madeira	3	89	Construído	☑	☐
1946	<u>Edifício para a Cité Universitaire</u>	aço	3	67	Projeto	☐	☐
1946	<u>Barraca para Monsieur Conte</u>	aço madeira	3	67	Projeto	☐	☐
1946	<u>Projeto de edifícios em Vitry-le-François</u>	aço madeira	3	95	Projeto	☐	☐
1946-47	<u>Patente n° 921.344</u>	alumínio	3	91	Patente	☑	☐
1946-48	<u>Várias pranchas para edifícios pré-fabricados</u>	alumínio aço madeira	3	97	Projeto	☐	☐
1946-48	<u>Edifícios pré-fabricados, fábrica de Maxéville</u>	aço madeira	3	83	Construído	☑	☐
1946-48	<u>Centro de aprendizagem em vidraria, Croismare</u>	alumínio aço madeira	3	99	Construído	☑	☐
1946-48	<u>Projeto de uma casa 8×12 m com estrutura em pórtico para a Société Aymard et Gantois em Saint-Dié</u>	aço madeira	3	95	Projeto	☐	☐
1946-48	<u>Escritórios para a fábrica Ferembal em Nancy.</u>	aço madeira	3	103	Construído	☑	☐
1946-49	<u>Casa 8×12 m com estrutura em pórtico em Noisy-le-sec</u>	aço madeira	3	95	Construído	☑	☐
1946-49	<u>Trabalhos realizados para a Grands Moulins Vilgrain, Nancy.</u>	aço madeira	3	77	Construído	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	⌵ Livro	≡ Página	⌵ Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1946-50	<u>Decoração interior do Centre de Chèques Postaux, Bruxelas - Divisórias móveis e divisórias de armário</u>	aço	3	75	Construído	☐	☐
1946/47	<u>Vários projetos para edifícios pré-fabricados</u>	aço madeira	3	93	Projeto	☐	☐
1946/47	<u>Edifício 8x8 m em La Ferté</u>	alumínio aço	3	93	Construído	☐	☐
1946/48	<u>Edifício pré-fabricado para um terreno em Pont-en-Royans</u>	alumínio aço madeira	3	97	Projeto	☐	☐
1947	<u>Projeto de escritórios desmontáveis</u>	aço madeira	3	97	Projeto	☐	☐
1947-49	<u>Projetos para casas coloniais leves</u>	alumínio aço madeira	3	125	Projeto	☒	☐
1947-52	<u>Trabalhos realizados para o Institut de Recherches de la Sidérurgie Française (IRSID), Saint-Germain-en-Laye Laboratories - acessórios internos para o edifício de oficinas</u>	alumínio aço	3	135	Construído	☐	☐
1947/48	<u>Construções pré-fabricadas em Fresse-sur-Moselle</u>	aço madeira	3	93	Construído	☒	☐
1947/48	<u>Edifícios pré-fabricados em Ottmarsheim</u>	aço madeira	3	101	Construído	☒	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1948-50	<u>Vários protótipos e projetos para brise-soleil</u>	alumínio madeira	3	141	Protótipo	☐	☐
1948/49	<u>Vários projetos e trabalhos realizados</u>	alumínio aço	3	139	Construído	☐	☐
1949	<u>Projetos para o Aeroporto de Orly - (Projeto para) divisórias metálicas móveis e acessórios metálicos</u>	aço	3	139	Construído	☐	☐
1949	<u>Casa colonial</u>	alumínio madeira	3	129	Construído	☒	☐
1949	<u>Projeto de uma casa "tropical"</u>	alumínio aço	3	133	Projeto	☐	☐
1949-51	<u>Fédération Nationale du Bâtiment</u>	alumínio	3	189	Construído	☐	☐
1949-51	<u>Villa Dollander em Le Lavandou/Saint-Clair</u>	alumínio aço madeira	3	187	Construído	☒	☐
