FREDERICO BELOTI GHELLERE

Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira

São Carlos, 2020

Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira

São Carlos, 2020

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Frederico Beloti Ghellere

Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia.

Orientadora: Prof^a .Dr^a. Akemi Ino

São Carlos, 2020

AUTORIZO A REPRODUCAO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRONICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

GG412p Ghellere, Frederico Beloti
Painel de vedação vertical pré-fabricado em
madeira / Frederico Beloti Ghellere; orientadora
Akemi Ino. -- São Carlos, 2020.
172 p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e
Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo, 2020.

1. TCBC. 2. baixo carbono. 3. construção com
madeira. 4. pré-fabricação com madeira. 5. painel de
vedação em madeira. I. Ino, Akemi, orient. II. Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Frederico Beloti Ghellere**

Título da dissertação: **“Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira”**

Data da defesa: **04/12/2020**

Orientador(a): **Profa. Dra. Akemi Ino**

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. Akemi Ino
(IAU/USP)

Não votante

Prof. Dr. João Marcos de Almeida Lopes
(IAU/USP)

Aprovado

Profa. Dra. Andréa Berriel Mercadante Stinghen
(CAU-UFPR)

Aprovado

Prof. Dr. Ivan Manoel Rezende do Valle
(FAU/UnB)

Aprovado

Coordenador e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: **Prof. Dr. Tomás Antonio Moreira.**

Este trabalho foi finalizado e apresentado para a banca julgadora durante o período de isolamento social devido a Covid-19.

Dedico este trabalho aos meus filhos Cora e Joaquim, que chegaram no começo do mestrado.

Aos meus queridos pais, Mário e Darcisa.

Ao meu filho que está chegando.

À Cecília, minha companheira.

Agradecimentos

À professora Akemi Ino, pela orientação, pelo acolhimento no grupo de Pesquisa Habis, pelas discussões, pela amizade.

Ao Grupo de Pesquisa Habis, pelas discussões enriquecedoras e fundamentais para o aprendizado acadêmico. Da mesma forma, Ao grupo TCBC, pelas reuniões e discussões a respeito de tecnologias de baixo carbono e sustentabilidade.

Aos professores João Marcos e Ivan, por cobrar um olhar crítico na argumentação da qualificação e por colaborar no desenvolvimento do protótipo.

Aos professores da banca por inspirar o desenvolvimento deste trabalho com suas trajetórias profissionais.

Ao Dibo e Diney do laboratório de modelos e maquetes, pelas ajudas na construção dos protótipos.

Ao graduando Vinicius Sanches, por ajudar este trabalho com sua iniciação científica.

À Escola de Engenharia de São Carlos por fornecer verba para a produção do Protótipo 2.

Aos meus avós que já foram, Mario, Amélia, Juca e Neva.

À minha companheira Cecília, pela paciência, pelo apoio, pelas discussões, pelas ajudas diárias, pelo amor.

Aos meus pais, por uma vida de acolhimento, carinho e amor.

Lista de Tabelas

Tabela 1: comparação entre materiais de construção e consumo de energia	24
Tabela 2: Madeira serrada, seções padrão e seções comercializadas	51
Tabela 3: Componentes em madeira beneficiada.....	52
Tabela 4: Características físicas das placas de OSB disponíveis no comércio.....	54
Tabela 5: Síntese dos painéis apresentados e suas características	76
Tabela 6: Caracterização do Painei Cumaru	96
Tabela 7: Caracterização do Painei Eucalipto	96
Tabela 8: Caracterização do Painei Pinus	96
Tabela 9: Quantitativo para encomenda dos painéis	110
Tabela 10: Quantitativo para encomenda dos painéis	110
Tabela 11: Registro de tempo da produção dos painéis	126
Tabela 12: Caracterização do Painei Peroba d'água	136
Tabela 13: Orçamento para a mesa de pré-fabricação.....	139
Tabela 14: Custo de materiais para cada painei do Protótipo 1 (30x95cm)	150
Tabela 15: Custo de cada painei de revestimento do Protótipo 1	150
Tabela 16: Custo do sistema por metro linear, por m ² e por espécie.(Protótipo 1).....	150
Tabela 17: Custo de materiais para cada painei do Protótipo 2 (30x91cm)	152
Tabela 18: Custo de cada painei de revestimento do Protótipo 2	152
Tabela 19: Custo do sistema por metro linear, por m ² do Protótipo 2	152
Tabela 20: Custo total de painéis de vedação para o projeto apresentado no item Anteprojeto.....	153

“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada.
Caminhando e semeando, no fim terás o que comer”.

Cora Coralina

RESUMO

GHELLERE, Frederico Beloti. Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Os painéis de vedação vertical em madeira representam uma solução construtiva que pode colaborar na difusão do uso da madeira na construção civil, assim como na construção com tecnologias construtivas de baixo carbono (TCBC). Diversos modelos já foram desenvolvidos, mas a sua utilização é ainda incipiente. A comunidade envolvida na construção com madeira no Brasil hoje se esforça para articular os diversos setores da cadeia produtiva, visando um futuro mais promissor a médio e a longo prazo. Porém, o que se constata é uma lacuna na disponibilidade de componentes construtivos a base de produtos madeireiros no mercado. A industrialização da madeira e sua transformação em elementos estruturais como CLT e MLC está em plena expansão, mas enfrenta desafios na sua popularização devido, em parte, ao preço final. O uso de painéis verticais de vedação em uma construção com madeira exige alguns cuidados especiais, vinculando o projeto arquitetônico à produção para assim garantir qualidade e durabilidade. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver um painel de vedação vertical a base de produtos florestais que tenha coordenação modular para ser executado por pré-fabricação dentro da obra, para ser utilizado na construção como vedação interna e externa. Neste sentido, procuramos compreender, num primeiro momento, formas em que a pré-fabricação dentro da obra pode ser um processo de produção que contribua com a utilização dos produtos madeireiros na construção civil. E, por fim, para a realização concreta do painel vertical de vedação, buscamos debater quais critérios de projeto devem ser considerados para pré-fabricar um painel vertical de madeira sem passar pelo processo industrial de produção.

Palavras chave: TCBC; baixo carbono; construção com madeira; pré-fabricação com madeira; painel de vedação em madeira.

ABSTRACT

GHELLERE, Frederico Beloti. Prefabricated vertical wood sealing panel. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Timber-framed walls panels represent a constructive solution that can collaborate in the diffusion of the use of wood in civil construction, as well as in construction with low carbon construction technology (TCBC, initials in portuguese). Several models have already been developed, but their use is still incipient. The community involved in timber construction in Brazil, today, struggles to articulate the production chain's various sectors, aiming at a more promising future in the medium and long term. However, we see a gap in the availability of construction components based on wood products in the market. Industrialized timber building systems such as CLT and MLC is in full expansion, and still faces challenges in its popularization due, in part, to cost-competitive marketplace conditions. The use of timber-framed walls in a timber construction requires special care, linking the architectural design to production to ensure quality and durability. Thus, this work aims to develop a wall panel based on forest products with a modular coordination system to be prefabricated on the construction site. Moreover, the panel can be used as an internal and external wall. In this sense, understood, in the first moment, how the prefabrication production process within the construction site can contribute to the use of wood products in the construction sector. Finally, we discuss which project criteria should be considered to prefabricate a wall panel without going through the industrial production process.

Keywords: TCBC; low carbon design; timber construction; prefabrication with wood; timber framing; prefabricated wall panels.

Lista de Figuras

Figura 1: Etapas de pesquisa	20
Figura 2: Quantidade de exportação de Produtos Florestais Madeireiros I.....	25
Figura 3: Quantidade de exportação de Produtos Florestais Madeireiros II.....	26
Figura 4: Quantidade de madeira extraída (por tipo de floresta/tipo de uso/espécie)	27
Figura 5: Produção total - florestas plantadas (por espécie/estado)	28
Figura 6: Projeto “Habitat”, em Montreal.....	34
Figura 7: Croquis do protótipo da Escola Transitória em madeira – Abadiânia/GO	41
Figura 8: Foto da montagem e Croquis da Escola Transitória	41
Figura 9: Usina de pré-fabricação – RENURB-Salvador 1980.....	42
Figura 10: Painéis de cerâmica armada da residência estudantil da UNICAMP	44
Figura 11: Execução dos painéis de cerâmica armada.....	44
Figura 12: Montagem dos painéis pré-fabricados de taipa em Cajueiro Seco	46
Figura 13: Esquema de montagem dos painéis pré-fabricados de taipa em Cajueiro Seco..	46
Figura 14: Capacitação dos moradores do assentamento Sepé Tiaraju na marcenaria	48
Figura 15: Transporte e instalação dos painéis de cobertura na habitação	48
Figura 16: Madeira roliça e parede <i>loghome</i>	50
Figura 17: Madeira serrada	50
Figura 18: detalhe das placas de OSB	53
Figura 19: aplicação e peças do LVL em solução de cobertura	55
Figura 20: Detalhe de compensados	56
Figura 21: Estrutura Pilar viga em MLC executado pela Ita Construtora.....	57
Figura 22: Montagem de sistema CLT.....	58
Figura 23: Painéis SIP.....	58
Figura 24: Sistema <i>light wood frame</i>	59
Figura 25: Painei <i>light woodframed</i> do Conjunto Haragano.....	60
Figura 26: Painei <i>light wood frame</i> do Conjunto Haragano.....	61
Figura 27: Sistema encaixe de montantes.....	61
Figura 28: Habitações na Vila Taguaí, em São Paulo	63
Figura 29: Habitações na Vila Taguaí, em São Paulo	63
Figura 30: Painei de vedação vertical da Vila Taguaí	64
Figura 31: Painei de piso da Vila Taguaí	65
Figura 32 : Esquema do painei pilar-viga do conjunto Pedra 90.....	66
Figura 33: Casa do Conjunto habitacional em Canelones, Salinas – Uruguai	67
Figura 34: Esquema do painei pilar-viga do conjunto Canelones - Uruguai.....	67
Figura 35: Casa do horto.....	68
Figura 36: Camadas que compõem o painei feito para Casa do Horto.....	69
Figura 37: Organização da unidade de pré-fabricação	70
Figura 38: Esquema do painei para sede da Imaflora	71
Figura 39: Esquema do painei piloto de Barata (2008)	72
Figura 40: Projeto do painei A pré-fabricado de Berriel	74
Figura 41: Projeto para o protótipo dos painéis pré-fabricados de Berriel.....	74
Figura 42: Bancada de pré-fabricação do painei de Berriel (2009)	75
Figura 43: Protótipo do painei pré-fabricado em madeira de Bracatinga de Berriel	75
Figura 44: Corte esquemático de edificação com fachada ventilada	77
Figura 45: Esquema para conceituação de tolerância dimensional e sua terminologia.....	79
Figura 46: Tabelas de tolerância de variação permitida para espessura e largura para seções transversais de madeira	80
Figura 47: Protótipo 1	82
Figura 48: Protótipo 2.....	82
Figura 49: Primeiro estudo	83

Figura 50: Estudo de planta para quartos de solteiro, medias em metros.....	86
Figura 51: Estudo de planta para quarto de casal, medidas em metros.	87
Figura 52: Estudo preliminar nº 1 – painel de vedação vertical com pilar de seção retangular	91
Figura 53: Estudo preliminar nº 2 – painel de vedação vertical com pilar de seção em cruz.	92
Figura 54: Detalhe do montante (pilar) (esquerda) e mudança de direção no eixo x/y (direita)	93
Figura 55: Perspectiva esquemática para identificação das peças do painel.....	94
Figura 56:.....	94
Figura 57: Esquema para identificação das peças dos montantes e planta do montante em cruz.....	95
Figura 58: Projeto do painel de revestimento para fachadas externas na primeira produção.	97
Figura 59: Planta para residência unifamiliar utilizando a modulação de 1m x 1m	98
Figura 60: Elevações e perspectiva solução com telha termoacústica	99
Figura 61: Elevações e perspectiva solução com telha de barro	99
Figura 62: Perspectiva explicativa para etapas de montagem do sistema proposto	100
Figura 63: Sequência das etapas de construção proposta aplicação do protótipo.....	103
Figura 64: Ampliação 1 (banheiro) indicada na planta da Figura 59 na página 100.....	104
Figura 65: painel de revestimento para áreas molhadas	104
Figura 66: Detalhes 1 e 2 referentes às indicações da figura 59 na página 100	105
Figura 67: Detalhes 3 e 4 referentes às indicações da figura 59 na página 100	105
Figura 68: Utilização dos painéis nas diferentes situações de projeto	106
Figura 69: Detalhes 5, 6, 7, 8	107
Figura 70: Projeto executivo do painel – primeira produção	108
Figura 71: Peças de Eucalipto adquiridas identificadas.....	111
Figura 72: Identificação de defeitos na madeira	111
Figura 73: Identificação de defeitos na madeira: nós.....	112
Figura 74: Verificação visual de umidade aflorando nas tábuas de eucalipto e pinus.....	113
Figura 75: Verificação visual da presença de defeitos nas peças de eucalipto	113
Figura 76: Medição das rachaduras nas peças de eucalipto	114
Figura 77: Fungo nas tábuas de pinus e eucalipto.	114
Figura 78: Encanoamento da tábua de eucalipto.....	115
Figura 79: Peças de eucalipto com defeitos de processamento	116
Figura 80: Etapa 1 - Desdobro das peças de eucalipto na serra circular da unidade de produção.....	117
Figura 81: Etapa 2 - Marcação do furo de passagem nas peças E.P.1	117
Figura 82: Etapa 3 - Peças de eucalipto na lixadeira de disco e lixadeira de fita	118
Figura 83: Etapa 4A - Montagem da ossatura com auxílio de sargento e parafusadeira	118
Figura 84: Etapa 5A– gabarito simples utilizado na execução do primeiro painel	119
Figura 85: Etapa 5A - Painel Cumaru sendo fixado na bancada com auxílio de sargento .	120
Figura 86: Etapa 5A- verso do Painel Cumaru, após a fixação da tábua na ossatura.....	120
Figura 87: Etapa 5B - Gabarito ajustado para a execução do segundo painel.....	121
Figura 88: Etapa 5B do Painel Pinus	121
Figura 89: Etapa 6B - Sequência da produção do isolante	122
Figura 90: Etapa 7B - Fechamento do Painel Pinus	123
Figura 91: Painel Cumaru – vista lateral.....	123
Figura 92: Painel Cumaru – vista forntal.....	124
Figura 93: Etapa 8A - Painel Cumaru com veda fresta colado.....	124
Figura 94: Fluxo das etapas no esquema da unidade de produção.....	125
Figura 95: (A) Encanoamento da tábua de Eucalipto / (B) Tábua encanoada presa com sargento.....	128

Figura 96: Pesagem dos painéis sem o “travesseiro” de feno	128
Figura 97: Pannel de sacrifício	129
Figura 98: Ilustração do manuseio dos painéis.....	129
Figura 99: Produção dos montantes e montagem	130
Figura 100: Protótipo concluído 1	130
Figura 101: Esquema de etapas da pesquisa.....	131
Figura 102: montante Protótipo 1	132
Figura 103: montante Protótipo 2	132
Figura 104: Pannel de revestimento externo Protótipo 1	132
Figura 105: Pannel de revestimento externo Protótipo 2	132
Figura 106: Comportamento Protótipo 1 após três meses.....	135
Figura 107: Comportamento Protótipo 1 após um ano	135
Figura 108: Projeto executivo do pannel Protótipo 2. Correspondente a tabela 12.....	136
Figura 109: Canto projetado, Protótipo 2.....	137
Figura 110: Lote de madeira para a segunda produção entabicado para secagem.....	138
Figura 111: Defeitos na madeira, nós e rachaduras	138
Figura 112: Projeto da Mesa de pré-fabricação com gabaritos 1 e 2.....	140
Figura 113: Mesa de pré-fabricação com gabarito.....	141
Figura 114: Calços laterais para travamento da tábua de fechamento	141
Figura 115: Desengrosso, destopo e lixamento das peças após a secagem.....	143
Figura 116: Produção do pannel no primeiro gabarito	143
Figura 117: Produção do pannel no segundo gabarito	144
Figura 118: Projeto do pannel de revestimento para fachadas externas na segunda produção.	145
Figura 119: Produção do pannel de revestimento externo a) execução de chanfro nas réguas; b) fixação dos gabaritos da mesa; c) posicionamento das réguas; d) espaçamento das réguas.	145
Figura 120: a) Posicionamento dos montantes, b) e c) execução do travamento do canto nas vigas de base	146
Figura 121:: Posicionamento dos painéis nos montantes	147
Figura 122: Fixação da viga superior : “cinta”.....	147
Figura 123: Fixação da diagonal	148
Figura 124: Fixação dos painéis de revestimento.....	148
Figura 125: Pannel concluído	149
Figura 126: Ilustração dos painéis de vedação até o sistema de cobertura	153
Figura 127: Detalhes 4 e 7 revisados	157

Lista de Siglas

ACV	Análise do Ciclo de Vida
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CLEM	Congresso Latino Americano de Estruturas de Madeira
CLT	Cross Laminated Timber
CNC	Comando Numérico Computadorizado
EBRAMEM	Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira
EPS	Poliestireno Expandido
FSC	Forest Stewardship Council
HDF	High Density Fiber
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LPF	Laboratório de Produtos Florestais
LVL	Laminated Veener Lumber
MDF	Medium Density Fiber
MLC	Madeira Laminada Colada
MPP	Mesa de Preparação dos Painéis
OSB	Oriented Strand Board
PUR	Poliestireno extrudado
RENURB	Companhia de Renovação Urbana de Salvador
SIP	Structural Insulated Panel
SSCM	Serviço Social Contra o Mocambo
SVMA	Secretaria do Verde e do Meio Ambiente
TCBC	Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono
XPS	Espuma de Poliuretano

SUMÁRIO

Introdução	Erro! Indicador não definido.
Objetivos e questões de pesquisa	19
Abordagem metodológica	20
Etapas da pesquisa desenvolvida.....	20
CAPÍTULO 1: CONTEXTO DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	23
1.1 Madeira como material construtivo	23
1.2 Processos produtivos e impacto socioambiental na construção civil.....	29
1.3 Pré-fabricação e madeira na construção civil.....	37
1.4 Experiências de pré-fabricação ao pé do canteiro	40
CAPÍTULO 2: CONSTRUÇÃO COM MADEIRA.....	49
2.1 Componentes construtivos em madeira	49
2.1.1 Madeira roliça.....	49
2.1.2 Madeira serrada	50
2.1.3 Madeira beneficiada	52
2.1.4 Madeira reconstituída	52
2.1.5 Componentes estruturais	54
2.2 Os painéis de vedação vertical	58
2.2.1 Painéis encontrados no comércio.....	59
2.2.2 Painéis em conjuntos habitacionais.....	63
2.2.3 Estudos acadêmicos sobre painéis	68
2.2.4 Síntese sobre os exemplos de painéis	76
2.3 Tolerância dimensional	78
2.4 Diretrizes para projeto e produção	80
CAPÍTULO 3: O PROTÓTIPO	82
3.1 Desenvolvimento do Projeto	83
3.1.1 Análise das diretrizes para a concepção	84
3.1.2 Estudo preliminar do protótipo 1	91
3.1.3 Anteprojeto	93
3.2 A primeira produção – Protótipo 1.....	108
3.2.1 Projeto executivo da primeira produção.....	108
3.2.2 Matéria Prima	109
3.2.3 Verificação do lote.....	111
3.2.4 Execução dos painéis do Protótipo 1.....	116
3.2.5 Montagem	129
3.2.6 Análise da primeira produção e alterações.....	131

3.3 A segunda produção - Protótipo 2.....	135
3.3.1 Matéria prima	137
3.3.2 Mesa de pré-fabricação.....	139
3.3.3 Processamento da madeira seca	142
3.3.4 Execução dos painéis.....	143
3.3.5 Painel de revestimento externo	144
3.3.6 Montagem	146
3.4 Custos	149
3.4.1 Custos da primeira produção – Protótipo 1.....	149
3.4.2 Custos da segunda produção - Protótipo 2.....	151
CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
BIBLIOGRAFIA	165
ANEXOS.....	169

INTRODUÇÃO

A construção civil hoje no Brasil carece de iniciativas que diminuam o impacto ambiental e social. A indústria de materiais para a construção convencional cria uma cadeia produtiva nociva – ao meio ambiente e ao âmbito social – ainda antes de chegar à obra. Desde as jazidas de extração da matéria prima; do processamento nas usinas até o seu beneficiamento; da logística para o transporte; e do combustível derivado do petróleo utilizado para tais movimentações, a construção que vem sendo empregada no mercado hoje cria uma rede de alto impacto global sobre o ecossistema.

Diversos autores e pesquisas indicam que a madeira enquanto material construtivo pode alimentar uma lógica inversa, uma vez que pode ser nula em relação às emissões de carbono (BERRIEL, 2009). Além disso, quando aliada a processos construtivos de pré-fabricação, pode mitigar ainda mais seu impacto na sociedade e no meio ambiente, uma vez que pode racionalizar a obra e permite a apropriação do trabalhador do processo de produção.

Atualmente, a comunidade envolvida na construção com madeira no Brasil se esforça para articular os diversos setores da cadeia produtiva visando um futuro mais promissor a médio e a longo prazo. Porém, o que se constata é uma lacuna na disponibilidade de componentes construtivos à base de produtos madeireiros no mercado atual, assim como a falta de conhecimento dos profissionais da construção a respeito do material.

Se por um lado o país tem potencial para ser líder em produção de madeira para a construção por suas dimensões continentais e clima favorável, por outro lado, a baixa demanda de construção com madeira – seja ela motivo de questões culturais ou devido à forte consolidação das indústrias de concreto e aço – somada ao tempo necessário para a árvore atingir a idade de corte para tal finalidade acaba não atraindo o interesse dos produtores. Por isso, a produção de madeira plantada e certificada é quase exclusivamente destinada para o mercado de papel e celulose como veremos a frente. Conforme debatido em eventos recentes sobre o tema¹, há interesse por parte dos agentes da cadeia de silvicultura em ampliar a utilização dos seus produtos na construção civil. Para estes agentes, o caminho mais provável e desejado é através da industrialização, porém do ponto de vista desta dissertação, este processo não precisa ser necessariamente industrial, e a academia exerce importante papel neste sentido, buscando demonstrar outras possibilidades de produção que ajudem a ampliar de forma consistente o uso da madeira na arquitetura e na construção civil, garantindo a qualidade e durabilidade das edificações.

¹ Conforme debates durante as palestras da XVIª edição do Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras (EBRAMEM), ocorrido em março de 2018.

Este trabalho está inserido no âmbito do projeto de pesquisa “Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono: a madeira e os novos paradigmas para a construção civil”, desenvolvido pelo grupo de pesquisa HABIS/IAU/USP, que busca refletir acerca de três dimensões – ambiental, do trabalho e do capital – para a criação, desenvolvimento, avaliação e difusão de Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono (TCBC).

Neste sentido, procuramos compreender, num primeiro momento, de que forma a pré-fabricação pode ser um processo de produção que permita ampliar a autonomia do construtor em relação a indústria e aumentar a utilização dos produtos madeireiros na construção civil. Procuramos debater também como o processo de pré-fabricação pode permitir a apropriação do conhecimento por parte do trabalhador. E, por fim, para a realização concreta do painel vertical de vedação, buscamos debater quais critérios de projeto devem ser considerados para pré-fabricar um painel vertical de madeira sem passar pelo processo industrial de produção para, enfim, projetar o painel e executar sua construção.

Objetivos e questões de pesquisa

Este projeto de pesquisa tem como objetivo geral desenvolver um painel de vedação vertical interno e externo a base de produtos florestais que considere a coordenação modular, para ser executado por pré-fabricação no “pé da obra”.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Identificar quais critérios de projeto devem ser considerados para produzir um painel pré-fabricado de madeira.
- Analisar as formas de pré-fabricação experimentadas para sistemas de vedação em madeira no contexto brasileiro.
- Aprofundar o debate sobre o uso da madeira no Brasil a respeito da sustentabilidade e das formas de produção na construção civil.
- Verificar a viabilidade e os limites da pré-fabricação com madeira no pé da obra.

A partir do problema levantado e da contextualização colocada, as principais perguntas que nortearam esta pesquisa foram:

- Quais as condições necessárias para que a pré-fabricação no pé da obra possa ser uma alternativa ao processo industrial de produção em grande escala?
- Quais critérios de projeto devem ser considerados para produzir um painel pré-fabricado de madeira dentro do canteiro de obra?

Abordagem metodológica

A presente pesquisa está baseada no método quantitativo experimental e utilizou duas ferramentas: a revisão bibliográfica e desenvolvimento de projeto de produto e de produção.

Groat e Wang (2013, p. 316) sugerem que, numa pesquisa experimental em arquitetura, algumas características podem ser utilizadas como balizamento. Por exemplo, delimitar um objeto isolado do meio externo através da criação de uma *unidade de avaliação* para análise e verificação das variáveis (p. 317). Esta e as demais características elencadas pelos autores serão abordadas durante o desenvolvimento das etapas da pesquisa. Seguindo a metodologia definimos o **objeto** como *painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira*.

Etapas da pesquisa desenvolvida

Figura 1: Etapas de pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de DRESCH (2015)

O esquema da Figura 1 foi o plano de trabalho elaborado para esta pesquisa. Foi adaptado do livro intitulado “Design Science Research” (DRESCH, 2015), que propõe uma metodologia para pesquisas relacionadas à área de avanço da ciência e tecnologia. O método de pesquisa ao qual se refere o título do livro pressupõe que: o artefato projetado e desenvolvido seja reaplicado na comunidade em que se detectou o problema da pesquisa assim que se finalize as etapas de explicitações das aprendizagens e conclusões. Este processo tem a intenção de levantar dados de avaliação do artefato a partir do ponto de vista do uso da comunidade. Entretanto, para esta pesquisa eliminamos a etapa onde seria feita a reaplicação do produto

em uma situação de uso da comunidade. Dessa forma, esta pesquisa não se encaixa na categoria de design science research e sim na categoria de pesquisa quantitativa / experimental. Ainda assim, o mesmo foi utilizado como referencial metodológico para o trabalho.

No desenvolvimento da **revisão bibliográfica**, realizamos a sistematização e análise dos dados sobre os seguintes temas: o panorama da produção de madeira para construção no Brasil; o contexto da madeira e seus modos de produção no debate da sustentabilidade; pré-fabricação: ciclo aberto/ciclo fechado no “pé da obra”; componentes construtivos à base de produtos florestais e painéis de vedação vertical em madeira. A partir desta revisão bibliográfica foi realizada a definição de critérios para projetar e produzir o objeto desta pesquisa.

Na etapa de **desenvolvimento de projeto de produto e produção**, dois protótipos foram executados em escala real, com madeira serrada adquirida no comércio local, o que nos permitiu ter uma visão da matéria prima que é fornecida e as suas relações com o produto final, assim como a viabilidade da produção dos painéis dentro do canteiro de obra.

Na fase de projeto, analisamos a viabilidade de aplicação das diretrizes definidas, assim como a facilidade da aplicação no protótipo durante a produção. Assim, pudemos evidenciar se o projeto cumpria com as premissas estipuladas nos critérios.

Na fase de produção levantamos dados do processo de execução através da experimentação prática e documentação fotográfica, e posteriormente descrevemos o processo com as análises dos procedimentos adotados em cada etapa. Os dados levantados foram: avaliação visual do lote de madeira adquirido, layout da unidade de produção, execução do painel, da montagem dos painéis e fotos de documentação do processo.

A dissertação está organizada com a seguinte estrutura:

Capítulo 1 - Contexto da utilização da madeira para construção civil no Brasil: neste capítulo inicial apresentamos o problema da pesquisa em relação à incipiência da produção de componentes à base de produtos madeireiros para a construção, e a procura da cadeia da silvicultura em ampliar a sua utilização na construção civil. Apresentamos também o debate da sustentabilidade em relação às formas de produção e por fim identificamos as formas de pré-fabricação assim como exemplos de pré-fabricação feitas no pé da obra que possibilitaram uma forma diferente de apropriação da tecnologia, do conhecimento, e do processo produtivo por parte da peça motriz da produção: o trabalhador. Procuramos assim justificar a escolha deste processo construtivo quando se pretende colaborar na difusão do uso da madeira na construção civil.

Capítulo 2 - Construção com madeira: No segundo capítulo, inicialmente fizemos um levantamento dos componentes construtivos de madeira que podem ser utilizados na construção, e depois sobre diferentes composições de painéis verticais de vedação pré-fabricados com foco no projeto e na produção dos mesmos. Com esta revisão, pudemos estabelecer as diretrizes para o projeto do protótipo desenvolvido na pesquisa.

Capítulo 3 - O protótipo: com base nas diretrizes preliminares para o projeto e produção de painéis verticais de vedação em madeira, estabelecidas no capítulo 2, este terceiro capítulo procurou demonstrar o processo de projeto e de produção do artefato proposto. Sobre a fase de projeto, foi descrita a tomada de decisão em função de cada diretriz estabelecida, procurando evidenciar de que forma o projeto cumpre com as premissas estipuladas nos critérios. Sobre a fase da produção, foi descrita a execução prática do painel, coletando dados desde a aquisição da matéria prima, da produção do painel no Laboratório de Modelos e Maquetes do IAU-USP em São Carlos e, por fim, da montagem dos painéis produzidos. Desta forma coletamos dados para a discussão das considerações finais.

Considerações finais: neste último capítulo analisamos os dados coletados durante a documentação do processo de projeto e do processo de produção, com a finalidade de verificar os limites da aplicação do projeto e produção de painéis de vedação vertical em madeira para a construção civil “no pé da obra” e, assim, apontar caminhos para aprimorá-los, bem como as considerações para futuras pesquisas.

CAPÍTULO 1: CONTEXTO DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

Neste capítulo, temos o objetivo de fundamentar a escolha da pré-fabricação no “pé da obra” enquanto um processo construtivo que pode colaborar na difusão do uso da madeira na construção civil. Em primeiro lugar, procuramos apresentar um breve panorama da produção da madeira para construção no Brasil, assim como o contexto deste material e seus processos de produção no debate da sustentabilidade. Em um segundo momento, faremos um breve debate teórico a respeito das potencialidades e limites da pré-fabricação na construção civil no Brasil para, na sequência, apresentamos diferentes experiências de pré-fabricação ao pé do canteiro procurando justificar a escolha por este processo construtivo quando se pretende incentivar o uso da madeira na construção civil.

1.1 Madeira como material construtivo

Um conjunto consistente de pesquisas científicas e de publicações a respeito da madeira a indicam como um dos materiais construtivos de menor impacto ambiental, sobretudo se comparados aos materiais comumente utilizados na construção civil – como concreto, aço, alumínio ou alvenaria cerâmica, para citar apenas alguns. Afinal, a madeira sequestra carbono durante sua formação como planta, e este carbono fica estocado até sua decomposição ou incineração. Além disso, é uma matéria prima renovável e pode ser plantada em lugares diversos, permitindo uma possível aproximação entre os pontos de distribuição e o canteiro de obras. Por fim, ela requer baixa quantidade de energia em seu processo produtivo – uma vez que se forma através da energia solar e exige pouca energia para o beneficiamento. Em outras palavras, Berriel (2009) coloca que “a madeira, além de ser matéria prima renovável, utiliza pouca energia no processo de transformação e volta para a terra no final do processo, sem gerar resíduo, sendo neste caso, nula em relação às emissões de carbono” (BERRIEL, 2009, p.XXV).

A tabela 1 compara a madeira com outros materiais construtivos, com base em dados de energia embutida e carbono estocado². A quantidade de energia embutida é um dos índices que mais evidencia o baixo impacto ambiental da madeira, que representa: 42% da energia embutida do concreto, menos de 0,5% da energia embutida do aço, e 0,2% da energia

² O cálculo de energia embutida considera o consumo de energia utilizada no processo de retirada da matéria prima, transformação e transporte. A emissão de carbono é a quantidade de CO₂ emitido na atmosfera no mesmo processo. No caso da madeira, o processo de fotossíntese absorve CO₂ da atmosfera emitindo oxigênio e estocando parte do CO₂ na composição do seu tronco. Para informações detalhadas sobre a composição destes dados, vide Alcorn (2003). Disponível em < https://www.wgtn.ac.nz/architecture/centres/cbpr/resources/pdfs/ee-co2_report_2003.pdf>. Acesso em 03/06/2020.

embutida do alumínio. Quanto à emissão de carbono, destacamos que a madeira apresenta valor negativo, evidenciando ainda mais suas características do ponto de vista ambiental.

Tabela 1: comparação entre materiais de construção e consumo de energia

Material	Energia embutida** (Mj/m³)	Emissão de carbono** (kg/m³)
Madeira (pinus)	1.179	- 699
Concreto (30MPa)	2.762	376
Aço estrutural	245.757	9.749
Alumínio	517.185	21.600

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Alcorn (2003)**

Ainda assim, apesar de ser um material com baixa emissão de CO₂ e energia embutida, existem entraves para a utilização da madeira na construção civil no Brasil. Estes entraves se relacionam a diversos motivos, tais como: preconceito, falta de especialização do arquiteto e do engenheiro em construção com madeira, pouca oferta de cursos de especialização, desinteresse dos empresários da cadeia florestal em produzir para a construção em comparação à produção para a celulose, fornecimento de madeira sem padronização e de má qualidade e competição com a indústria do aço e do concreto já consolidadas no mercado.

Nesse sentido, alguns autores indicam que o preconceito contra a madeira na construção civil se relaciona à má reputação criada pelos maus exemplos e “técnicas construtivas inadequadas decorrentes da falta de conhecimento dos profissionais” (BERRIEL, 2009, p. XXXI). Além do preconceito, “os profissionais com interesse em conceber edificações em madeira encontram dificuldades que advêm desde a sua formação acadêmica” (GALINARI, 2000, p. 23). Assim, na atuação profissional do próprio arquiteto, acaba havendo pouco espaço para propor a utilização de madeira como matéria prima na solução construtiva no Brasil.

A este motivo se relaciona outro fundamental (e que testemunhamos no desenvolvimento deste trabalho, como apresentaremos a frente), que diz respeito a baixa qualidade da madeira comercializada para a construção no Brasil. Para transpor esta dificuldade, o arquiteto, o engenheiro e o construtor tem que se envolver em várias das etapas da cadeia produtiva, seja no planejamento de corte na floresta, o projeto, a execução, até o planejamento da manutenção da edificação após a construção.

Por sua vez, a baixa qualidade da madeira disponível no mercado se relaciona à falta de interesse dos empresários do setor da silvicultura em direcionar a produção para a construção civil. Em alguns eventos recentes, se debateu o panorama da madeira no Brasil (4º Simpósio Madeira e Construção 2017, em Curitiba; e XVI EBRAMEM 2018, em São Carlos), e alguns

relatos constataram a intenção dos atores da cadeia da silvicultura em aumentar a utilização de seus produtos na construção civil, apesar de alguns entraves. Dentre eles, os principais se relacionam ao processo burocrático em se conseguir a certificação da madeira no Brasil e a atração do mercado para a exportação. Consequentemente, a madeira vendida no mercado interno para a construção em canais comuns de comércio acaba tendo um padrão de qualidade baixo.

Assim, ainda que a madeira tenha comparativamente um impacto socioambiental menor na sua produção, em relação aos materiais convencionais (BERRIEL, 2009); apesar de todas as recomendações de sustentabilidade desde a Eco 92 e, mais recentemente, a Agenda 21 para a Construção; e “apesar de abrigar uma das maiores reservas florestais do mundo” (CRUZEIRO & INO, 2000), o Brasil ainda não emprega a madeira de modo efetivo na construção civil.

Quanto à produção de madeira plantada e certificada, também, corrobora com o argumento, pois é quase exclusivamente (cerca de 79%) destinada para o mercado de papel e celulose (ZERBINI, 2014, p. 31), ou destinada à exportação. Os gráficos nas figuras 2 e 3, elaborados pelo IBGE (2017) mostram o volume de produtos florestais madeireiros exportados entre 2008 a 2016. O primeiro gráfico mostra que a exportação de celulose quase dobrou no período, passando de 7 milhões para 13,5 milhões de toneladas enquanto neste mesmo período, a madeira serrada após ter uma baixa na exportação, exportou em 2008 2,1 milhões de t passando para 2,5 milhões de metros cúbicos em 2016, o que representa um aumento de menos de 20%.

Figura 2: Quantidade de exportação de Produtos Florestais Madeireiros I
Fonte: MDIC/PEVS/IBGE (2017).

Figura 3: Quantidade de exportação de Produtos Florestais Madeireiros II
Fonte: MDIC/PEVS/IBGE (2017).

Quanto à produção de floresta nativa certificada, o uso é destinado principalmente para a construção civil, porém uma parcela menor é utilizada no mercado interno. “A produção de 2012 da madeira certificada foi exportada quase que na sua maioria (47%), para países da Europa bem como para o Japão. Em seguida vem o mercado local com 29% e o estoque ficou com 10%” (ZERBINI, 2014, p. 34).

O gráfico da Figura 4, também elaborado pelo IBGE (2017), mostra em metros cúbicos a quantidade de madeira extraída de florestas nativas e plantadas dividindo entre madeira para combustível e madeira para a indústria. Na cor verde escuro é indicada a produção de madeira provinda de floresta natural extraída para a indústria, e no caso da madeira nativa é maior a probabilidade de ser destinada a construção, sendo 11.450.693m³. As cores cinza claro, cinza escuro e magenta representam a produção de florestas plantadas destinadas a produção de celulose, sendo que a soma delas representa em torno de 84 milhões de m³, enquanto a produção de floresta plantada destinada à construção é inexpressiva evidenciando a prioridade na produção de celulose, em relação a produção para a construção. Podemos perceber que o carvão vegetal representa uma boa parte do gráfico, e este é muito utilizado na construção civil de forma indireta na produção de aço, cerâmica e cimento, mas proporcionalmente a produção para celulose ainda é maior.

Figura 4: Quantidade de madeira extraída (por tipo de floresta/tipo de uso/espécie)
Fonte: PEVS/IBGE (2017).

Sabe-se que hoje, entre o sul do estado de São Paulo e norte do Paraná, existe o processo de produção para confecção de placas de pinus com *fingerjoint*³, mas estas são para venda exclusiva na Europa e não no mercado interno. Também nesta região, parte da produção da madeira plantada é utilizada para a produção do sistema *woodframe*⁴ para a construção civil, mas são poucas as empresas que utilizam este sistema.

A produção de floresta de espécies nativas e com certificação também é possível de ser explorada mas, no Brasil, as áreas plantadas com espécies nativas são minoria. As espécies que ocupam a maior área de reflorestamento são o pinus e eucalipto (ZERBINI, 2014, p. 31) espécies notadamente exóticas. Segundo dados do IBGE (2017), é possível observar a produção das espécies nas florestas plantadas certificadas nos estados brasileiros. Ao comparar a produção de cada estado fica clara a predominância das espécies de pinus e eucalipto, que são espécies em grande maioria destinadas para papel e celulose.

³ Fingerjoint – é junção de pequenas peças de madeira por meio de um sistema de ligações por entalhes múltiplos colados formando peças de maiores dimensões.

⁴ Woodframe – Sistema construtivo estrutural de madeira.

Figura 5: Produção total - florestas plantadas (por espécie/estado)
Fonte: PEVS/IBGE 2017

Dentro deste panorama, levantamos o seguinte problema: o país não tem uma produção efetiva de madeira destinada à construção, e se por um lado há interesse por parte dos agentes da cadeia de silvicultura em ampliar a utilização dos seus produtos na construção civil, por outro, é incipiente a produção de componentes à base de produtos madeireiros para aplicação na construção. Esta lacuna pode ser percebida como uma oportunidade para a academia desenvolver pesquisas que colaborem neste contexto.