1949/50	<u>Trabalho realizado para a European Organisation for Economic Cooperation, Paris (E.O.E.C)</u>	alumínio	3	141	Construído	☐	☐
1949/50	<u>Casa "Standard" (casa "Métropole" na publicidade Studal)</u>	alumínio aço madeira	3	109	Patente	☒	☒
1949/50	<u>Escolas pré-fabricadas com estruturas em pórticos axiais</u>	aço madeira	3	105	Construído	☒	☐
1950	<u>Projeto de painel</u>	alumínio	3	193	Projeto	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1950	<u>Casa "Standard", estande Saint- Gobain</u>	alumínio aço madeira	3	117	Construído	☑	☐
1950-52	<u>Casas "Standard", os locais</u>	alumínio aço madeira	3	117	Construído	☑	☐
1950-52	<u>Reconstrução da gráfica do Mame, Tours</u>	alumínio aço madeira	3	307	Construído	☑	☐
1950-52	<u>As casas "concha"</u>	alumínio aço madeira	3	313	Construído	☐	☐
1950-53	<u>Escola infantil Ferrière em Martigues</u>	alumínio aço	3	319	Construído	☐	☐
1950/51	<u>A Feira de Lille: projetos e trabalhos realizados</u>	alumínio aço	3	191	Construído	☐	☐
1950/53	<u>Projeto para escola "telhado em shed"/"concha"</u>	alumínio aço	3	319	Projeto	☐	☐
1950s	<u>Projeto de um edifício em madeira e alumínio</u>	alumínio madeira	4	65	Projeto	☑	☐
1951	<u>Complexo escolar da cidade de Saint-Malo</u>	alumínio	3	201	Construído	☐	☐
1951	<u>Projeto para uma competição de Strasbourg</u>	alumínio aço	3	195	Projeto	☐	☐
1951	<u>Projeto para casas de trabalhadores da "Citroën"</u>	alumínio aço	3	315	Projeto	☐	☐
1951	<u>Escola de Veterinária de Maisons-Alfort</u>	alumínio	3	201	Construído	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1951	<u>Casino de la Grande Côte, perto de Royan</u>	alumínio	3	195	Construído	☐	☐
1951	<u>Projetos preliminares para moradias individuais de baixo custo C.P. 250</u>	aço madeira	3	123	Projeto	☒	☐
1951	<u>Pavilhão Francês, 9ª Triennale, Milan</u>	aço madeira	3	291	Projeto	☒	☐
1951	<u>Projeto (para o) Palais de la Découverte, um planetário</u>	alumínio aço	3	193	Projeto	☐	☐
1951-53	<u>Hospital-Hospício de Briançon</u>	alumínio	3	195	Construído	☐	☐
1951-54	<u>Villa Lopez in Beauvallon</u>	alumínio aço madeira	3	187	Construído	☒	☐
1951-54	<u>Maison Janicot, Le Plessis-Trévisé</u>	alumínio madeira	3	293	Construído	☒	☐
1951-54	<u>Postos de serviço</u>	alumínio aço	3	321		☐	☐
1951/52	<u>Projetos para a creche e centro social Régie Renault</u>	alumínio aço	3	291	Projeto	☐	☐
1951/52	<u>Projeto para a competição da Cité Universitaire de Nancy</u>	alumínio	3	283	Projeto	☐	☐
1952	<u>Casas "concha" em Meudon</u>	alumínio aço	3	317	Construído	☐	☐
1952	<u>Projeto para o Centre de Chèques Postaux, Rennes</u>	alumínio aço	3	197	Projeto	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1952	<u>Casa Cegedur em Drancy.</u>	aço	3	123	Construído	☐	☐
1952	<u>Projeto para o Etablissements Neu, protótipo</u>	alumínio aço madeira	3	123	Protótipo	☒	☐