1.2 Processos produtivos e impacto socioambiental na construção civil

Como visto anteriormente, independentemente da aplicação que a madeira terá no universo da construção civil, sua origem sempre remeterá a uma matéria prima de menor impacto ambiental, se comparada à maioria das demais matérias primas para a construção. Contudo, o foco do debate que queremos construir nos próximos parágrafos recairá não mais sobre a matéria prima – a madeira –, mas sim sobre os diferentes processos produtivos que dela derivam, e seus diferentes impactos sobre o meio ambiente. Como veremos detalhadamente, as aplicações da madeira na construção civil podem variar desde a peça bruta – como a madeira roliça – até sua aplicação em produtos industrializados – como as madeiras reconstituídas e componentes estruturais feitos com cola (MLC e CLT). A escolha de cada um desses processos produtivos se desdobrará em diferentes esquemas de mão de obra e matérias primas, e resultará em diferentes produtos, cada um com suas características físicas e níveis de impacto ambiental.

O debate sobre os diferentes níveis de impacto ambiental resultante dos processos construtivos nos remete às discussões sobre sustentabilidade. Schumacher (1977), ainda na década de 1970, interpretou que o homem moderno em seu sistema de produção trata sem valor o que não foi ele mesmo que construiu, ou seja, o que foi simplesmente encontrado na natureza. Inserido na lógica do mercado, o homem explora o meio ambiente para produzir mercadoria em ritmo crescente, sem se dar conta que a natureza é um bem finito e insubstituível e que ele próprio depende dela para continuar existindo como espécie (SCHUMACHER, 1977, p. 12). Consequentemente, o sistema industrial vem devastando este bem insubstituível e o tratando como mercadoria, nos direcionando para um possível colapso ambiental, conforme explica o autor.

Já na década de 1980, o debate sobre a sustentabilidade acaba assumindo algumas linhas discursivas que correspondiam a interesses de diferentes grupos, conforme analisa Henri Acselrad (2001). O marco da análise deste autor é a publicação do Relatório de Brundtland, com o texto “Our common future” (WCDE, 1987). Segundo o autor, a evolução destes discursos se define por algumas matrizes: a matriz que seria central no discurso da sustentabilidade seria a da “eficiência”, que buscava o combate ao desperdício da “base material do desenvolvimento”, ou seja, do “uso dos recursos do planeta” (2001, p.43). Outras matrizes seriam a da “escala”, propondo limitar a pressão do crescimento econômico sobre os recursos ambientais; a da “equidade”, que analisa a relação entre justiça e ecologia; a da “autossuficiência”, que defende a “desvinculação de economias nacionais e tradicionais dos fluxos do mercado mundial”; a da “ética”, que propõem uma noção de bem e mal, relacionando “interações da base material do desenvolvimento com as condições de continuidade da vida” (ACSELRAD, 2001, p. 43). O autor indica que na década de 1990 a noção de sustentabilidade cresceu dentro do debate sobre o desenvolvimento, onde se acreditou ser possível

compatibilizar o crescimento desenvolvimentista com a durabilidade do ecossistema, feitos os devidos ajustes (ACSELRAD, 2001, p. 43). Nas ONGs, assim como no setor empresarial, o conceito ganhou força como uma forma de substituir a ideia de progresso, criando uma forma de desenvolvimento que toma as decisões centradas no povo e no seu bem-estar. Mas, como aponta o autor, não há hoje uma hegemonia no conceito de sustentabilidade – este conceito permanece em disputa a partir de diferentes pontos de vista que querem se propor mais legítimos, e que garantem alguma flexibilidade onde “a noção de sustentabilidade está submetida à lógica das práticas: articula-se a efeitos sociais desejados, a funções práticas que o discurso pretende tornar realidade objetiva” (ACSELRAD, 2001, p. 45).

Da mesma forma, o discurso da sustentabilidade que propõe o desenvolvimento de cidades sustentáveis, atua com a consolidação de políticas urbanas voltadas para garantir maior mobilidade, cidades mais compactas em um “urbanismo ecológico” (ACSELRAD, 2001, p. 24), desde que garanta também, reforça o autor, a sustentabilidade dos negócios e continuação do crescimento. Políticas públicas feitas para criação de cidades mais sustentáveis, tem como pano de fundo o interesse em atrair investimento para seus municípios e, para tal, se permitem à “flexibilização de legislações urbanas e ambientais para, por exemplo, acolher firmas multinacionais em áreas e em modalidades impróprias do ponto de vista do interesse público” (ACSELRAD 2001, p. 26) e, neste sentido, através de uma “sustentabilidade simbólica”, reproduz-se, o modelo em que o poder de decisão sobre a conformação espacial das cidades tem influência das corporações privadas, em um processo contraditório ao discurso da sustentabilidade socioambiental, mas não ao crescimento do capital:

Encontramos aí uma contradição entre a dimensão simbólica de construção da imagem de uma política urbana que se pretende “ambiental” – porque incorpora todo o mundo, todo o tempo e todo o espaço em sua base de legitimidade – e a competição, que não é só imagética, mas também referente às condições de uso concreto dos recursos urbanos (ACSELRAD, 2001, p.27).

O autor alerta para uma possível interpretação, originada no discurso ambiental, que indica que o meio ambiente e os impactos ambientais geram consequências para todos; que o meio ambiente é comum a todos, “diz respeito a todos, é supraclassista e justifica devermos nos dar as mãos, fazer uma só e inelutável política para protegê-lo” (2001, p.25). No entanto, segue o autor, “mesmo em nome do interesse de todos, é a política de algum grupo que será feita” (2001, p.25), desconsiderando as segregações ambientais e sociais ou a ideia de democratização do território. Sob esse aspecto, o autor aponta que “o que caracteriza as cidades contemporâneas, sob os efeitos da globalização, é justamente a profunda desigualdade social na exposição aos riscos ambientais” (ACSELRAD, 2001, p. 39). Assim, o impacto ambiental é também seletivo “pois os ‘impactos’ operam dialeticamente por

intermédio de um padrão interno de diferenciação socioespacial, onde o que favorece um grupo social pode prejudicar outro” (ACSELRAD, 2001, p.29).

A questão da sustentabilidade também é debatida amplamente no livro de Luiz Marques (2018) “Capitalismo e colapso ambiental”. Centrado na ideia da “irreconciliável incompatibilidade entre o capitalismo de nossos dias e qualquer sociedade ambientalmente viável” (MARQUES, 2018, p. 13), o autor coloca que não é matematicamente possível continuar crescendo o PIB mundial em um modelo de extração de recursos naturais não renováveis e ao mesmo tempo diminuir os impactos ambientais. Afinal, “o capitalismo é um sistema intrinsecamente expansivo, que se torna tanto mais ambientalmente destrutivo quanto mais dificuldade encontra para expandir” (MARQUES, 2018, p. 70). Os agentes que controlam a economia mundial são obrigados a manter as metas de crescimento, utilizando a lógica de expansão, convencidos de que com maior crescimento da economia teremos mais segurança⁵. O papel do Estado em zelar pelo bem-estar social também já foi alterado para uma outra lógica. A partir da transformação do Estado em “Estado-Corporação”⁶, as decisões tomadas para estabelecer acordos que possam ajudar a preservar a biosfera, são feitas “desde que não prejudiquem os planos de crescimento das corporações e seus governos” (MARQUES, 2018, p.17).

Isto explica um dos fatores pelos quais o “Estado-Corporação”, agindo sob a “moral corporativa”⁷, não tem em sua agenda a preservação do meio ambiente como prioridade. Diante das expectativas de projeções de crescimento do PIB e maximização dos lucros, se

⁵ Em relação à equação “maior crescimento = maior segurança”, o autor analisa que não era ilusória até meados do século XIX, “pois a capacidade do homem de potencializar energia de modo exossomático permitia-lhe apenas capturar os fluxos e de toques recentes de energia: o trabalho muscular, os sistemas mecânicos, as forças do vento, da água e do fogo, bem como a radiação solar, sobretudo através da fotossíntese” (MARQUES 2018, p.70), porém (como segunda tese defendida no livro no capítulo 13) esta lógica começa a se inverter, e o ritmo acelerado da devastação da biomassa e aquecimento global fazem com que quanto mais escassos os recursos mais invasivas e impactantes são as técnicas para extração, e “hoje, começamos a perceber que quanto mais acumulamos excedente e energia, menos seguros nos tornamos em relação à escassez e às adversidades da natureza” (MARQUES, 2018 p.71).

⁶ As privatizações e a crescente participação de corporações nas ações das empresas estatais, fazem com que os acionistas tenham poder de decisão nas ações das empresas, assim as estatais passam a defender os interesses dos acionistas e do capital e não da população. Por outro lado, o Estado também investe adquirindo ações de corporações privadas criando um modelo de simbiose entre Estado e Corporação. O desmatamento para criação de gado e corporações de gás e petróleo, são campeões mundiais na emissão de CO₂ e gás metano e neste cenário: “as dez maiores corporações de gás e petróleo do mundo, medidas por suas reservas, são estatais, e as treze maiores, proprietárias de três quartos das reservas mundiais de petróleo, tem participação do Estado” (MARQUES, 2018,p.46).

⁷ Milton “Friedman qualifica justamente como imoralidade qualquer iniciativa de um dirigente de corporação que vise atenuar impactos ambientais, se tal iniciativa implicar diminuição de lucros” (MARQUES, 2018, p. 558)

tornam ilusórias e contraditórias as “fórmulas do capitalismo sustentável” – para o “aumento da eficiência energética e tecnológica, fim do subsídio aos combustíveis fósseis, taxa de carbono, desacoplamento, circularidade e desmaterialização da economia, carros elétricos, plásticos degradáveis, energia eólica e fotovoltaica” (MARQUES, 2018, p.17), – e a ideia de que estas fórmulas podem ter impacto efetivo no processo de entropia em que vivemos.

Em resumo, o capitalismo não é um sistema socioeconômico ambientalmente sustentável, se o estabelecimento de marcos regulatórios capazes de trazê-lo de volta a sustentabilidade for deixado ao encargo do mercado, pois o mercado é capaz, na melhor das hipóteses, de otimizar a relação custo/benefício na alocação de recursos, mas não a conservação desses recursos (MARQUES, 2018, p.581).

A eficiência energética almejada para a sustentabilidade urbana através de novas tecnologias com uma maior eficiência material e energética sugere que “para reduzir o impacto entrópico das práticas urbanas, caberia adotar tecnologias que poupem espaço, matéria e energia e sejam voltadas para a reciclagem de materiais” (ACSELRAD, 2001, p.55). De fato, a tecnologia tem um papel fundamental neste contexto, mas as soluções tecnológicas inovadoras normalmente estão atreladas ao aumento da eficiência da relação insumo/produto/lixo, e geralmente não tem o foco em diminuir a pressão sobre o ecossistema. Mesmo nos casos em que houver esta intenção, ao se alcançar o êxito, o final do processo deverá gerar mais lucro, expandir as vendas, expandir a produção e reproduzir a lógica de crescimento. Portanto, “a ideia de eficiência ecoenergética pretende consequentemente estender o campo de vigência da racionalidade econômica” (ACSELRAD, 2001, p.55).

O conceito de “descolamento” defende que a ecoeficiência das tecnologias e dos processos produtivos permitirão o “aumento da produção e do consumo com menor pressão ou ao menos sem aumento correlativo da pressão sobre os ecossistemas” (MARQUES, 2018, p.560). Porém, como analisa o autor, mesmo que diminua a pressão por produto, o aumento na escala de venda tende a anular o ganho de ecoeficiência. Mesmo as tecnologias aplicadas em reciclagem e reutilização tem um custo alto em gasto de energia no processo, tornando questionável ou, segundo o autor, nulo o conceito de “economia circular”.

Se as inovações tecnológicas ecoeficientes tendem a reproduzir o modelo de crescimento e expansão sem incorporar o custo ambiental, se nem o poder público nem o privado estão interessados em direcionar suas decisões para cumprir acordos internacionais de diminuição do impacto ambiental, é improvável que teremos uma diminuição global efetiva na emissão

de CO₂ e gás metano antes de um colapso ambiental global, ou ao menos garantir a habilidade das gerações futuras de satisfazer suas necessidades⁸.

Harvey (2016) considera suspeita a ideia de que a contradição existente na relação do capital com a natureza culminará em um final apocalíptico. Afinal, se o “capital transformou a questão ambiental em um grande negócio” (HARVEY, 2016, p.231) o capitalismo é capaz de se reinventar e lucrar com os desastres ambientais. Exemplos disso não faltam: após os desastres socioambientais em escala continentais como Mariana-MG e Brumadinho-MG, vimos a empresa responsável recuperar o valor de suas ações em apenas um ano⁹, ao passo que o tempo para a recuperação ambiental da área atingida ainda é desconhecida. Como destaca Harvey (2016), no negócio da sustentabilidade, “tecnologias ambientais” que entram para o mercado de ações tem valor alto, tornando as mesmas autônomas em relação ao motivo pelo qual foram concebidas, o que faz com que buscar tecnologias inovadoras se torne um fim em si: “por exemplo, quando se inventa um novo medicamento ou uma nova maneira de reduzir as emissões de carbono, é preciso dar-lhes um uso, e isso pode implicar não a satisfação, mas a criação de uma necessidade” (HARVEY, 2016, p.231).

Observando o ponto de vista dos autores acima, percebemos o papel importantíssimo que a tecnologia tem no debate da sustentabilidade. Como aponta Marques (2018), se a tecnologia segue sendo entendida como parte do crescimento econômico, devemos entender também que isso faz dela “parte do problema, quando mais do que nunca, ela precisa ser parte da única solução possível: subordinar a economia à ecologia e diminuir drasticamente nosso impacto ambiental de modo a voltarmos a caber na biosfera” (MARQUES, 2018, p.66).

Propostas tecnológicas para a construção civil que pretendem ser ecoeficientes, ou que propõem redução de consumo de energia e emissão de CO₂, deveriam estar atentas a não reproduzir a lógica exposta acima. É possível imaginar que uma saída seria incorporar o custo socioambiental em suas planilhas orçamentárias, porém este custo além de ser contraditório à lógica do mercado, é imponderável para se absorver em uma planilha de construção, e é igualmente imponderável a comparação de custo entre materiais de construção ecoeficientes e os convencionais.

Dentro dessa lógica – onde o processo produtivo da grande indústria é o que mais contribui com o impacto socioambiental e o acesso à tecnologia por ela produzida é desigual – podemos interpretar que um caminho que diminua a dependência da grande indústria pode

⁸ Definição de desenvolvimento sustentável proposta no relatório “Our common future”, 1987: “Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”. Our common future, WCDE, 1987, p.37.

⁹ Disponível em <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/01/um-ano-apos-brumadinho-vale-recupera-valor-que-tinha-antes-da-tragedia.shtml>>. Acesso em 06/06/2020.

ser um caminho para reduzir o impacto da mesma sobre o construtor e também sobre o meio ambiente. Interpretamos assim que quanto mais independente o construtor for em relação a mesma e quanto mais ele se apropriar da tecnologia, o impacto social e ambiental tenderá a ser menor.

No texto “Technology and Autonomy”¹⁰, Ian Donald Turner (1972) trata especificamente a respeito da busca por autonomia do construtor em relação à indústria no processo de construção da casa própria em países em desenvolvimento. Um dos exemplos colocados pelo autor é o projeto Habitat, construído em Montreal em 1967, a respeito do qual levanta algumas críticas em relação às propostas de pré-fabricação e industrialização total e centralizada de uma habitação.

Figura 6: Projeto “Habitat”, em Montreal

Fonte: Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Habitat_67>. Acessado em 08/06/2020.

Neste projeto (Figura 6), dois módulos de concreto pesando 90 toneladas formavam uma unidade habitacional e se, por um lado, foi um projeto de design arrojado e que garantiu uma longa durabilidade por ser de concreto, por outro levantou críticas a respeito do seu custo e relevância social. Turner (1972) então analisa três pontos pelos quais esta estratégia de produção totalmente centralizada e industrializada não é a mais indicada como solução para habitação social, contrapondo com benefícios da estratégia da construção de elementos de pequeno porte.

O primeiro é a questão do peso. Uma construção pesada e totalmente industrializada deve ser necessariamente transportada e içada com o auxílio de máquinas especiais e de grande porte e profissionais especializados, o que faz com que os custos adicionais sejam incorporados no preço final. Em contraponto, uma construção de pequeno porte pode evitar este custo adicional (TURNER, 1972, p.224).

¹⁰ Texto inserido no livro “Freedom to build”, de John Turner (1972).

O segundo é a questão do preço. Para comprar um módulo inteiro completo o morador deve ter no mínimo uma poupança acumulada para pagar uma entrada e acesso a crédito para continuar pagando em pequenas parcelas em um tempo prolongado. Em contraponto, ao construir uma casa por etapas, como é mais comum entre as residências da população de baixa renda, o acesso ao crédito é útil, mas caso não exista, o processo de construção não para e continua ao longo das gerações (TERNER, 1972, p. 224).

O terceiro e mais importante, segundo o autor, é que uma construção fechada impõe ao morador um modo de vida pré-determinado pelo projetista e não pelas necessidades reais do morador. Em contraponto, a construção através de componentes menores possibilita uma variedade maior de arranjos e combinações que podem atender a mais tipos de necessidades individuais adequando a construção ao usuário e não o contrário (TERNER, 1972, pg.225).

Neste sentido, Turner (1972) defende que a fragmentação da indústria é um caminho neste processo de busca pela autonomia na construção, ao passo que a dependência da mesma pode agravar ainda mais o problema do déficit de habitação, principalmente em países em desenvolvimento. Na impossibilidade de conseguir uma autonomia plena em relação à grande indústria, o autor propõe o conceito de industrialização parcial, que é baseado numa estratégia de produção que utiliza seletivamente alguns aspectos da industrialização, evitando ou adiando o uso de outros.

O fornecimento de equipamentos para produção habitacional altamente automatizados, sofisticados e dispendiosos pode desviar a atenção de um esquema relativamente simples, barato e altamente produtivo em direção à industrialização da produção habitacional, que poderia ser realizado sem esse investimento e prometer ganhos iguais ou maiores na habitação. Além disso, a provisão com base em grandes plantas industriais pode servir para diminuir, em vez de aumentar, a autonomia e a capacidade dos moradores de baixa renda de prover sua própria moradia (TERNER, 1972 p.209, tradução nossa)¹¹.

O autor analisa que a centralização da indústria em grandes fábricas, com grandes maquinários, onde a mão de obra sem especialização é facilmente substituída, devem ser repensadas e para isso propõem estratégias que podem auxiliar a industrialização parcial.

¹¹ Trecho original em inglês: "The provision of highly automated, sophisticated, and costly industrialized housing equipment may divert attention from a series of relatively simple, inexpensive, and highly productive steps toward housing industrialization which could be accomplished without such investment and promise equal or greater housing gains. Furthermore, the provision of large plants may serve to decrease, rather than increase, the autonomy and ability of low-income dwellers to provide their own housing".

O esquema industrial que prevê grandes volumes de produção, justificam a aquisição e instalação de maquinaria dispendiosa, assim como justifica a implantação de galpões de grande porte para a concentração da produção. Neste sentido, a produção automatizada e mecanizada de grande escala tende a ser centralizada e está diretamente relacionada com alto investimento financeiro, com o tamanho e o porte da indústria, assim como a dependência das redes de infraestrutura para fornecimento de matéria prima e energia¹². Assim uma estratégia proposta por Turner (1972, p. 219) é descentralizar a produção e diminuir o tamanho dos galpões de produção.

Outra estratégia proposta por Turner é a combinação de especialização de mão-de-obra e racionalização do projeto. Para isso o projeto deve ser racionalizado, mas não deve parar no desenho do componente. O desenho de produção também é importante e deve ser pensado vinculado às técnicas de trabalho especializadas (TURNER, 1972, p. 219). Assim, uma alternativa ao esquema de constante substituição de mão de obra, é o aumento da especialização e emprego da mão de obra local, que pode aumentar a autonomia dos moradores em relação a sua própria moradia.