1952	<u>Université d'Aix-Marseille</u>	alumínio	3	201	Construído	☐	☐
1952	<u>Projeto para uma extensão de casa</u>	alumínio aço madeira	3	123	Projeto	☒	☐
1952	<u>Uma casa Dollander em Nancy.</u>	alumínio	3	199	Construído	☒	☐
1952	<u>Cegedur, Compagnie générale du Duralumin et du cuivre, Paris</u>	alumínio aço	3	203	Construído	☐	☐
1952	<u>Houillères du Nord et du Pas-de-Calais</u>	alumínio	3	203	Construído	☐	☐
1952-54	<u>Clube de aviação, Doncourt</u>	alumínio aço madeira	3	321	Construído	☒	☐
1952-54	<u>A casa da família de Jean Prouvé em Nancy</u>	alumínio aço madeira	4	55	Construído	☒	☐
1952-54	<u>Ecole Boule, Paris</u>	alumínio	3	197	Construído	☐	☐
1952/53	<u>Vários projetos</u>	alumínio	3	199	Projeto	☐	☐
1952/53	<u>Novos escritórios para a Société Ferembal, Nancy.</u>	alumínio aço madeira	3	293	Projeto	☒	☐
1952/53	<u>Projeto para casa M</u>	alumínio aço	3	123	Projeto	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1952/53	<u>Seguro Social, Centro de Reabilitação</u>	alumínio aço	3	195	Construído	☐	☐
1952/53	<u>Préfecture of La Nièvre, Nevers</u>	alumínio	3	197	Construído	☐	☐
1952/53	<u>Ministério das Finanças, Palais du Louvre, Paris</u>	alumínio	3	203	Construído	☐	☐
1952/53	<u>Prefeitura de Valenciennes</u>	alumínio	3	283	Projeto	☐	☐
1952/53	<u>Projetos para várias divisórias e portas, exemplos</u>	alumínio	3	203	Projeto	☐	☐
1952/53	<u>Quartel dos bombeiros em Bordeaux</u>	alumínio	3	197	Construído	☐	☐
1952/53	<u>Gendarmerie de Lille</u>	alumínio	3	197	Construído	☐	☐
1952/53	<u>Projeto de alojamento para professores da Universidade Europeia de Nancy</u>	alumínio	3	285	Projeto	☐	☐
1952/53	<u>Projeto de edifícios de apartamentos</u>	alumínio aço	3	285		☐	☐
1952/53	<u>Projeto de fachadas "voile-grille"</u>	alumínio	3	273	Construído	☐	☐
1952/53	<u>Seguro Social, Rouen</u>	alumínio	3	195	Construído	☐	☐
1953	<u>Edifício 8×8 m para o Etablissements Vauconsant</u>	aço madeira	3	123	Construído	☒	☐
1953	<u>Projeto para casa tipo Métropole 53</u>	alumínio aço madeira	3	123	Projeto	☒	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1953	<u>Tréfileries et Laminoirs du Havre (T.L.H.).</u>	alumínio	3	203	Construído	☐	☐
1953	<u>(Projeto para) uma casa para o arquiteto André Sive</u>	alumínio aço madeira	3	123	Projeto	☒	☐
1953	<u>Projeto de um edifício com pórtico assimétrico</u>	alumínio aço madeira	3	123	Projeto	☒	☐
1953	<u>Escolas pré-fabricadas, projeto por Jean Prouvé, Paris</u>	aço madeira	4	63	Projeto	☒	☐
1953	<u>Salão/Auditório da vila em Lunery.</u>	alumínio	3	199	Construído	☐	☐
1953-55	<u>Seguro Social, Le Mans</u>	alumínio aço	3	195	Construído	☐	☐
1953-55	<u>Escolas "concha" (tipo Studal), derivadas de um modelo</u>	alumínio aço	3	333	Construído	☐	☐
1953-55	<u>Fábrica S.F.R., Saint-Egrève</u>	alumínio	3	289		☐	☐
1953-56	<u>Projeto para a casa "tipo Meudon"</u>	alumínio aço madeira	4	69	Projeto	☒	☐