No mesmo sentido, Schumacher (1977) propõe que, para a orientação futura do desenvolvimento das novas tecnologias, precisamos de métodos que sejam “suficientemente baratos para serem acessíveis a todos; adequados à aplicação em pequena escala; compatíveis com a necessidade humana de criatividade” (SCHUMACHER, 1977, p.28). As ideias de Schumacher, que datam da década de 1970, se intensificaram com o tempo e parecem se aplicar ao cenário atual.

As reflexões dos autores citados anteriormente nos permitem debater este tema dentro do universo da construção civil, sobretudo com o foco na madeira como material construtivo. E se já é claro que a madeira é uma aliada para reduzir o impacto ambiental, serão as características do processo construtivo relacionados a escala da unidade produtiva e do projeto vinculado à produção que poderiam ser explorados para ampliar, ainda mais, os benefícios sobre as características deste material construtivo.

¹² Como já citamos, é possível fazer menção às consequências apontadas por Acselrad (2001) no que diz respeito a “flexibilização de legislações urbanas e ambientais”

1.3 Pré-fabricação e madeira na construção civil

Largamente difundida no período pós IIª Guerra Mundial através da utilização dos painéis pré-fabricados de concreto na produção de habitações, a pré-fabricação geralmente está associada a um processo de produção onde os elementos construtivos são fabricados antes da construção, de forma industrial e em larga escala.

A pré-fabricação foi definida pela Associação Italiana de Pré-fabricação como “fabricação industrial fora da obra, imutavelmente, em grande parte do globo, de partes da construção, aptas a serem utilizadas mediante distintas ações de montagem” (BERRIEL, 2009. p. 187).

Bruna (2002) descreve a classificação da pré-fabricação de *ciclo aberto* ou *ciclo fechado*. A pré-fabricação em *ciclo aberto* fazia parte das discussões para habitação mínima nos anos do primeiro pós-guerra em função da necessidade de associar os diversos componentes da construção entre si. Para isso é preciso que exista um “acordo dimensional e qualitativo” sobre os produtos que serão industrializados e fornecidos no mercado aberto, o que se deu o nome de coordenação modular. Assim como descreve o autor, ciclo aberto é “a industrialização de componentes destinados ao mercado, e não exclusivamente às necessidades de uma só empresa” (BRUNA, 2002, p.60). Já a pré-fabricação em *ciclo fechado* “consiste em pré-fabricar elementos em função do próprio consumo, nas próprias obras” (2002, p. 60). Do ponto de vista do autor, o ciclo aberto é a melhor forma de pensar na pré-fabricação e “retorna-se assim à primitiva divisão do trabalho que, sem dúvida, oferece as melhores possibilidades de especialização e conseqüentemente de standardização e produção em massa” (BRUNA, 2002, p.60). O ciclo fechado de pré-fabricação conforme Bruna (2002, p.53), é um sistema onde: “uma mesma empresa, ou grupo de empresas coligadas, executa inteiramente com seus próprios meios e suas próprias usinas o produto final, isto é, o edifício completo”.

Valle (2011) defende que a racionalização da construção civil, da qual a pré-fabricação participa, não está restrita apenas ao processo de produção industrial e de larga escala. O autor ressalta que “o artesão, a pequena empresa, estruturas familiares organizadas podem racionalizar seu processo de produção” (VALLE, 2011, p. 65) nas atividades construtivas.

Um dos aspectos mais importantes que motiva a produção de edificações através do processo de pré-fabricação é, geralmente, a busca por economia no canteiro de obras. Tanto no ciclo aberto quanto no ciclo fechado – ou seja, tanto na produção industrial de componentes construtivos padronizados e vendidos “em catálogo”, quanto na produção de um painel de bloco cerâmico armado ao “pé do canteiro” – o objetivo com a pré-fabricação geralmente será “aumentar a rapidez da execução, a economia de materiais, a redução do tempo de utilização de mão de obra, com conseqüente economia financeira e melhoria na qualidade do produto final” (BERRIEL, 2009. p. 187).

A partir da publicação da Agenda 21 com as recomendações para um desenvolvimento sustentável, a pré-fabricação começou a ser uma ferramenta importante para ajudar a delimitar as fronteiras de Análise do Ciclo de Vida (ACV) das construções com a intenção de mitigar CO₂ e consumo de energia. Analisar o ciclo de vida da construção implica em tentar mapear não só a etapa da construção, mas todas as etapas envolvidas no processo produtivo. Existe ainda hoje uma grande dificuldade de delinear as fronteiras de abrangência do impacto social e ambiental da produção e beneficiamento dos materiais envolvidos em uma construção. Normalmente as certificações e selos verdes só conseguem levar em consideração os materiais a partir do momento que chegam na obra.

Neste sentido, Kuittinen (2013) afirma que a pré-fabricação para a construção pode ser uma conduta viável para combater a emissão de CO₂ e consumo de energia nos canteiros de obra. Isso se dá por diversos motivos. Um componente pré-fabricado possibilita um processo com maior controle de variáveis, desde os materiais até as máquinas empregadas no processo. Além disso, a pré-fabricação pode diminuir também a quantidade de resíduos devido ao planejamento de cada etapa da produção, o que auxilia o controle da cadeia produtiva e consequentemente pode ajudar a delimitar as fronteiras da ACV.

A fim de garantir a precisão e eficiência de trabalho na construção, a pré-fabricação é o principal método de construção no norte e centro da Europa. Com relação à ACV do processo de pré-fabricação, os possíveis inventários são o consumo de eletricidade para uma linha de produção em uma fábrica (por exemplo, iluminação e sistema de ventilação), climatização do ambiente e combustível para operação de máquinas de construção. (KUITTINEN, 2013, p.79-80).¹³

Uma forma adequada de monitoramento deve ser elaborada para uma coleta de dados relevantes e de forma abrangente. São necessárias mais pesquisas e práticas nesta questão. A importância de gerenciar o trabalho de pré-fabricação do ponto de vista ambiental aumentará em um futuro próximo. (KUITTINEN, 2013, p.81).¹⁴

A pré-fabricação de componentes leves feita no pé da obra nos dá indícios de que o processo pode reduzir o consumo de combustível fóssil, uma vez que concentra logística de transporte e a montagem em um único lugar, e mesmo no caso de usinas de pré-fabricação de grande porte existe uma redução no consumo de energia em relação às obras convencionais. Outros benefícios são constatados nos painéis leves pré-fabricados: não demandam máquinas

¹³Tradução livre do texto: In order to secure the accuracy and work efficiency of construction, prefabrication is the main construction method in northern and central Europe. Regarding LCA of prefabrication work, possible inventories are electricity consumption for a production line in a factory (e.g. construction machine operation, lighting, and ventilation machine operation), space heating/cooling energy, and fuel for operation of construction machineries (KUITTINEN 2013, p.79-80).

¹⁴ Tradução livre do texto: A proper monitoring plan needs to be prepared in order to collect relevant data comprehensively. Further research and practice are required on this issue. The importance of managing prefabrication work from the environmental viewpoint will increase in the near future. (KUITTINEN 2013, p.81).

pesadas para a montagem o que, do contrário, poderia criar um transtorno quanto à logística; durante o uso e manutenção ao longo da utilização da edificação possibilitam substituição de pequenas áreas da vedação sem onerar grandes porções do edifício; no caso de desmontagem, pode facilitar o processo de descarte.

Normalmente a pré-fabricação, seja em ciclo aberto ou fechado, está inserida no processo de industrialização da construção, portanto inserida na busca pelo desenvolvimento de tecnologias – que, na nossa sociedade, possui de forma geral o foco principal na redução de custos de produção e aumento de lucro de venda. Este foco induz a uma busca pelo desenvolvimento de mais tecnologias, tornando-se assim um fim em si. David Harvey (2016) faz uma reflexão neste sentido, indicando que esta recente busca por tecnologias “genéricas” se tornou um grande negócio, onde o que vale é a inovação pela inovação (2016, p. 96).

Se por um lado, o desenvolvimento científico sempre dependeu de novas tecnologias, como o telescópio e o microscópio, por outro, a incorporação do conhecimento científico a novas tecnologias tornou-se o cerne da atividade empresarial e da inovação tecnológica. Podemos dizer que a tecnologia se cria a partir de si mesma (HARVEY, 2016, p. 96).

Pode-se até mesmo, de certa forma, interpretar que as inovações tecnológicas passam a ter um alto valor de troca sem necessariamente ter um valor real de uso. As novidades do mercado passam a ser desejadas e consumidas apenas pelo valor do signo, do símbolo, da mensagem que determinado produto transmite. Para atingir redução de custo sem depreciar o material empregado no produto, normalmente o produtor recorre ao sistema de exploração de mão de obra. Se a pré-fabricação é um campo fértil para as inovações tecnológicas, é também um campo propício ao este tipo de exploração supracitada.

Por outro lado, esta pode ser também uma oportunidade para propor outras formas de relações de produção. As pré-fabricações feitas por mutirão em ciclo fechado no “pé do canteiro”, por exemplo, possibilitaram uma forma diferente de apropriação da tecnologia, do conhecimento, e do processo produtivo por parte da peça motriz da produção: o trabalhador. Iremos citar na sequência algumas das experiências construtivas dos arquitetos Lelé, do Laboratório de Habitação da UNICAMP, Acácio Gil Borsó, e do grupo Habis ao longo de suas trajetórias, para exemplificar casos de pré-fabricação no “pé do canteiro” que tiveram uma preocupação com o processo produtivo como um todo, e não só no produto final com redução de custos extraído da exploração do trabalho.

Mas apesar dos benefícios constatados na utilização da pré-fabricação, esta abordagem ainda é pouco utilizada na construção civil brasileira. Hoje no Brasil, e especificamente no que diz respeito à construção com madeira, o *Wood frame* e o CLT começam a ganhar mercado no campo da construção, mas este mercado ainda é acessível a uma porção menor da

população. Assim, é preciso aumentar o leque de possibilidades para a construção pré-fabricada com madeira, assim como continuar a pesquisa acerca das formas de mitigação de CO₂ e redução de consumo de energia.

A seguir procuraremos compreender, num primeiro momento, de que forma a pré-fabricação pode ser um processo de produção que permita ampliar a utilização dos produtos madeireiros na construção civil. E, por fim, para a realização concreta do painel vertical de vedação, buscamos debater quais critérios de projeto devem ser considerados para produzir em autoconstrução um painel pré-fabricado de madeira.

1.4 Experiências de pré-fabricação ao pé da obra

A seguir apresentaremos algumas experiências de canteiro de obras onde a pré-fabricação não está relacionada à lógica industrial, mas que, através da racionalidade, permitiram uma redução de custos imprescindível para viabilizar a construção de interesse social. São exemplos que se adequam ao que Paulo Bruna (2002) conceitua como pré-fabricação de ciclo fechado, especificamente do tipo que é produzido no “pé do canteiro”, onde “uma mesma empresa, ou grupo de empresas coligadas, executa inteiramente com seus próprios meios e suas próprias usinas o produto final, isto é, o edifício completo” (BRUNA, 2002, p. 53). Nestes casos que serão citados a frente, foi possível reduzir a dependência do modelo convencional da construção civil e ainda inserir os trabalhadores em todo o processo construtivo, trazendo diversos benefícios para a comunidade, desde a capacitação técnica, do conhecimento e dos ganhos sociais que estes benefícios trazem.

Importante ressaltar que, por serem experiências que não se inserem em lógicas industriais, outros fatores passam a ser importantes. Peso das peças, estratégia de transporte e posicionamento de acordo com as ferramentas disponíveis no canteiro, dispensa de mão de obra e de ferramentas especializadas, projeto arquitetônico desenvolvido a partir do processo produtivo, em módulos, possibilidade de participação mais ativa do trabalhador no processo construtivo – uma vez que a lógica construtiva é desvendada –, utilização de matéria-prima bruta ou pouco beneficiada – aumentando a independência de setores especializados e colaborando na redução do preço.

Foram pesquisadas algumas experiências construtivas do arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé), do Laboratório de Habitação da UNICAMP, de Acácio Gil Borsói, do grupo Habis no assentamento Sepé Tiarajú e a pesquisa acadêmica de Andréa Berriel. A seguir apontaremos brevemente o essencial de cada experiência para então iniciarmos a investigação de algumas condutas que aumentam o controle, e a qualidade no processo de produção de pré-fabricação com madeira.

Ao pesquisarmos sobre a produção de edificações por pré-fabricação no Brasil, uma das grandes referências é a obra do arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé). Serão citados aqui, rapidamente, dois projetos da década de 1980 que se encaixam no que se pretende demonstrar, evidenciando que a pré-fabricação na obra deve envolver um projeto vinculado ao processo de produção, execução e ao trabalhador.

Em 1982, como voluntário do projeto Ação no Município de Abadiânia/GO (projeto AMA), desenvolveu o projeto modelo para a Escola Transitória, “totalmente extensível e desmontável mas de industrialização simples” (LIMA, 2000, p.143). O protótipo feito inicialmente com chapas de compensado e telhas de fibrocimento serviram de pesquisa básica para a “aplicação da tecnologia da argamassa armada em grande escala na Fábrica de Escolas do Rio de Janeiro” (LIMA, 2000, p. 137). Para este projeto foi condição o emprego de mão de obra local e “foi realizado treinamento de curto prazo, além da criação de um manual ilustrado para compreensão do processo construtivo e montagem dos componentes” (TRIGO, 2009, p. 35).

Figura 7: Croquis do protótipo da Escola Transitória em madeira – Abadiânia/GO
Fonte: LIMA, 2000, p. 137.

Figura 8: Foto da montagem e Croquis da Escola Transitória
Fonte: LIMA, 2000, p. 139.

Já se propunha o mesmo cuidado numa experiência anterior, desenvolvida pelo arquiteto para urbanização de favelas em Salvador (RENURB) – a primeira de sua carreira, utilizando argamassa armada em componentes pré-fabricados. “A necessidade de facilitar ou mesmo

viabilizar o acesso dos componentes e equipamentos de montagem aos locais de implantação do projeto (favelas) implicou a busca por componentes mais leves e de fácil manuseio e transporte” (TRIGO, 2009, p. 33).

No discurso do próprio arquiteto esta preocupação também aparece quando explica o projeto citado:

(...) nesta oportunidade investigamos, através da tecnologia da argamassa armada, o emprego de elementos pré-fabricados leves para transporte e montagem manuais, dispensando mão de obra especializada. Com essas técnicas foram executadas várias intervenções, recrutando grande contingente de pessoal dos próprios locais (LIMA, 2000, p. 106).

Implantando a usina de pré-fabricação para execução dos pré-moldados, Lelé já observara a importância de se pesquisar a respeito da redução das peças pré-fabricadas para evitar maquinaria pesada e facilitar o transporte e montagem.

Assim foi implantada também uma usina de pré-moldados a base de cimento, que pesquisou e produziu vários tipos de peças padronizadas para a aplicação em equipamentos urbanos. Na área específica de drenagem evitou-se deliberadamente o emprego de técnicas que exigissem maquinaria pesada, pois isso traria como consequência a indesejável remoção de grande parte da população. Assim, foram executados pré-moldados leves, cujo peso não ultrapassa 100kg, de modo a permitir transporte local e colocação manuais. (LIMA, 2000, p. 106).

Figura 9: Usina de pré-fabricação – RENURB-Salvador 1980
Fonte: LIMA, 2000, p. 106.

A questão do peso dos pré-fabricados é importante quando se pensa no processo de montagem e transporte dentro do canteiro. Esta mesma média de peso (100 kg), foi proposta para os painéis pré-moldados do projeto que Lelé (já no final da carreira), desenvolveu para o Programa Minha Casa Minha Vida em 2011 – para a reurbanização das favelas de Cajazeiras e Pernambués em Salvador. Neste caso os painéis propostos teriam 86kg para permitir o transporte por duas pessoas.

Ainda que houvesse a preocupação com o peso dos elementos, deve-se considerar que, no processo de montagem de peças de 100kg pré-moldadas em argamassa armada, a quantidade das mesmas ao longo da construção contribui para o desgaste dos operários do canteiro – sobretudo quando não se dispõem de ferramentas ou aparelhos para transportá-las. Foi o caso do processo de montagem da Moradia da UNICAMP, que citaremos a seguir.

Inspirado nas experiências das Cooperativas Uruguaias, e herdando “boa parte do espólio do Lab-Hab da Belas Artes” (LOPES; CERON, 2010, p.10), o Laboratório de Habitação da UNICAMP propôs uma pré-fabricação com tijolo cerâmico de 8 furos armado, para ser primordialmente construído por ajuda mútua e mutirões dentro do canteiro de obras. Tentando reduzir o tamanho e peso das peças, os painéis pré-fabricados eram montados no próprio canteiro de obras por operários sem grande especialização em pré-fabricação, mas com grande intimidade e grande conhecimento acumulado a respeito dos materiais propostos. Isto facilitaria o processo de apropriação do sistema construtivo dentro da construção por ajuda mútua e mutirões habitacionais.

Todos os componentes apresentam como características básicas: sua produção é realizada em ‘usina’ de forma concentrada dentro do canteiro de obras; sua execução é horizontal e no chão mediante formas e gabaritos simples, obtendo-se painéis acabados ou semi acabados, prontos para a montagem final; a partir da modulação que resulta numa medida horizontal (largura) sua altura e vão (comprimento) é variável, ajustando às necessidades do espaço a construir; seu peso não ultrapassa os 80kg, em qualquer caso, permitindo que seu manuseio e transporte no canteiro seja feito manualmente. (LOPES; CERON, 2010, p.12).

Esta forma de produção, no pé da obra, ou em uma usina montada na obra, faz com que as pessoas envolvidas possam participar de todo o processo da construção, desde a produção dos painéis até a montagem e, mais facilmente, se apropriem do processo como um todo.

Voltando à questão do peso, uma crítica levantada a respeito deste caso, é que os painéis não eram muito pesados se considerados individualmente, mas na etapa de montagem – quando foi preciso carregar 500 painéis –, o peso acabou tornando esta atividade exaustiva.

Devido à posição do bloco cerâmico, uma boa parte de argamassa de rejuntamento acabava entrando nos septos, não só desperdiçando uma boa quantidade de material, como também acrescentando razoável peso à peça: negando o que se afirmava no discurso, o painel chegava a pesar mais de 100kg.[...] (O problema é que cada casa demandava em torno de 400 a 500 painéis. Carregá-los todos e içá-los todos manualmente, sem nenhuma mecanização, era humanamente improvável que os mutirantes se sentissem satisfeitos) (LOPES; CERON, 2010, p.17).

Figura 10: Painéis de cerâmica armada da residência estudantil da UNICAMP
 Fonte: Disponível em <<https://bit.ly/2Q2wTKB>> acesso em 20/12/2017.

Figura 11: Execução dos painéis de cerâmica armada
 Fonte: Disponível em <<https://bit.ly/2Q2wTKB>> acesso em 20/12/2017.

Esta reflexão mostra a importância de considerar o peso dos elementos pré-fabricados durante o processo de projeto, para assim facilitar o processo de produção e montagem. Neste sentido, é relevante apresentar também a proposta que o arquiteto Acácio Gil Borsoi — quando dirigia o Serviço Social Contra o Mocambo (SSCM) — fez para Cajueiro Seco em 1963 (finalizada precocemente pela interrupção do governo de Miguel Arraes), projetando um bairro feito de casas de taipa pré-fabricadas que teve repercussão na arquitetura brasileira da época (mesmo sem sua efetiva implantação). Ainda que em contexto diferente do exemplo anterior, a proposta feita para atender a população do mocambo também propunha uma pré-fabricação de painéis leves, feitos no canteiro e com materiais conhecidos intimamente pelos operários. Porém, neste caso, os painéis eram realmente leves a ponto da montagem da casa ser feita em poucas horas, como foi publicado no periódico da época Última hora de Recife

em 20 de abril de 1963: “uma casa pré-fabricada, montada em apenas 4 horas, por três operários, foi apresentada ao povo e a imprensa, ontem no Cajueiro seco, pelo SSCM” (BEJA, 2009, p. 177).

A experiência de Cajueiro Seco ainda ecoa no debate da arquitetura brasileira pós-64 como uma das poucas experiências na história da arquitetura moderna brasileira em que se sintetizou o saber ligado a práticas artesanais de uma comunidade com uma proposta de industrialização de componentes e modulação dos espaços em função de peças pré-moldadas no canteiro [...] Borsoi teve a idéia de voltar ao processo tradicional do pau a pique: elaborou um sistema de racionalização e de pré-fabricação dos painéis de estrutura; estes painéis, assim como o equipamento sanitário mínimo previsto, foram fornecidos pela cooperativa formada para este fim; para a cobertura, utilizou rolos de palha trançada igualmente preparados de antemão em série [...] este projeto visava implantar um assentamento habitacional para a população de baixa renda, com emprego de tecnologias não convencionais e participação dos moradores em mutirão. A ideia teve grande repercussão na conjuntura de confronto ideológico do início dos anos 1960, por ser um inédito programa de desenvolvimento comunitário, com incentivo à produção local, integrando técnicas de pré-fabricação a sistemas construtivos vernaculares, como a casa de sapapo ou barro armado. Nessa solução alternativa, procurava-se a recuperação da cultura popular e a incorporação de uma abordagem regionalista do problema habitacional. (BEJA, 2009, p.6,7,8).

A fala acima mostra o potencial que a pré-fabricação feita no canteiro tem em permear também a dimensão social no processo de produção. Tendo em vista o processo produtivo, é importante ressaltar o papel da cooperativa instalada para fornecimento de material de construção a preço de custo e que ajudava na organização da comunidade. Em entrevista a Diego Beja em sua dissertação de mestrado, o arquiteto Acácio Gil Borsoi comenta: “fizemos o centro social e uma cooperativa de materiais para fugir do armazém, que cobra mais caro. Nós fornecíamos o material e preço de custo, tinha toda a estrutura” (BEJA, 2009, p. 181). A proposta previa a organização da comunidade para construir as casas em autogestão como explícita o discurso do próprio arquiteto: “quando você faz autogestão, usa força de trabalho do indivíduo, o empenho dele, a aspiração dele, você tá desenvolvendo um núcleo diferente, ele surge do aglomerado de pessoas iguais interessadas em vencer” (BEJA, 2009, p. 185). Assim, ao rever a proposta feita na década de 60, o arquiteto avalia que a autogestão e a ajuda mútua tomaram o protagonismo do processo de produção: “no Cajueiro Seco, a pré-fabricação não era importante. Todo mundo acha que era importante. Eu sempre achei secundário. O importante proporcionar um agenciamento populacional capaz de modificar o processo” (BEJA, 2009, p. 183). A motivação em utilizar a madeira e o barro para a construção das casas estava ligada a ideia de trabalhar com materiais já apropriados pela comunidade e de reduzir o custo utilizando recursos locais. E, ainda que não fosse uma questão naquela época, acabou sendo uma solução adequada do ponto de vista ecológico, com baixo consumo

de carbono. A figura 12 mostra a montagem dos módulos pré-fabricados de madeira que depois recebiam barro para finalizar a vedação. A figura 13 mostra o esquema para a montagem dos diferente módulos de vedação.

Figura 12: Montagem dos painéis pré-fabricados de taipa em Cajueiro Seco
Fonte: BONDUKI, 2012, p. 57 e p. 275.

fig.2

Figura 13: Esquema de montagem dos painéis pré-fabricados de taipa em Cajueiro Seco
Fonte: Disponível em <http://acaciogilborsoi.com.br/projetos-sociais/cajueiro-seco/>. Acessado em 12/01/2021

Veremos agora a experiência proposta pelo arquiteto Ivan do Valle, enquanto pesquisador do Grupo HABIS, no processo produtivo de pré-fabricação dos sistemas de cobertura feitos com madeira plantada para 77 casas no assentamento Sepé Tiaraju em Serra Azul/SP. Neste caso, o grupo se organizou com a preocupação de desenvolver o projeto das coberturas em processo participativo com as famílias que se beneficiariam das casas, absorver e qualificar a mão de obra das famílias do assentamento para a execução dos painéis, “demonstrando

que a pré-fabricação com o processo participativo podem ser alternativas viáveis para comunidades organizadas” (VALLE, 2011, p XV).

Na oportunidade, também era uma premissa que os painéis fossem simples para ter uma assimilação fácil por parte das famílias envolvidas. Assim foi criada uma marcenaria – a qual pode-se estabelecer uma relação similar às usinas de pré-moldados montadas por Lelé – e nela uma Mesa de Preparação dos Painéis (MPP), que permitia estabelecer o gabarito para execução dos painéis. Além disso, as ferramentas utilizadas eram simples, a maioria manuais, para facilitar o processo, como explica Ivan do Valle (2011) em sua tese de doutorado: “o grau de dificuldade para se produzir o painel foi reduzido. As evidências foram: a rapidez com a qual os presentes produziram os painéis e a facilidade de operar as ferramentas e os equipamentos – destopadeira, serra circular manual, a MPP e o martelo”(VALLE, 2011, p 250).

Em relação ao peso dos painéis, houve uma preocupação em manter um peso máximo que não fosse muito alto, “no caso do painel pré-fabricado, o produto final não poderia ser exageradamente pesado [...], nessa simulação de precariedade da situação real, duas pessoas carregando o ‘produto’ por um curto período de tempo, seu peso não poderia exceder 120 kg” (VALLE, 2011, p. 206). No resultado final, os painéis eram leves, e tinham o peso que variava de 54kg a 105kg, o que também facilitou o transporte e manuseio dentro do canteiro e estocagem.

Utilizar a madeira neste projeto foi uma decisão tomada em função de várias questões, dentre as quais se destacava a busca por uma construção de baixo consumo de CO₂ e de energia elétrica. Neste caso é importante, portanto, destacar o emprego da madeira na produção.

Questões relacionadas à sustentabilidade foram constantemente colocadas para balizar todas escolhas durante o processo, na gestão e nos resultados (produtos). Por exemplo, quanto aos aspectos sociais, econômicos e políticos, a madeira foi escolhida pelo seu potencial de gerar trabalho e renda através de estímulos aos pequenos produtores rurais, produzindo usos mais variados, para os ofícios agrícolas e outros benefícios diretos, e na promoção de processos com participação das famílias sem distinção de nenhuma ordem onde elas pudessem exercer sua cidadania. Historicamente, a madeira está muito associada à vida do ‘homem do campo’ pela sua diversidade de usos e aplicações – ferramentas, equipamentos e construções são os usos mais comuns. Quanto aos aspectos ambientais, estes motivaram ainda mais o emprego da madeira nos sistemas de cobertura pelos seus benefícios diretos na preservação do meio ambiente – uso racional através do manejo florestal, material de origem renovável, pelo baixo consumo de energia elétrica durante seu processamento, dentre muitos outros – e na fixação do homem do campo enquanto principal gerenciador deste meio (VALLE, 2011, p. 302).

Figura 14: Capacitação dos moradores do assentamento Sepé Tiaraju na marcenaria
Fonte: VALLE, 2011, p.249

Figura 15: Transporte e instalação dos painéis de cobertura na habitação
Fonte: Acervo Grupo HABIS

Os exemplos de pré-fabricação ao pé do canteiro apresentados acima indicam que há um caminho interessante para a difusão do uso da madeira. A reflexão elaborada neste capítulo mostrou que a utilização da pré-fabricação no pé do canteiro, dos casos descritos, foi um caminho em que a tecnologia atuou como uma ferramenta política, e que incorporou questões sociais, técnicas e ambientais que podem trazer benefício para a comunidade.

Seguindo os exemplos apresentados, podemos sugerir que as diretrizes para a pré-fabricação dos painéis de madeira dentro do canteiro de obras deverão prever um projeto simples, para que os painéis possam ser feitos também por pessoas sem especialização na construção, portanto deverão evitar maquinário de grande porte e priorizar ferramentas manuais. Por este mesmo motivo é desejável que o peso dos painéis seja pequeno, menor do que 80 kg para que duas pessoas possam carregar com as mãos. Para auxiliar no aumento da qualidade e precisão, é interessante que seja feita uma mesa de pré-fabricação com gabarito.

CAPÍTULO 2: CONSTRUÇÃO COM MADEIRA

O objetivo com este capítulo é adentrar ao universo da construção com madeira, partindo dos componentes construtivos e direcionando o foco nas soluções que lançam mão da pré-fabricação enquanto estratégia. Está dividido em duas partes, sendo que na primeira abordaremos de forma rápida o conjunto de componentes construtivos em madeira disponíveis hoje para comercialização, divididos em cinco categorias: madeira bruta, madeira serrada, madeira beneficiada, madeira reconstituída e componentes estruturais compostos. A compreensão desse conjunto se faz importante para, posteriormente, dar suporte ao projeto do painel de vedação vertical, objeto deste trabalho. Na segunda parte apresentaremos uma revisão da literatura na qual listamos e analisamos os diferentes tipos de painéis de vedação vertical em madeira, já executados, para finalidade tanto de comercialização, de protótipo ou de objeto de pesquisas acadêmicas. Dessa forma, pretende-se dispor das ferramentas necessárias para, finalmente, elaborar as diretrizes preliminares para o projeto e a produção de um painel vertical de vedação em madeira.

2.1 Componentes construtivos em madeira

Componentes construtivos em madeira são os produtos madeireiros destinados à construção civil. São os elementos que irão compor os sistemas e subsistemas construtivos e podem ter uma grande variação no grau de industrialização, desde sua forma bruta até a reconstituída. Para auxiliar esta análise, dividiremos os componentes construtivos em cinco categorias: madeira roliça, madeira serrada, madeira beneficiada, e madeira reconstituída, conforme foi classificada pelo manual “Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil” publicado em sua segunda edição pelo IPT em 2009. O quinto grupo são componentes estruturais compostos, que também são chamados de “madeira engenheirada”.

2.1.1 Madeira roliça

A peça roliça é a madeira em sua forma natural, sendo um produto com pouco ou nenhum grau de processamento, permanecendo em sua forma bruta. Seu beneficiamento geralmente se restringe aos processos de secagem, tratamento em autoclave e aparelhamento para uniformizar a seção do diâmetro. “Na região centro-sul do país é proveniente de reflorestamento, principalmente daqueles realizados com as diversas espécies de eucalipto (*Eucalyptus spp*)” (IPT, 2009, p.23). No mercado, a espécie encontrada é principalmente o E. Saligna, e seu tamanho varia de acordo com a idade e porte da árvore extraída – o que influencia diretamente no preço.

Nesta forma bruta, esses componentes são muito utilizados na construção como escoras de estruturas, e na construção com madeira e com função estrutural, geralmente no sistema

construtivo pilar-viga ou *Log Home* (casa de toras). Suas dimensões variam entre 7 e 30 cm de diâmetro e seu comprimento é comercializado em uma variação de 1 até 8 m. Sua aplicação na construção civil é normatizada pela NBR 9480/2009.

Figura 16: Madeira roliça e parede *loghome*

Fonte: disponível em <<https://bit.ly/2C70Bdo>>, <https://pt.avilu.sk/casas-feitas-de-toras-mais-de-80-fotos-792>, acessado em 13/05/2020

2.1.2 Madeira serrada

A madeira serrada é a “madeira resultante do desdobro das toras, por meio de cortes longitudinais, com auxílio de serra ou outro equipamento equivalente” (NBR 7203, 2002, p. 5). Quanto ao seu processamento, “é produzida em unidades industriais – serrarias – onde as toras são processadas mecanicamente, transformando a peça originalmente cilíndrica em peças quadrangulares ou retangulares, de menor dimensão” (IPT, 2009, p.23).

Figura 17: Madeira serrada

Fonte: disponível em <http://www.madsaopaulo.com.br>, acessado em 02/08/2018

As dimensões dos produtos de madeira serrada devem seguir as padronizações de acordo com o aproveitamento racional da matéria prima. Usualmente, pode-se encontrar uma variedade significativa de produtos de madeira serrada, apresentada sob diversas denominações que correspondem a diferentes dimensões: pranchas, pranchões, tábuas, caibros, vigas, vigotas, sarrafos, pontaletes, ripas, pilares, lambri.

Porém, a terminologia utilizada por cada fornecedor por vezes não segue o padrão determinado pela norma. Esta situação ocasiona, regra geral, uma falta de padronização das nomenclaturas em relação às suas dimensões e, conseqüentemente, confusão de nomenclaturas de acordo com diferentes lojas ou regiões do país. Para ilustrar esta situação, elaboramos a tabela abaixo onde estão relacionadas às diferentes nomenclaturas e, ao lado, as dimensões correspondentes com base em diferentes fontes: as normas NBR 7203 e NBR

12498 que tratam deste tema e os dados obtidos no comércio de revenda de madeira regional e local na atualidade.

Com base na Tabela 2 percebemos, por exemplo, que se uma tabua da madeireira local tem 2,1cm x 5cm, a mesma seção segundo a NBR pode ser usada para classificá-la como sarrafo; duas peças de seção 1cm x 2cm que são comercializadas na Leroy Merlin que, para uma marca são sarrafo e para outra são ripa; e tantos outros exemplos que podem ser obtidos tão somente a partir desta tabela.

Devemos ainda acrescentar que, além da falta de padronização entre nomenclatura e seção, a confusão pode se agravar quando o componente é beneficiado. Neste sentido, ainda que a peça serrada possua dimensões padronizadas, ocorre que, com as perdas decorrentes do aparelhamento, os mesmos têm sua seção reduzida – podendo, após esse processo, ser até mesmo inferior à mínima exigida.

Tabela 2: Madeira serrada, seções padrão e seções comercializadas

NOMENCLATURA A MADEIRA SERRADA	NBR 7203 / 1982	NBR 12498 / 2017 coníferas	Madeira local (município de Mococa)	Leroy Merlin Marca Madelink	Leroy Merlin Marca Massol	Leroy Merlin Marca Madvei
PRANCHÃO	> 7 x > 20 (15x23 / 10x20 / 7,5x23)	≥ 5 x > 15	-	-	-	-
PRANCHA	de 4 a 7 x > 20		8 x 20 / 8x 25 / 8 x 30	-	-	-
VIGA	> 4 x de 11 a 20 (15x15 / 7,5x15 / 7,5x11,5 / 5x20 / 5x15)	-	5 x 11 / 5 x 15	4,5 x 9	-	4,5x10 / 4,5x14,5 / 4,5x20 / 7,5x20 / 5x11 / 5x15,2 / 5x22,1 / 8,3x22,1
VIGOTA	de 4 a 8 x de 8 a 11	-	-	-	-	-
CAIBRO	de 4 a 8 x de 5 a 8 (7,5x7,5 / 7,5x5 / 5x7 / 5x6)	5 ≤ e ≤ 10 x 5 ≤ e ≤ 10	5 x 5 / 5 x 7	-	-	4,5x5 / 4,5x7,5 / 5x5,7 / 5x8,3 / 7,5x7,5 / 8,3x8,3
TÁBUA	de 1 a 4 x > 10 (2,5x23 / 2,5x15 / 2,5x11,5)	1,2 ≤ e ≤ 3,8 x ≥ 10	2,1 x 5 / 2,1 x 10 / 2,1 x 15 / 2,1 x 20 / 2,1 x 30	-	2x15 / 2x20	3,5x4,5 / 2,1x14,5 / 2,1x15 / 2,5x10,2 / 2,8x15,2 / 3,8x20 / 2,1x20 / 2,4x10 / 3,5x15,2
SARRAFO	de 2 a 4 x de 2 a 10 (3,8x7,5 / 2,2x7,5)	2,5 ≤ e ≤ 5 x 2,5 ≤ L < 10	-	1x2 / 1x3 / 1x5	-	2,1x4,8 / 2,4x5,2
RIPA	< 2 x < 10 / 1,2x5	< 2,5 x < 10	1,5 x 5 / 1,8 x 5	2x5	1x1,5 / 1x2 / 1x3 / 1x4 / 1x5 / 1x9,5 / 2x7	1x2,1 / 1,9x3,8 / 2,4x5,7 / 2,1x4,8 / 2,4x5,2 / 1x3,4 / 3,4x3,4 / 0,9x4,8
PONTALETE	-	7,5 x 7,5	7 x 7	-	-	9,5x9,5 / 14,5x14,5 / 15,2x15,2
QUADRADINHO	-	2,5 x 2,5	-	1x1 / 2x2 / 3,5x3,5 / 4,5x4,5	1x1 / 2x2 / 3x3 / 3,5x3,5 / 4,5x4,5 / 6,5x6,5	-
PRANCHINHA	-	3,8 x ≥ 10	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria. Obs.: medidas em centímetros. Levantamento em agosto de 2018.

E, complementarmente, devemos ainda citar outro fator que se reflete na falta de padronização das seções, que diz respeito ao grau de umidade das peças comercializadas. Na medida em que a madeira seca, ela retrai; portanto, utilizar madeira sem a secagem correta pode ocasionar o aparecimento de frestas nas junções. A recomendação para garantir a durabilidade dos componentes construtivos é de que após o desdobro a madeira deve permanecer no processo de secagem até atingir o teor de umidade entre 12% a 18% (INO, 1997). Como veremos a frente, estas recomendações não foram consideradas pelo fornecedor do material adquirido no nosso trabalho de campo.

Esta questão relativa à falta de padronização da madeira serrada no país poderá ter consequências, como discutiremos a frente, nas propostas de utilização da madeira como matéria prima para a pré-fabricação de componentes construtivos – ou outras estratégias de difusão do uso da madeira na construção civil.

As nomenclaturas e padrões de dimensões são indicados nas normas “NBR 7203 – madeira serrada e beneficiada”, “NBR 9480 – classificação de madeira serrada de folhosas” e “NBR 12498 – Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral: dimensões e lotes”.

2.1.3 Madeira beneficiada

São as peças de madeira serrada que passam por usinagem, o que pode incluir aplainamento, molduramento para encaixes macho-fêmea, torneamento, desempeno e outros processos de beneficiamento. São utilizados geralmente em acabamentos das obras. São eles: soalho, forro, batente, rodapé, taco.

A padronização destes componentes está regida pela NBR 7203 Madeira serrada beneficiada de 1982.

Tabela 3: Componentes em madeira beneficiada

soalho	forro	batente	rodapé	taco
2x10 cm	1x10 cm	4,5x14,5 cm	1,5x 15cm e 1,5x10 cm	2x2,1 cm

Fonte: NBR 7203/1982.

2.1.4 Madeira reconstituída

Partimos inicialmente da definição da NBR 16143 (2003), que indica que a madeira reconstituída é um “painel em que a madeira bruta é triturada, transformando-se em cavacos ou fibras impregnadas de resina sintéticas, como aglomerado, painéis de partículas de média densidade, MDF, HDF e OSB” (ABNT, 2003, p.4).

A utilização de madeira reconstituída apresenta, por um lado, aspectos positivos, como o fato de ser submetida a um beneficiamento controlado e possibilitar, assim, uma seleção cuidadosa da matéria prima em relação à secagem, dimensões, e densidade a partir do controle de prensagem e temperatura. Os produtos de madeira reconstituída podem até mesmo utilizar resíduos gerados em outros processos de beneficiamento, tendo um aproveitamento total da tora (BARATA, 2008, p.52). Devido ao controle da fabricação e consequente afastamento das características intrínsecas da matéria prima, como citado por Shigue (2018), a madeira reconstituída confere confiabilidade em relação às propriedades mecânicas, precisão construtiva, estabilidade dimensional e as demais características apontadas pelo fabricante. Por outro lado, destacamos de antemão que um dos entraves em utilizar componentes que precisam de cola polimérica em seu beneficiamento, assim como madeira que passou por tratamento, como é o caso dos apresentados abaixo, é que uma vez que a vida útil chega ao fim, este componente pode liberar produtos químicos no solo ao ser descartado, ou no ar ao ser incinerado.