1953/54	<u>Banque d'Algérie et de Tunisie na Tunísia</u>	alumínio	3	199	Construído	☐	☐
1953/54	<u>Cité administrative, Bayonne</u>	alumínio	3	199	Construído	☐	☐
1953/54	<u>Projeto para um refúgio na montanha</u>	alumínio aço madeira	4	65	Projeto	☒	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1953/54	<u>Bloco de apartamentos., Praça Mozart, Paris</u>	alumínio	3	335	Construído	☐	☐
1953/54	<u>Edifício de apartamentos em Paris</u>	alumínio	3	199	Construído	☐	☐
1954	<u>Igreja de Notre-Dame-de-Grâce, Morsang-sur-Orge</u>	alumínio aço madeira	4	67	Construído	☒	☐
1954	<u>Bloco de apartamentos., Saint-Etienne</u>	alumínio madeira	3	335	Construído	☐	☐
1954	<u>H.L.M. em Argenteuil, 200 unidades de acomodações emergenciais</u>	alumínio madeira	4	65	Construído	☒	☐
1954/55	<u>Projeto para um bloco de apartamentos industrializado</u>	alumínio aço	4	69	Projeto	☐	☐
1954/55	<u>Air France, resort ao ar livre., Arbonne</u>	alumínio aço madeira	4	67	Construído	☒	☐
1955	<u>Projetos para edifícios de vários andares</u>	alumínio aço madeira	4	77	Projeto	☒	☐
1955-57	<u>Patente n° 1.138.751 "Componentes de construção para blocos de apartamentos e edifícios que os utilizam"</u>	alumínio aço madeira	4	73	Patente	☒	☐
1955-57	<u>Complexo escolar de Les Montôts, Nevers</u>	alumínio aço madeira	4	69	Construído	☒	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	🕒 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1955-58	<u>1ª adição à Patente nº 1.138.751</u>	alumínio aço madeira	4	75	Patente	☑	☐
1955-58	<u>Instituto francês de petróleo</u>	alumínio aço madeira	4	107	Construído	☐	☐
1955-59	<u>C.N.I.T., Centre Nationale des Industries et des Techniques</u>	alumínio aço	4	79	Construído	☐	☐
1956	<u>Casa "Les Jours Meilleurs"</u>	alumínio aço madeira	4	115	Construído	☑	☑
1956	<u>Villa em Cavalaire/Croix-Valmer</u>	alumínio aço madeira	3	189	Construído	☑	☐
1956-57	<u>Complexo escolar em Villejuif</u>	alumínio aço madeira	4	99	Construído	☑	☐
1956-57	<u>Sala de bombas da Fonte Cachat</u>	alumínio madeira	4	95	Construído	☑	☐
1957	<u>Projeto para uma casa no Saara</u>	alumínio	4	163	Projeto	☑	☐
1957	<u>Edifício de recepção da Régie Renault, Flins</u>	alumínio aço madeira	4	103	Construído	☑	☐
1957	<u>Igrejas temporárias</u>	aço madeira	4	111	Construído	☑	☐
1957	<u>Projeto de alojamento desportivo para estabelecimentos de ensino - concurso</u>	alumínio aço madeira	4	113	Projeto	☑	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1957	<u>3ª adição à patente nº 1.138.751</u>	alumínio madeira	4	91	Patente	☑	☐
1957	<u>Projeto para a catedral de Higuey, República Dominicana</u>	alumínio aço madeira	4	113	Projeto	☑	☐
1957	<u>Casa do prospector para C.I.M.T., por Jean Prouvé</u>	alumínio aço madeira	4	167	Construído	☑	☐
1957	<u>Projeto de uma casa de férias</u>	aço madeira	4	109	Construído	☑	☐