Na sequência apresentaremos rapidamente alguns detalhes a respeito dos diferentes tipos de madeira reconstituída.

OSB – Oriented Strand Board ou painel de partículas orientadas

Os painéis de OSB são dimensionados para ter resistência mecânica para fins estruturais, portanto também são classificados como madeira estrutural composta. São muito utilizados em tapumes, confecção de viga i, painéis de fechamento de piso, parede ou cobertura, e no sistema construtivo *woodframe*. Têm alta resistência à flexão estática podendo substituir os compensados estruturais, principalmente por ter um preço mais baixo. Sua composição consiste em partículas ou feixes de fibras com resinas fenólicas que são orientados em uma mesma direção e depois prensados. “Cada painel consiste de três a cinco camadas, orientadas em ângulo de 90 graus umas das outras” (SVMA, 2009, p.33).

Figura 18: detalhe das placas de OSB

Fontes: disponível em <www.lpbrasil.com.br>, <https://www.swisskrono.com/ua-en/products/building-materials/#/>, <https://www.apawood.org/shear-walls-diaphragms> acesso em 13/05/2020.

Tabela 4: Características físicas das placas de OSB disponíveis no comércio

ESPESSURA mm	LARGURA m	PESO Kg	APLICAÇÃO	ESPAÇAMENTO MÁXIMO DOS PERFIS cm
9,5	1,20 x 2,40	17,5	Paredes e telhados	40
9,5	1,20 x 3,00	21,9	Paredes e telhados	40
11,1	1,20 x 2,40	20,4	Paredes e telhados	60
11,1	1,20 x 3,00	25,6	Paredes e telhados	60
15,1	1,20 x 2,40	27,8	Paredes / Telhados/ Pisos e lajes secas	60 / 80 / 40
18,3	1,20 x 2,40	33,7	Pisos e lajes secas. *Possui a opção de bordas com encaixe macho-fêmea para aplicação em lajes secas e mezaninos	60
8 / 10 / 12	1,22 x 2,44	-	Canteiro de obra - vivência	-
8	1,22 x 3,05	-	Canteiro de obra - Vestiário / sanitários / alojamento / refeitório / cozinha	-

Fonte: Disponível em <https://www.lpbrasil.com.br/productos/>, acessado em 05/08/2020.

MDF (Medium Density Fiber board), HDF (High Density Fiber board) e MDP (Medium Density Particle board) ou Aglomerado

Estes componentes também são classificados como madeira reconstituída, porém, não apresentam características estruturais, sendo utilizados para acabamentos e movelaria. São compostos de pequenas fibras de madeira que são selecionadas, depois aglomeradas por uma resina sintética, e por fim, compactados em alta temperatura e pressão até chegar à densidade desejada. O painel MDF tem densidade de massa entre 500 Kg/m³ e 800 Kg/m³. O painel HDF tem densidade superior a 800 kg/m³ como definido na NBR 16143, sendo esta a diferença entre os dois. Já o painel MDP ou aglomerado tem as mesmas características do MDF quanto à fabricação e utilização, mas não utiliza em sua composição fibras de madeira, e sim partículas de madeira.

2.1.5 Componentes estruturais

Os componentes estruturais de madeira chegaram no mercado brasileiro recentemente e estão ganhando destaque pela qualidade e precisão dos produtos. Há atualmente algumas

empresas pioneiras desenvolvendo peças de madeira deste tipo sendo elas o LVL, MLC, CLT e SIP, que recebem, como vimos anteriormente, o apelido informal de madeira “engenheirada”. Neste grupo incluímos o painel Compensado, por não ser classificado como madeira reconstituída, e por ter aplicação estrutural.

LVL– Laminated Vanner Lumber

É um tipo de componente que se encaixa na classificação de madeira estrutural composta e, portanto, pode ser utilizado com função estrutural. Este componente é um painel de madeira, cujo processo de produção consiste na colagem de lâminas paralelamente umas às outras, em apenas um sentido. As espécies florestais usadas para fabricação geralmente são o pinus e o eucalipto, sendo que para cada uma são aplicadas diferentes quantidades de cola: “o adesivo é aplicado nas 2 faces das folhas pares por um aplicador de rolos calibrados para uma específica camada de cola dupla de aproximadamente 420 g/m² para o Pinho e 400 g/m² para o Eucalipto”¹⁵.

Figura 19: aplicação e peças do LVL em solução de cobertura
Fonte: Disponível em <<https://bit.ly/2QPfIG6>>, acessado em: 13/08/2018.

A norma que rege a produção deste tipo de componente é a “NBR 16143 - Preservação de madeiras - sistemas de categorias de uso”. No Brasil, apenas a empresa EKOMPOSIT é especializada na fabricação deste componente (SHIGUE, 2018, p. 134). As dimensões padrão fornecidas pela mesma estão relacionadas na tabela abaixo.

Tabela 5: relação das dimensões de placas de LVL fornecidas pela empresa Ekomposit

ESPESSURA (mm)	LARGURA (mm)
45	96-118-146-196-247
69	146-196-247-298
93	196-247-298-398

Fonte: Disponível em <<https://bit.ly/2BfjRE3>>, acessado em 19/08/2018.

¹⁵ Disponível em portaldamadeira <<https://bit.ly/2CDQ6ys>>, acessado em 13/08/2018.

Painel Compensado

Semelhante ao LVL, o painel compensado segundo a NBR 16143 (2013) é composto por várias lâminas desenroladas, unidas cada uma perpendicularmente à outra, através de adesivo ou cola, sempre em número ímpar, de forma que uma compense a outra, fornecendo maior estabilidade e propriedades físicas e mecânicas superiores às da madeira original (p. 4).

Os compensados podem ser estruturais e não estruturais. São utilizados na construção para tapumes, caixaria de vigas, forma de lajes de concreto, e como fechamento de painéis pré-fabricados leves. Mais a frente veremos painéis de vedação que utilizaram compensado em sua composição. Os compensados também são muito utilizados em movelaria.

Figura 20: Detalhe de compensados

Fonte: disponível em <<https://bit.ly/2SOATQJ>>, acesso em 28/08/2018.

A diferença fundamental entre o compensado e o LVL é quanto ao sentido em que as lâminas de madeira são coladas. Enquanto o LVL tem as camadas de lâminas dispostas no sentido paralelo umas das outras, no compensado as camadas são dispostas em sobreposição cruzada a 90 graus antes da prensa para consolidação do painel. Segundo Shigue (2018, p. 134), são duas as empresas que fornecem compensados no país: Madeireira Madecal e Guararapes. As dimensões mais comuns encontradas são 2,20 x 1,60m e 2,50 x 1,60m com espessura que varia de 4mm até 3 cm.

MLC – Madeira Lamelada Colada

A produção das peças de MLC é feita a partir de peças menores de madeira maciça (lamelas de 2,5cm a 5cm de espessura), onde as fibras são dispostas no sentido paralelo ao sentido longitudinal da peça, que são coladas formando um novo componente. As ligações entre as lamelas são do tipo *finger-joint*. A MLC é utilizada normalmente como pilar e viga, permite maior liberdade plástica, permite atingir grandes vãos e consegue atingir maior esbeltez em relação a madeira serrada. Por outro lado, também exige maior grau de beneficiamento, emprego de tecnologia especializada e coordenação desde a confecção na fábrica até a

montagem, consequentemente tem o valor mais alto, o que dificulta o acesso para a maior parte da população. São nove empresas no Brasil que fabricam este tipo de componente: TW Brasil (Ponta Grossa – PR), 81 Catalana Artefatos de Madeira (Catalão – GO), Portela Woods (Manaus - AM), Esmara Estruturas de Madeira (Viamão – RS), Rewood (São Paulo – SP), Ita Construtora (São Paulo – SP), Artpine (São Carlos – SP), Simonin (Curitiba – PR) e Madeiras Status (Igrejinha – RS) (SHIGUE, 2018, p. 134). Estas, em parceria com outras empresas, realizam a execução das obras.

Figura 21: Estrutura Pilar viga em MLC executado pela Ita Construtora
Fonte: disponível em <<https://bit.ly/2CaKEDm>>, acesso em 28/08/2018

CLT – Cross Laminated Timber

Painéis de *Cross Laminated Timber* (CLT), ou lamelado de madeira cruzada, consistem na sobreposição de camadas de lamelas de madeira maciça coladas em sentidos opostos e alternados, entremeadas de adesivo estrutural. Para o corte das peças na fábrica utiliza uma máquina CNC (*Computer Numerical Control*, em inglês) garantindo altíssima precisão de corte. Esta tecnologia foi inserida no mercado mundial nos últimos 20 anos e hoje é a tecnologia mecanizada e industrializada mais avançada na construção com madeira no Brasil. A madeira utilizada é o Pinus Taeda ou Eucalipto Grandis, sendo que só o pinus é tratado em autoclave. O adesivo é à base de poliuretano, monocomponente e livre de formaldeídos.

Os painéis de CLT têm altíssima resistência estrutural e podem suportar grandes cargas devido à laminação cruzada, podendo ser utilizados para construção de edifícios de vários pavimentos substituindo os materiais estruturais convencionais. Os painéis comercializados pela única empresa que fabrica CLT no Brasil (Crosslam Brasil) podem ter 3, 5, ou 7 camadas (lamelas), formando uma espessura total que varia de 5,7cm a 25cm. O tamanho mínimo produzido é 2,44 x 8,05m de comprimento, o máximo é de 3m x 12m, portanto é necessária a ajuda de guindaste para transporte.

Figura 22: Montagem de sistema CLT

Fonte: disponível em <<http://www.cgsistemas.ind.br/home/clt.php/>>, acesso em 01/08/2018.

SIP – Structural Insulated Panel

Este componente é um painel sanduíche, composto por um núcleo de espuma – que pode ser de EPS (poliestireno expandido), XPS (poliestireno extrudado) ou PUR (espuma de poliuretano) – entre duas chapas de revestimento – que podem ser OSB ou compensado –, unidos por adesivo à base de poliuretano. A espessura é variada e quanto maior é a espessura maior estabilidade, podendo dispensar estruturas auxiliares. Por ter espuma como núcleo, tem a característica de ser leve. Pode ser utilizado como painel de vedação para paredes, piso e cobertura. Suas dimensões máximas são feitas em função do tamanho das placas de revestimento OSB ou compensado. As dimensões encontradas no mercado são de 1,20 x 2,40m e 1,20 x 3,00m com peso que varia de 48 a 50Kg.

Figura 23: Painéis SIP

Fonte: disponível em <<https://bit.ly/2SIBbbz>>, acesso em 01/08/2018

2.2 Os painéis de vedação vertical

Segundo Sabbatini (1989) o “sistema construtivo é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo” (SABBATINI, 1989, p. 25).

O sistema construtivo que engloba uma edificação é constituído por subsistemas que se inter-relacionam. Entre os subsistemas podemos identificar três principais: o subsistema de fundação, o subsistema de vedações (piso, paredes internas e externas) e o subsistema de cobertura. Os painéis de vedação de uma edificação podem ser caracterizados conforme sua função, pois podem ser utilizados em todos os subsistemas. Podem ser tanto estruturais quanto apenas de vedação, podem ser usados para fechamento vertical, mas também para pisos ou coberturas, podem promover maior ou menor conforto térmico e acústico de acordo com o número de camadas que está constituído, podem ser de pequenas ou de grandes dimensões. Mais do que um subsistema construtivo, os painéis são uma solução que se adapta a diversos contextos e, principalmente, ao processo produtivo de pré-fabricação.

A apresentação dos painéis de vedação que será feita a seguir está dividida em três categorias: em primeiro lugar, analisaremos os que podem ser encontrados no comércio. Na sequência, analisaremos painéis que foram projetados e executados em conjuntos habitacionais. Por último, trataremos dos exemplos de painéis que foram elaborados enquanto fruto de pesquisas de pós-graduação.

2.2.1 Painéis encontrados no comércio

Light wood frame

Seu subsistema de vedação vertical é composto por um quadro estrutural em madeira serrada e fechamento com painel OSB, sobreposto por camadas de outros acabamentos. Neste sistema as paredes internas e externas são autoportantes e o subsistema de cobertura pode ser de estrutura metálica ou de madeira.

Figura 24: Sistema *light wood frame*

Fonte: disponível em <<https://www.twbrazil.com.br/noticias/vigas-e-perfis-para-wood-frame/>>, acessado em 02/08/2018.

Apesar de ser uma tecnologia já consolidada na Europa, esta tecnologia transferida para o Brasil foi introduzida como inovação tecnológica a pedido da empresa Tecverde. Através do

Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) e da diretriz SINAT nº005/2011 foi emitido para a Tecverde um primeiro documento de avaliação técnica, DATec nº020-A em 2015, “*Sistema de vedação vertical leve em madeira*”. Este documento tem prazo de validade e requer revisões, atualmente encontra-se na versão nº020-C que foi aprovado em 2018 e venceu em julho de 2020. A partir deste documento, este sistema pôde ser aprovado em financiamento para a construção, como foi o caso do conjunto Haragano construído através do programa Minha Casa Minha Vida no município de Pelotas, Rio Grande do Sul.

Espindola (2017) fez uma pesquisa que analisa o contexto que propiciou a primeira produção em escala com financiamento do PMCMV em Pelotas-RS, possibilitando, assim, entender a produção do sistema em uma unidade fabril. Utilizando o Pinus tratado em autoclave, proveniente de floresta plantada, o painel pré-fabricado de vedação vertical tem a altura máxima de 2,55m, variando o comprimento de acordo com seu ambiente. Sua ossatura – ou entramado – é composto pelo conjunto de madeira serrada que recebe nomenclatura conforme sua função, como mostra a imagem abaixo. O espaçamento entre os montantes verticais não passa de 60cm. As seções das peças de Pinus variam de acordo com a utilização sendo 38x70mm em painéis internos, 38x89mm painéis externos e 38x140mm na divisão entre unidades habitacionais (ESPINDOLA, 2017, p.249). Para garantir a rigidez e contraventamento da ossatura são adicionadas as placas OSB nas laterais. A espessura das placas OSB varia, sendo: 11,1mm para painéis externos, 9,5mm para painéis internos.

Figura 25: Painel *light woodframed* Conjunto Haragano
Fonte: ESPINDOLA, 2017, p.249.

Outros componentes são adicionados e estes podem variar se for para o térreo, parede externa, parede interna ou parede de banheiro. Os componentes são placas cimentícias aplicadas sobre uma membrana hidrófuga para as faces externas, gesso acartonado resistentes a água ou não para faces internas, e manta asfáltica no rodapé para paredes do térreo.

Figura 26: Painel light wood frame do Conjunto Haragano
Fonte: ESPÍNDOLA, 2017, p.250.

Encaixe de montantes ou kits pré-fabricados

O sistema encaixe de montantes é também conhecido no mercado como “casas pré-fabricadas” (apesar da obra ser feita no canteiro, sendo pré-definidos apenas o modelo e o projeto). É composto por estrutura do tipo pilar-viga e vedação feita através de réguas de madeira serrada dispostas horizontalmente e conectadas entre si através de encaixe tipo macho-fêmea, apoiados sobre uma fundação convencional em concreto (Figura 26) (SHIGUE, 2018, p.140).

Figura 27: Sistema encaixe de montantes

Fonte: disponível em <<https://minhacasaprefabricada.com.br/sistema-construtivo/>>, acessado em 13/08/2018.

Neste sistema, segundo o site do fornecedor¹⁶, os montantes têm 9x9cm e têm um espaçamento que varia dependendo do tipo de madeira e espessura que for utilizada na

¹⁶ Disponível em <<https://minhacasaprefabricada.com.br/sistema-construtivo/>>, acessado em 13/08/2018.

parede. Assim, a parede com espessura de 2cm tem espaçamento máximo de 1m para pinus e 1,20m para madeira nobre, já a parede de madeira nobre com 3,5cm de espessura, o espaçamento entre montantes é de até 3m.

Para Sandro (2002), o sistema de encaixe de montantes possui diversos aspectos positivos. Em primeiro lugar, por serem de pequena seção, os elementos construtivos podem ser facilmente transportados pelos construtores, tornando a etapa de montagem e execução da edificação mais rápida do que uma casa de alvenaria com o mesmo programa de necessidades. Pelo mesmo motivo, este sistema possibilita construir em sistema de mutirão ou autoconstrução, pois nele os componentes são montados manualmente. O sistema de encaixes torna simples a etapa de fixação da vedação na estrutura de sustentação da edificação, e como a vedação não interfere na estrutura, o sistema garante flexibilidade à planta e fácil ampliação de ambientes. Pelo mesmo motivo, torna fácil a reposição de peças de vedação, quando se fazem necessárias (SANDRO, 2002, p. 133).

Por outro lado, o mesmo autor indica alguns aspectos limitantes deste sistema. Devido à dificuldade de aquisição de madeira seca, pode ocorrer encanoamento das tábuas gerando frestas nas junções. Da mesma forma, a utilização de pregos expostos à ação do tempo faz com que a oxidação do mesmo manche a madeira da fachada. Além disso, este sistema, quando feito com parede de apenas uma camada de madeira, deixa as instalações elétricas e hidráulicas aparentes, o que desagrada alguns consumidores. A parede de uma camada, geralmente de 2,5cm de espessura, e que normalmente apresentam frestas também não atende às necessidades de conforto térmico e acústico (SANDRO, 2002, p. 133).

Painel comercializado pela empresa Casema

A solução construtiva apresentada pela empresa Casema é semelhante ao sistema apresentado no item anterior, com a diferença de que a camada de lambri é mais espessa. Foi comercializado no Brasil, mas a empresa faliu e “deixou de produzir e vender kits de casa de madeira” no Brasil – como indica o informativo no site da empresa¹⁷. Segundo estudado por Barata (2008), era feito em encaixe de montantes de 11x11cm com lambri de 4,5x14,2cm e também era constituído por apenas uma camada, portanto podemos considerar uma análise semelhante ao painel já citado. Não existem etapas de pré-fabricação neste painel, assim o processo produtivo deve contar com uma equipe de um carpinteiro e um ajudante. O atraso térmico deste painel verificado por Barata (2008) era de 2,14 horas, com transmitância térmica igual a 2,87 W (m²K). Este cálculo feito pelo autor nos painéis estudados em seu trabalho nos ajudará a criar uma diretriz que relacione o número de camadas e seu conforto térmico.

¹⁷ Disponível em <<http://www.casema.com.br/>>, acesso em 31/08/2018.

2.2.2 Painéis em conjuntos habitacionais

Os sistemas construtivos identificados no item anterior existem no mercado para comercialização. Outros modelos foram concebidos e, através de protótipos, seus sistemas de pré-fabricação mostraram outras possibilidades que vão além dos tipos de construção com madeira citados, mas que, por diversos motivos, não foram disseminados como produto comercializado, encerrando naquelas experiências seu processo de desenvolvimento.

Vila Taguaí (2010)

A Vila Taguaí é um empreendimento imobiliário que surgiu de uma parceria entre construtora e escritório de arquitetura¹⁸. Neste empreendimento foi executado um conjunto residencial de oito casas de madeira Cumaru, provenientes de áreas de manejo no Acre.

Figura 28: Habitações na Vila Taguaí, em São Paulo

Fonte: disponível em <<http://www.crisxavier.com.br/taguai/home.php?content=4>>, acessado em 14/08/2018

Figura 29: Habitações na Vila Taguaí, em São Paulo

Fonte: disponível em <<http://www.crisxavier.com.br/taguai/home.php?content=4>>, acessado em 14/08/2018

¹⁸ Parceria entre ITA Construtora e Cristina Xavier Arquitetura

Em relação ao projeto do componente, consiste em montantes com encaixes do tipo macho-fêmea, dispostos na face interna e externa, e estes são pressionados por uma barra roscada que transpassa todo o painel criando rigidez e formando um painel com uma camada de ar não ventilada no interior. “A modulação dos painéis pode variar em largura de 0,20m a 3m, seguindo uma modulação de 10cm em 10cm, e em altura de 1m a 5,5m”¹⁹. Neste painel podemos notar que a modulação é definida por peças pequenas, o que facilita a pré-fabricação e aumenta a possibilidade de adequação em diferentes projetos. A madeira utilizada é serrada, nativa, de manejo e não utiliza preservativos, o que possibilita um descarte limpo, ou utilização para combustível no final da vida útil, se necessário.

Em relação ao processo de produção, cada casa foi pré-fabricada em fábrica, e montada por uma equipe de três a quatro funcionários com auxílio de um caminhão com guindaste, no tempo de 30 a 40 dias em média para cada casa.

Apesar do beneficiamento ter certa complexidade utilizando fresas de quatro faces, o sistema construtivo desenvolvido é relativamente simples. Utilizou a mesma lógica construtiva para os painéis de vedação do piso, paredes e cobertura. O painel estrutural é feito de madeira serrada maciça.

Figura 30: Painel de vedação vertical da Vila Taguaí
Fonte: disponível em <<https://bit.ly/2LopOU1>>, acesso em 14/08/2018

¹⁹ Disponível em <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/projetos/18.205/6859>>, acesso em 14/08/2018

Figura 31: Painel de piso da Vila Taguaí

Fonte: disponível em <<https://bit.ly/2LopOU1>>, acesso em 14/08/2018

Conjunto Pedra 90 (1995 -96)

Este projeto habitacional foi realizado pelo programa “Morar-Conscientizar”, com assistência técnica do grupo Habis, no município de Cuiabá, MT, e consistiu na execução de 360 unidades habitacionais²⁰. O projeto foi feito considerando as características das madeiras de rejeito (peças menores que 2,50m) das madeiras da região.

Em relação ao projeto do componente, pode ser classificado como painel leve, autoportante com parede única e, portanto, sem camada de ar.

Os painéis pré-fabricados autoportantes seguem a modulação de 90 cm e têm três tipos de painel que seguem a mesma lógica construtiva, sendo um painel cego, um painel janela e um painel porta. Apresenta nível de complexidade baixo, com detalhes construtivos simples, utiliza madeira nativa de aproveitamento com comprimento máximo de 2,50m.

Utiliza 4 componentes diferentes, sendo:

- 2 montantes de 4,5 x 5,5 x 2,5cm;
- 1 travessa e 4,5 x 5,5 x 87cm;
- 1 pingadeira de 5,5x11x87cm;
- 25 lambris de 2,2 x 10 x 82cm.

O volume de madeira por painel foi 0,06075m³ e 0,027m³/m². As ligações são feitas com parafusos com pré-furação nas ligações de topo, sendo 4 tipos de ligações básicas entre os componentes. Permite reposição de componentes, mas apresenta dificuldade na substituição.

²⁰Ver também a tese de ADRIÃO, J. M. A. “Habitação de interesse social em madeira: conjunto habitacional no bairro Pedra 90 após 14 anos de uso”, de 2011.

Figura 32 : Esquema do painel pilar-viga do conjunto Pedra 90
Fonte: BARATA (2008), p. 214.

Em relação ao processo de produção, a alta oferta de madeira de aproveitamento e o baixo valor comercial da mesma no local possibilitou redução de custo. Para tratamento preservativo é feito um banho de imersão com Pentox. Já o beneficiamento apresenta certa complexidade devido a utilização da fresa de quatro faces para beneficiamento do lambri e pingadeira. Os equipamentos utilizados no processamento da madeira foram a plaina de 4 faces, desengrossadeira, desempenadeira, serra circular e espigadeira. Por ser um painel leve de pequenas dimensões, a montagem pode ser feita por duas pessoas treinadas no local e sem formação específica de marcenaria, os equipamentos e ferramentas utilizados foram martelo, furadeira, alicate, bancada de pré-fabricação com gabarito, trena, esquadro. O atraso térmico deste painel verificado por Barata é de 0,97 horas, com transmitância térmica igual a 3,68 W(m²K), um valor de atraso térmico bem mais baixo em relação a parede (também de uma camada) do painel Casema de 4,5cm de espessura já citado.

Conjunto habitacional em Salinas, Canelones-Uruguai.

Estudado na tese de Barata (2008), este conjunto habitacional de 800 unidades fica localizado no município de Canelones, no Uruguai. No conjunto habitacional, algumas casas são térreas e outras tem a parte térrea em alvenaria de tijolos cerâmicos e para o piso superior teve um painel de madeira desenvolvido para as vedações verticais.

Figura 33: Casa do Conjunto habitacional em Canelones, Salinas – Uruguai
 Fonte: disponível em <<https://bityli.com/4Y8dj>>, acesso em 13/06/2020

Em relação ao projeto do componente, pode se encaixar na classificação de painel portante com parede de 3 camadas, sendo que a camada intermediária é isolante.

Os painéis feitos no local são portantes, onde a estrutura de cobertura faz o travamento. Apresenta nível de complexidade médio, com detalhes construtivos bem elaborados, utiliza madeira maciça nativa não certificada com comprimento máximo de 4m.

É composto por 3 camadas que utiliza 6 componentes, sendo eles:

- 2 montantes (11 x 11 x variável);
- 18 pranchas (4,5 x 14,2 x variável);
- sarrafos (3 x 3 x variável);
- lambri (1 x 1 x variável);
- placa de isolamento (isopor 3cm);
- conectores metálicos (pregado a cada 40 cm).

desenho sem escala

Figura 34: Esquema do painel pilar-viga do conjunto Canelones - Uruguai.
 Fonte: BARATA, 2008, p.219.

Em relação ao processo de produção, a indisponibilidade de madeira nativa nas proximidades e a necessidade de transporte da mesma aumentou o custo nesta ocasião. Para tratamento preservativo é feito pincelamento superficial. Também apresenta beneficiamento com complexidade devido a utilização da fresa de 4 faces. Os equipamentos utilizados no processamento da madeira foram a plaina de 4 faces, desengrossadeira, desempenadeira, serra circular e espigadeira. Por ser um painel elaborado, a montagem deve ser feita por duas pessoas, sendo um carpinteiro e um ajudante. Os equipamentos e ferramentas utilizados foram martelo de borracha, martelo, alicate e serra circular manual. O seu atraso térmico verificado por Barata é de 3,8 horas, e a transmitância térmica é de $1,15 \text{ W(m}^2\text{K)}$, o que mostra que um painel com 3 camadas, sendo uma delas isolante, o atraso térmico aumenta bastante em relação a parede de uma camada.

2.2.3 Estudos acadêmicos sobre painéis

Além de painéis de vedação vertical encontrados no mercado ou concebidos como protótipos, analisados acima, também há uma diversidade de teses de doutorado nas quais os pesquisadores tinham como objetivo propor novas soluções de painéis vertical de vedação em madeira. Neste item elencaremos os que se mostraram mais significativos para nossa pesquisa.

Casa do Horto (1994 -96)

Figura 35: Casa do horto
Fonte: Acervo Grupo HABIS

Com o objetivo de coletar dados para propor uma conduta que aumente o controle das interfaces e, portanto, a qualidade do sistema pré-fabricado, foi projetado e executado um

painel para a Casa do Horto²¹, no município de São Carlos, SP. A casa do horto teve a estrutura pré-fabricada em toras de eucalipto roliço com modulação de 3x3m propostos por INO (1992) e o fechamento feito com os painéis com pré-fabricação parcial.

Em relação ao projeto da edificação, Galinari (2003, p.62), relaciona as diretrizes:

- Sistema estrutural modular;
- Racionalização em todas as etapas de produção;
- Flexibilidade espacial e construtiva para o atendimento a um programa de
- Habitação para população de baixa renda;
- Facilidade de montagem;
- Desempenho e durabilidade do sistema construtivo.

Em relação ao projeto do componente, os painéis modulares se encaixam na classificação não estruturais ou autoportante e leve pesando “aproximadamente 16kg/m² antes da montagem no canteiro” (Della Noce, 1996), composto por 6 camadas de componentes apresentando uma ossatura, que funciona também como isolamento criando uma camada de ar não ventilado, e camada de ar ventilado na face exterior. A modulação projetada tem dimensão de 97,5cm horizontalmente e verticalmente apresenta três alturas sendo 1,1m, 1,80m, e 2,2m.

Em sequência, do interior para o exterior, conforme a Figura 35, estão:

1. Chapa de compensado interna;
2. Ossatura de madeira de Eucalipto, seção 2 x 7cm (camada de ar não ventilada);
3. Chapa de compensado intermediária;
4. Revestimento plástico para a chapa de compensado;
5. Ripas de Eucalipto de 1,5 x 5cm (camada de ar ventilado);
6. Lambri de Pinus tratado cortados e ajustados no canteiro.

Figura 36: Camadas que compõem o painel feito para Casa do Horto
Fonte: DELLA NOCE, 1996. p.75.

²¹ “A Casa do Horto foi o primeiro protótipo desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa HABIS para a verificação do Sistema Estrutural Modular em Eucalipto Roliço, proposto por INO (1992). A pesquisa “Desenvolvimento de sistema construtivo utilizando madeira de reflorestamento foi realizada como forma de associar a produção do conhecimento em madeira de eucalipto com a construção de um sistema construtivo para habitação social.” (GALINARI, 2003. p. 60).

Em relação ao processo de produção, o painel é um sistema de pré-fabricação parcial onde o painel externo é fabricado em uma unidade de produção, e no canteiro é acrescentado lambri do lado externo e compensado no lado interno. Já os painéis internos são fechados com compensado dos dois lados.

Nos casos de construção com pré-fabricação, seja na fábrica ou em marcenaria montada dentro do canteiro, a etapa anterior ao canteiro é igualmente importante pois é onde se tem maior controle e é onde se pré-fabricam os componentes, portanto é também importante considerar o planejamento de uma unidade com layout que contenha uma bancada de pré-fabricação com gabarito, assim como o fluxo da matéria prima desde a chegada até a saída de resíduos. A figura 36 mostra em um esquema simples o layout proposto para a fabricação dos painéis da Casa do Horto.

Legenda:

1. Plana desempenadeira	10. Torno
2. Plana desengrossadeira	11. Bancada
3. Serra circular de mesa	A. Acesso de madeira serrada
4. Tupia	B. Área de armazenagem de madeira serrada
5. Serra de fita	C. Área de estocagem de madeira usinada
6. Serra de fita horizontal de desdobro	D. Áreas de estoque provisório
7. Furadeira Horizontal	E. Áreas de resíduo
8. Furadeira vertical	F. Armazenamento de resíduos
9. Lixadeira	

Figura 37: Organização da unidade de pré-fabricação

Fonte: DELLA NOCE, 1996. p.85.

Sede principal da empresa Imaflora (1998).

Este projeto foi realizado através da parceria entre o grupo Habis, o GESQE - Grupo de Estudos sobre a Qualidade nas Edificações da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), e a empresa Imaflora para construção da sua sede principal.

Em relação ao projeto do componente, semelhante ao sistema *wood frame*, se diferencia por não ser estrutural e sim um painel de vedação acoplado na estrutura principal (pilar-viga) feita com MLC.

Apresenta nível de complexidade baixo, com detalhes construtivos simples e caderno de detalhamento, utiliza madeira maciça de *Eucalyptus Grandis* na ossatura, placas de compensado e lambri com encaixe macho e fêmea. Tem espessura total de 13,7 cm onde a ossatura segue a modulação de 1m com altura máxima de 2,50m.

Os painéis se encaixam na classificação autoportante, composto por 6 camadas de componentes apresentando uma ossatura, que funciona também como isolamento criando uma camada de ar não ventilado, e camada de ar ventilado na face exterior.

Em sequência do exterior para o interior, a partir da figura abaixo:

- Lambri de 2,2cm x 10 cm
- Sarrafo de 1,5cm x 5 cm (camada de ar ventilado)
- Manta *durafoil*
- Placa de compensado 1,2cm
- Ossatura 2,2cm x 7cm (camada de ar não ventilado)
- Placa de compensado de 1,8cm

Figura 38: Esquema do painel para sede da Imaflora
Fonte: BARATA 2008, p.219.

Outros acabamentos podem ser feitos na face interior do painel como por exemplo gesso acartonado. Isso altera a espessura do painel e não foi considerado na análise. Sua pré-fabricação é parcial, sendo que apenas a ossatura é pré-fabricada e as demais placas são fixadas na obra. No processo de pré-fabricação da ossatura as ligações são feitas com pré-furação, já as placas de compensado são pregadas sem pré-furação e é executado na obra.

Em relação ao processo de produção, a alta disponibilidade de madeira de reflorestamento de eucaliptos e Pinus possibilitou redução de custo. Para tratamento preservativo é feito pincelamento superficial com Pentox. Apresenta beneficiamento simples com ferramentas básicas de marcenaria como desengrossadeira, desempenadeira, serra circular e espigadeira. Por ser um painel simples, a montagem pode ser feita por duas pessoas com baixa qualificação, mas com treinamento. Os equipamentos e ferramentas utilizados foram martelo, furadeira, alicate, bancada de pré-fabricação com gabarito, serra circular e desengrossadeira.

Seu atraso térmico é de 3,92 horas, e a transmitância térmica ficou-se em 1,12 W(m²K).

O painel piloto – Protótipo elaborado e produzido por Tomaz Barata em tese de doutoramento de 2008.

Em relação ao projeto do componente, trata-se de um painel estrutural (portante), apresenta camada de ar ventilada e não ventilada mais manta térmica. Em sua ossatura emprega Eucalipto de reflorestamento roliço, e por serem peças sem padronização de seção elevam o grau de dificuldade da execução. A modulação do painel é de 90cm x 2,40m com espessura de 13,7cm mais a placa interna a ser colocada posteriormente.

Figura 39: Esquema do painel piloto de Barata (2008)
Fonte: BARATA (2008, p. 258).

É composto por 7 camadas e utiliza 5 componentes:

- 3 montantes ½ cana roliço (5,0 x 12,0 x 2,40 cm)
- Placa OSB 9,5mm (90 x 240cm)
- 10 Sarrafos (1,5x5,0x90cm)
- 3 Sarrafos (1,5x5,0x240cm)
- 28 lambris (2,2 x 9,0 x 90 cm)
- Manta térmica

Em relação ao processo de produção, utiliza madeira de reflorestamento de eucalipto roliço e madeira serrada não certificada, OSB e as ligações são feitas com pregos e parafusos com pré-furação. Apresenta beneficiamento difícil feito por duas pessoas, devido a complexidade dos detalhes de ligação e do beneficiamento da madeira maciça sem seção padronizada. Por ser um painel complexo, a montagem pode ser feita por duas pessoas sendo uma com qualificação e um ajudante. Os equipamentos e ferramentas utilizados para montagem foram martelo, furadeira, alicate, fenda, trena, esquadro, furadeira e parafusadeira elétrica. Seu atraso térmico fixou-se em 4,2 horas, e a transmitância térmica é de 0,89 W(m²K).

O painel prototipo – Protótipo elaborado e produzido por Andrea Berriel e desenvolvido na UFPR durante o doutorado em 2009 na Engenharia Florestal

Por fim, uma outra pesquisa que propôs a utilização da madeira, unindo a pré-fabricação de peças leves com preocupação acerca da diminuição do impacto ambiental na construção, foi o trabalho realizado por Andrea Berriel, também em sua tese de doutoramento. Para isso desenvolveu painéis leves de vedação vertical em madeira. Utilizar a madeira da Bracatinga na fabricação do painel foi uma escolha que nos chama a atenção para a possibilidade de trazer espécies nativas, basicamente utilizadas para a produção de lenha e carvão, para a construção civil. Espécies como a Bracatinga, trazem algumas características que não a tornam atraentes à construção civil como:

1-) tensões de crescimento e secagem; 2-) conicidade acentuada que resulta em peças curtas no desdobro; 3-) problemas acentuados com torção, empenamento e rachaduras quando utilizadas peças com mais de 1 metro de comprimento e tábuas com mais de 10 cm de largura. (BERRIEL, p.290).

Em relação ao projeto do componente, é composto por 2 camadas e utiliza:

- Ossatura com peças de madeira maciça de 3cm x 10cm x 49,7cm ou 59,7cm
- Fechamento com peças de madeira maciça de 2cm x 10cm x 51cm pregadas no esquema tábua-matajunta.

Figura 40: Projeto do painel A pré-fabricado de Berriel
Fonte: BERRIEL (2009, p. 315)

ESTRUTURA PAINÉIS: PEÇAS 3,0 X 10,0 cm

- Peça 01 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 43,7 cm
- Peça 02 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 49,7 cm
- Peça 03 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 53,7 cm
- Peça 04 - 4 PEÇAS 3 X 10 X 59,7 cm

OBS:

○ F02 - Orifício de 1" ou 1 1/2"

○ F01 - Orifício para os parafusos 14
(Que fixarão um painel no outro)

Figura 41: Projeto para o protótipo dos painéis pré-fabricados de Berriel
Fonte: BERRIEL (2009, p. 307)

Foram propostos quatro tipos de painéis que podem ser combinados em coordenação modular permitindo uma variação em longitude e altura. A analogia feita pela autora é de que os painéis, funcionam como uma parede de tijolos.

Em relação ao processo de produção, o protótipo foi executado em marcenaria, com mão de obra especializada, foi concebido com a prerrogativa de viabilizar o transporte dos componentes por uma única pessoa, utilizando peças com comprimento inferior a 70cm (BERRIEL, 2009, p.287). O painel proposto e executado utilizando a Bracatinga (*mimosa scabrella*) pesava 45kg, mostrando uma possibilidade de montagem dos painéis que diminua o desgaste físico do montador. Além disso pode-se ressaltar neste protótipo o fato de que peças menores também facilitam a manutenção sem onerar muito a obra, no caso de substituição de peça durante o uso do edifício como já comentado.

Figura 42: Bancada de pré-fabricação do painel de Berriel (2009)
Fonte: BERRIEL (2009, p.335).

Figura 43: Protótipo do painel pré-fabricado em madeira de Bracatinga de Berriel
Fonte: BERRIEL (2009, p. 337)

2.2.4 Síntese sobre os exemplos de painéis

Para facilitar a percepção das principais características de cada um dos painéis citados acima no sentido de dar subsídio à etapa seguinte, qual seja, de elaboração do projeto e da produção do painel de vedação vertical, elaboramos esta tabela-síntese. Nos interessou destacar, de cada exemplo anteriormente analisado, as seguintes características:

- quanto a ser ou não estrutural;
- as dimensões do painel e módulos utilizados em projeto;
- o número de camadas do painel;
- o esquema envolvido na produção do painel.
- atraso térmico / transmitância térmica

Tabela 5: Síntese dos painéis apresentados e suas características

*Dados de atraso e transmitância térmica extraídos da tese de Barata 2008.