1957/58	<u>Estrutura com pórtico central em formato H</u>	alumínio aço madeira	4	155	Construído	☑	☐
1957/59	<u>Casa do Saara exposta no Salon des Artistes Décorateurs, Paris, março de 1958</u>	alumínio madeira	4	163	Construído	☑	☐
1958	<u>Escolas para Algiers</u>	alumínio madeira	4	113	Construído	☑	☐
1958 e 1961/62	<u>Sistema de alojamento para áreas tropicais úmidas</u>	alumínio madeira	4	181	Construído	☐	☐
1958/59	<u>Escritório da Société languedocienne de forages pétroliers, Talence</u>	alumínio madeira	4	155	Construído	☑	☐
1959	<u>Projeto de casas padronizadas para trabalhadores do Canal do Panamá</u>	alumínio madeira	4	167	Projeto	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
1959-62	<u>Casas pré-fabricadas independentes</u>	alumínio aço madeira	4	173	Construído	☑	☐
1959/60	<u>Igreja do Sacré Coeur de Bonnecousse, Aussillon</u>	alumínio aço madeira	4	113	Construído	☑	☐
1960	<u>Projeto para uma casa tipo vila, Holanda</u>	alumínio aço	4	202	Projeto	☐	☐
1961-63	<u>Obra de Jean Prouvé para a C.I.M.T., Cantebonne</u>	aço madeira	4	159	Construído	☑	☐
1962/63	<u>Igreja de São Paulo, L'Hay-les-Roses</u>	alumínio aço madeira	4	194	Construído	☐	☐
1962/63	<u>Competição de projeto e construção CC</u>	alumínio aço madeira	4	187	Projeto	☐	☐
1963	<u>Estudo para edifícios escolares em elementos sanduíche</u>	alumínio madeira	4	194	Projeto	☐	☐
1963	<u>Estudo para casas com painéis sanduíche</u>	alumínio madeira	4	194	Projeto	☐	☐
1964/65	<u>Concurso para o Centro Espacial Guianês, Kourou</u>	alumínio aço madeira	4	225	Projeto	☐	☐
1965	<u>Patente nº 1.411.235. Melhorias em painéis pré-fabricados para edifícios</u>	alumínio	4	145	Patente	☑	☐
1965-69	<u>Projeto de uma casa</u>	alumínio	4	215	Projeto	☐	☐

≡ Ano	Aa Nome	≡ Material	📖 Livro	≡ Página	🕒 Etapa	☑ Análise	☑ Experimentação
	<u>industrializada através da utilização de um novo produto</u>						
1966	<u>Projeto para a prefeitura de Val-de-Marne, Créteil</u>	madeira	4	135	Projeto	☐	☐
1966/67	<u>Clube juvenil, competição e protótipo</u>	alumínio madeira	4	221	Construído	☒	☐
1966/67	<u>Protótipo de uma casa industrializada, Clermont</u>	alumínio	4	215	Protótipo	☐	☐
1966/67	<u>Villagexpo, Saint-Michel-sur-Orge</u>	alumínio madeira	4	207	Construído	☒	☐
1969	<u>A casa de Mme Jaoul, Mainguerin</u>	alumínio aço madeira	4	241	Construído	☒	☐
1969-74	<u>Projetos e construções com a Société des Laminoirs, Strasbourg</u>	alumínio aço madeira	4	259	Construído	☒	☐
1969/70	<u>Edifícios temporários para os departamentos de projeto de novas cidades</u>	alumínio	4	243	Construído	☐	☐
1969/70	<u>Reforma do escritório de Jean Prouvé</u>	madeira	4	245	Construído	☒	☐
1970	<u>Refúgio da montanha alta</u>	alumínio aço madeira	4	243	Construído	☒	☐

APÊNDICE C – PROCESSO DE PROTOTIPAGEM DAS OBRAS SELECIONADAS

[Link para acesso ao vídeo](#)