Referência	Ano	CARACTERÍSTICAS DO PAINEL					
		Estrutural	DIMENSÕES		Nº de camadas / espessura da parede(cm)	Atraso térmico (h) / Transmitância térmica (W (m²K)) *	Produção do painel
			Largura	Altura			
PAINÉIS ENCONTRADOS NO COMÉRCIO							
Light wood frame	2018	SIM	variável	2,55m	6 / 14,1	-	Linha de montagem na fábrica
Encaixe de montantes	2018	SIM	variável	variável	1 / 3	-	Marcenaria / canteiro
Casema	-	SIM	1,00m	2,50m	1 / 4,5	2,14h / 2,87W	Marcenaria / canteiro
PAINÉIS EM CONJUNTOS HABITACIONAIS							
Vila Taguaí	2010	SIM	0,20 a 3m Modulo = 10cm	1 a 5,5m	3 / 10	-	Fábrica
Casa do Horto	1994-96	NÃO	0,975m Módulo = 0,975m	1,1m, 1,80m, e 2,2m	6 / 13,5	-	Marcenaria/ canteiro
Conjunto Pedra 90	1995-96	NÃO	0,90m Módulo = 0,90m	2,50m	1 / 2,2	0,97h / 3,68W	Marcenaria
Uruguai	-	SIM	1,00m	2,50m	3 / 12	3,8h / 1,15W	Marcenaria/ canteiro
Sede da Imaflora	2002	NÃO	1,00m	2,50m	6 / 13,7	3,92h / 1,12W	Marcenaria
PAINÉIS FRUTO DE ESTUDOS DE PÓS-GRADUAÇÃO							
Painel piloto de Barata	2008	NÃO	0,90m	2,40m	7 / 13,7	4,2h / 0,89W	Marcenaria
Painel protótipo de Berriel	2009	SIM	A. 49,7cm B. 49,7cm C. 59,7cm	A. 49,7cm B. 59,7cm C. 59,7cm	2 / 14	-	Marcenaria

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com a análise dos diferentes exemplos acima, pudemos concluir que os painéis com baixa complexidade e de pequena dimensão são favoráveis para quando se pretende utilizar apenas ferramentas manuais e mão de obra não especializada, uma vez que facilitam a execução. Estas experiências que envolveram baixa complexidade utilizaram bancada de pré-

fabricação como gabarito, mostrando que é possível obter controle de qualidade neste modo de produção.

Nos sistemas construtivos que empregam painéis de pequenas dimensões os componentes de construção estão previstos para serem fabricados, manipulados e erguidos por dois homens sem a necessidade de uso de guias ou equipamentos de içamento. Os painéis internos e externos neste tipo de sistema são projetados e construídos considerando critérios de coordenação modular com dimensões uniformes que utilizam o módulo como unidade de medida (BARATA, 2008, p.32).

Quanto ao conforto térmico, os painéis que têm parede de camada única têm complexidade e custo reduzido, mas devido a pequena espessura perdem em conforto térmico, como podemos ver na indicação de atraso térmico e transmitância indicados anteriormente. Essa análise pode demonstrar o motivo pelo o qual as casas de kit pré-fabricados com parede única de madeira construíram uma impressão falsa de que casas de madeira não tem conforto térmico, conforme analisa Barata (2008, p. 123), Sandro (2002, p. 135), entre outros.

A diferença de espessura dos painéis de parede única, evidenciam que a parede com maior espessura tem maior atraso térmico. Porém, aumentar a espessura até cumprir as exigências de conforto pode encarecer muito a construção, então pode ser mais interessante optar por uma composição que conte com camada de isolamento – já que esta aumenta o atraso térmico.

Conjugada a esta solução, pode-se também aplicar uma “fachada ventilada”, que é uma camada que cria uma área de ar ventilada nos painéis de face externa da edificação. Esta estratégia, além de colaborar também na questão térmica, preserva o painel das ações do sol e umidade trazendo longevidade ao material.

El sistema de fachadas ventiladas plantea la construcción de una capa exterior, paralela a la fachada, que genera una cámara de aire intermedia. En esa cámara se produce una corriente por convección que funciona tanto como una ventilación para la humedad y como colchón térmico para la climatización interior (VÁSQUEZ, PRIETO, 2013).

Figura 44: Corte esquemático de edificação com fachada ventilada

Fonte: Vásquez e Prieto (2013). Disponível em <<https://bit.ly/2Gjuv2m>>, acesso em 27/08/2018

É importante destacar que este elemento de sombreamento da fachada deve ser pensado para permitir a livre contração e expansão do material de revestimento, e, portanto, deve considerar juntas de dilatação. Pode ser também projetada para ter uma fácil substituição, pois uma vez que funciona como uma camada de sacrifício e que preserva a estrutura principal, esta terá uma vida útil mais curta.

Com base nestas análises e nas considerações a respeito do primeiro capítulo, podemos traçar algumas diretrizes preliminares em relação ao projeto e produção de painéis verticais de vedação em madeira. Antes, porém, devemos fazer um esclarecimento a respeito da questão da tolerância dimensional.

2.3 Tolerância dimensional

Antes da finalização deste capítulo, se faz necessário explorar, ainda que brevemente, o debate acerca da tolerância dimensional, dada sua importância para o projeto e produção do objeto deste trabalho. Destacaremos aqui especificamente o debate apresentado por Della Noce (1996), que trabalha a questão das frestas e da tolerância dimensional especificamente dentro do tema do projeto de painéis pré-fabricados em madeira.

Os painéis concebidos pelo autor foram executados e realizaram o fechamento da edificação protótipo Casa do Horto, apresentada anteriormente. Durante a execução da obra foi possível coletar dados para propor parâmetros para a todas as etapas da produção, assim como foi possível aprofundar na influência do comportamento dimensional com foco nas frestas e tolerância dimensional.

O debate que diz respeito às frestas começa na busca por melhoria de desempenho da edificação e, especificamente, de edificações pré-fabricadas. Para respeitar exigências de desempenho, as edificações devem considerar a estabilidade e solidez da construção e dos elementos, comportamento adequado em caso de incêndio, higiene, saúde e meio ambiente, segurança ao uso, proteção de ruídos, conservação de energia e conforto térmico (DELLA NOCE, 1996, p.32).

Nas construções pré-fabricadas, o elemento de conexão entre os componentes é o responsável pela união do sistema construtivo e é inevitavelmente sujeito a imperfeições que podem aparecer durante cada etapa do processo. Isso pode representar um fator negativo para o desempenho da construção. As juntas, que se referem aos pontos de união entre os elementos, são diretamente ligadas às exigências de desempenho das edificações, podendo comprometer a estanqueidade, o isolamento térmico e acústico, e a durabilidade. Este fenômeno pode, entretanto, ser controlado dentro de limites pré-estabelecidos, chamados de tolerância dimensional.

Tolerância dimensional estipula uma variação de medida a ser permitida em relação a dimensão nominal durante o processo de fabricação. Dimensão nominal por sua vez consiste na medida desejada e estipulada em projeto. A partir da medida nominal se estipula uma medida de variação ou “desvio” a ser tolerado após a execução. Este desvio pode ocorrer aumentando ou diminuindo a dimensão da peça de pré-fabricação e para isso se estipula um limite mínimo e limite máximo para conformidade. Assim, a variação dimensional tolerada considera a soma do limite mínimo mais o máximo. Portanto, se o desvio limite mínimo é 1,5mm e o desvio limite máximo é 1,5mm a tolerância dimensional é de 3mm.

Figura 45: Esquema para conceituação de tolerância dimensional e sua terminologia.
Fonte: DELLA NOCE (1996, p.47).

Complementando a figura , o autor especifica:

Dimensão nominal = medida estipulada em projeto;
 Dimensão real = medida real do componente executado;
 Desvio real = diferença entre medida de projeto e medida real;
 Limite máximo = o maior de dois limites permissíveis;
 Limite mínimo = o menor de dois limites permissíveis;
 Desvio limite = limite de tolerância estipulado em relação à dimensão nominal;
 Tolerância Dimensional = tolerância que compreende o maior e o menor desvio limite (DELLA NOCE, 1996, p. 47)

A tolerância dimensional deve ser observada e respeitada quando se trata de sistemas e subsistemas construtivos, e para isso é preciso observar as variações que os componentes podem apresentar. No Brasil, as normas relativas à madeira serrada consideram uma tolerância para variação de seção transversal nos componentes de madeira em função da umidade, desdobro e do beneficiamento. A NBR 7203/1984, considera uma tolerância de mais ou menos 1% de variação para madeira serrada e mais ou menos 0,5% para madeira beneficiada. A NBR 12498/2017 define dimensão nominal como “aquela que a peça deve ter

quando seu teor de umidade for igual a 20%”. As variações toleradas são apresentadas abaixo.

Espessura nominal mm	Variação máxima permitida mm
12 a 25	3
32 a 50	4
63 a 100	6

Largura nominal mm	Variação máxima permitida mm
25 a 50	6
75 a 100	8
125 a 200	10
225 a 300	13

Figura 46: Tabelas de tolerância de variação permitida para espessura e largura para seções transversais de madeira
Fonte: NBR 12498/2017

A tolerância dimensional deve ser considerada no projeto dos painéis verticais de vedação em madeira, pois vai definir o tamanho final das peças de madeira.

2.4 Diretrizes para projeto e produção

As diretrizes para o projeto e produção de painéis verticais de vedação em madeira pré-fabricados foram estabelecidas com base nos estudos apresentados. O primeiro capítulo permitiu elaborarmos as diretrizes que dizem respeito ao projeto, peso, dimensões e ferramentas para este tipo de construção. Com o segundo capítulo estabelecemos as diretrizes relacionadas à escolha do material, e da composição do painel, para garantir o conforto térmico, a qualidade e durabilidade do mesmo. Em seguida elencamos as diretrizes:

1. Priorizar a pré-fabricação total dos painéis no “pé da obra”. Os benefícios desta forma de construção estão associados a descentralização de grandes galpões de produção e portanto da diminuição da necessidade de maquinário pesado. Também está associada a possibilidade do emprego da mão de obra local, que pode aumentar a autonomia dos moradores em relação a sua própria moradia.

2. Priorizar o uso de ferramentas manuais e equipamentos básicos de marcenaria. Se possível evitar usinagens com ferramentas complexas como as fresas de 4 faces e priorizar cortes em sentido único.

3. **Priorizar o emprego de seções comerciais.** Esta conduta facilita o acesso à matéria prima e pode, também, reduzir o custo total.
4. **Priorizar painéis leves e de pequenas dimensões.** Isso pode facilitar o projeto, o transporte, a pré-fabricação e a montagem na obra.
5. **Priorizar madeira maciça seca, se possível sem tratamento.** Utilizar madeira seca é muito importante, mesmo que seja necessário incorporar a secagem no cronograma da construção. Madeira sem tratamento irá possibilitar um descarte limpo no final da vida útil, tanto para incineração quanto para decomposição.
6. **Utilizar ao menos duas camadas de madeira.** A camada única demanda uma espessura e um volume muito grande de madeira para atender as exigências de conforto térmico.
7. **Utilizar painéis de revestimento nas faces externas da edificação, que tenham um processo de substituição fácil.** Estas criam sombreamento que preservam o painel das ações do sol e umidade trazendo longevidade aos painéis principais.
8. **Utilizar bancada de pré-fabricação com gabarito.** Isso pode aumentar a precisão dos encaixes dos componentes, assim como diminuir o desgaste do trabalhador na etapa de produção.
9. **Priorizar um sistema de montagem simples para mão de obra não especializada.** Considerar que a produção irá ser feita no pé do canteiro.
10. **Garantir a estabilidade do painel**
11. **O projeto deve prever a possibilidade de ampliar ou remodelar a edificação pelos moradores, conforme suas necessidades individuais.** Isto pode ser alcançado através de uma construção com componentes de pequeno porte, em contraponto a uma construção fechada com componentes de grande porte.

CAPÍTULO 3: O PROTÓTIPO

Como apresentamos na abordagem metodológica descrita na introdução do trabalho, neste capítulo serão apresentadas as etapas do desenvolvimento de projeto de produto e produção. Foram produzidos dois protótipos, o primeiro (Figura 47) foi feito a partir de um projeto concebido ao final da revisão bibliográfica, quando estabelecemos as diretrizes para este tipo de produção. O segundo (Figura 48) painel foi produzido a partir da análise dos pontos negativos encontrados na primeira produção. Neste capítulo vamos expor as análises feitas sobre a primeira produção assim como as alterações que fizemos para chegar ao projeto da segunda produção.

Conforme vimos anteriormente, os painéis de vedação vertical em madeira apresentam uma solução construtiva que pode colaborar na difusão do uso da madeira na construção civil, quando se busca redução de resíduos, facilidade de aquisição de materiais e facilidade de montagem pelos trabalhadores, resultando num produto condizente com as características intrínsecas da madeira como material construtivo. Sobretudo, pudemos perceber que os painéis com complexidade baixa e de pequena dimensão facilitam a execução para uma mão de obra sem especialização com uso de ferramentas manuais e que, no caso dos painéis de cobertura pré-fabricados, mostrou-se interessante utilizar uma bancada para gabarito, como forma de aumentar o controle do processo e, conseqüentemente, da qualidade do produto final.

Diferentemente do concreto ou do aço, a pré-fabricação com madeira não pode ser moldada. Portanto a lógica da pré-fabricação deve partir de peças que são conectadas por meio de encaixes ou ligações metálicas como parafusos, pregos e chapas. O projeto do protótipo que será apresentado a seguir buscou uma solução, dentre inúmeras possibilidades, para responder uma das questões desta pesquisa: quais as condições necessárias para que a pré-fabricação no pé da obra possa ser uma alternativa ao processo industrial de produção em grande escala?

Figura 47: Protótipo 1
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 48: Protótipo 2
Fonte: Elaboração do autor.

3.1 Desenvolvimento do Projeto

O processo projetual do painel de vedação vertical – objeto deste trabalho – começou durante a revisão bibliográfica, quando um primeiro estudo foi feito (Figura 49). No primeiro estudo o painel foi concebido para ser instalado na posição vertical, com tábuas de madeira maciça de 40 cm de largura (vide no Anexo 1 o projeto mais detalhado).

Figura 49: Primeiro estudo
Fonte: elaboração do autor

Este primeiro estudo permitiu avaliar as questões da pesquisa para auxiliar na formulação dos critérios para o projeto e produção. A análise do primeiro estudo apontou os seguintes aspectos:

1. **necessidade de muitos tipos diferentes de painéis:** durante o desenvolvimento do estudo tivemos que criar 5 tipos de painéis diferentes. Um para janela dos quartos, um para janela dos banheiros, um para o pé direito sem janela, um para o canto, painel porta, e um para mudança de direção da parede. Além disso tivemos que criar uma peça de espera para painéis internos que se encontrassem com os painéis externos em encontros do tipo “T” e do tipo “L”. Neste caso, quanto maior a quantidade de tipos de painéis e encaixes, mais complexa se torna a produção e a montagem.
2. **incompatibilidade dimensional do projeto com a matéria prima final:** para o teste de execução tínhamos estipulado fechamento com tábuas de Pinus,

Eucalipto e Compensado. Contudo, decidimos priorizar utilização de madeira serrada maciça nas diretrizes preliminares. Porém, ao utilizar madeira maciça, seria improvável que as tábuas de pinus e eucalipto com 2,40m de altura não apresentassem defeitos de secagem como encanoamento, encurvamento, arqueamento ou torcimento. Além disso, o projeto previa tábuas de 40cm de largura portanto, devido a dificuldade de encontrar madeira maciça com esta largura, seria mais provável ter que usar outro material como compensado ou OSB neste estudo.

3. **peso estimado muito alto:** consideramos alto o peso próprio calculado no final do estudo. Para o painel de 2,40m de altura o peso sem o isolante seria de 33 kg para fechamento com Pinus Elliottii, 44 kg para fechamento com Eucalipto Saligna, e 38 kg para fechamento com compensado.
4. **peças de dimensões muito grandes:** o desenho não considerava utilizar peças menores do que um metro de comprimento, premissa que foi adotada no segundo estudo e que se tornou essencial para a viabilidade da proposta.

Portanto, ao finalizar a revisão bibliográfica foi necessário continuar o processo projetual à luz das diretrizes estabelecidas, assim como a tomada de decisão em relação a cada uma delas. Orientados pelas diretrizes, tomamos novas decisões que refletiram diretamente no projeto do protótipo 1 e que apresentamos a seguir.

3.1.1 Análise das diretrizes para a concepção

Quanto à primeira diretriz 1 - Priorizar a pré-fabricação total dos painéis no pé da obra, buscamos um projeto de pré-fabricação do painel de vedação e do painel de revestimento que possa ser executado totalmente dentro da obra. Esta diretriz norteia as demais diretrizes.

A adoção da segunda, terceira e quarta diretrizes 2 - Priorizar o uso de ferramentas manuais e equipamentos básicos de marcenaria; 3 - Priorizar o emprego de seções comerciais; 4 - Priorizar painéis leves e de pequenas dimensões teve diversos desdobramentos no projeto e na reelaboração do mesmo.

Em primeiro lugar, o fato de utilizar peças de seções comerciais e de comprimento pequeno proporciona facilidades desde a aquisição da matéria prima até a execução do painel em pré-fabricação, uma vez que tem maior disponibilidade e, portanto, um preço mais acessível. Assim, no primeiro projeto decidimos projetar com seções comerciais de caibros de 45x50mm, que também podem ser obtidas a partir do desdobro da seção comercial de uma viga aparelhada de 45x105mm.

Estabelecemos a premissa de utilizar peças menores ou iguais a 1 metro de comprimento, a exemplo do protótipo de Berriel (2009). Esta medida refletiu nas demais diretrizes e trouxe alguns pontos positivos para todas as etapas de produção. Ao criar a restrição de medida de 1 metro pudemos limitar o peso a um máximo de 20kg para o painel com madeira mais densa. Além disso, esta medida permitiu facilitar o manuseio, o transporte da matéria prima e diminuiu o espaço necessário para a produção do painel. Peças menores de 1 metro aumentam a gama de espécies que podem ser utilizadas oriundas de “aproveitamento do desdobro de peças que seriam descartadas no caso de grandes componentes” (BERRIEL, 2009, p. 291) ou ainda, de espécies que normalmente apresentam torção quando tem comprimento maior do que 1 metro, além de viabilizar uma produção no canteiro que utilize apenas ferramentas menores, já usuais de um canteiro de obras do Brasil, quais sejam, serra circular, furadeira, trena, régua, lápis, parafusadeira.

A modulação utilizada no sentido vertical foi determinada como 30 centímetros em função de dois fatores:

- 1- Fornecimento de matéria prima, pois é muito difícil encontrar tábuas de madeira com dimensões maiores do que 30 centímetros – esta é normalmente a maior largura encontrada.
- 2- A sobreposição dos painéis de 30 centímetros resulta em alturas que se relacionam com os demais subsistemas da edificação. Dois ou três painéis sobrepostos resultam na altura do guarda-corpo da janela de 60cm e 90cm. Cinco ou seis painéis sobrepostos resultam na altura do guarda-corpo da janela do banheiro com 150cm e 180cm. Sete painéis sobrepostos resultam na altura da porta de 210cm, e nove painéis sobrepostos criam um pé-direito de 270cm para a edificação.

Para determinar a modulação no sentido horizontal, partimos de alguns fatores:

- 1- Consideramos as medidas fornecida no comércio, e as tábuas são fornecidas e precificadas por metro linear e bitola. Para tentar reduzir o desperdício, a tábua a ser utilizada e que determinaria o tamanho do painel seria a tábua de 2cm x 30cm x 100cm.
- 2- Estabelecemos que o peso deveria ficar igual ou menor do que 20kg, e a cada estudo finalizado era feita uma verificação estimada de peso em relação à espécie de madeira e ao volume de madeira que o projeto estava utilizando (Tabela 8);
- 3- Ainda era preciso verificar esta modulação num projeto real de uma edificação. Tentamos identificar então a aplicação desta modulação com a formulação dos ambientes de uma edificação, assim como sua relação com as portas e janelas. Para isto estipulamos algumas medidas mínimas necessárias para ambientes de uma residência, conforme detalhamos abaixo.

Em relação às aberturas, levamos em consideração a NBR 9050 que indica que uma porta acessível para uma cadeira de rodas deve ter vão livre mínimo de 80cm.

Figura 50: Estudo de planta para quartos de solteiro, medias em metros.
Fonte: elaboração própria.

Em relação aos ambientes, consideramos que as medidas mínimas necessárias para um quarto de uma residência seriam 270cm x 290cm. Como pode ser visualizado na Figura 50, no sentido x, de 270cm, estariam contabilizados 60 cm para um armário, 60 cm para circulação entre armário e cama, 90 cm para cama de solteiro e 60 cm para circulação entre a janela e cama. No outro sentido (y), de 290 cm, estariam contabilizados 200 cm para cama e 90cm para a porta, portanto ao adotarmos o módulo de 1m nos sentidos x e y contemplamos as dimensões necessárias para um quarto de solteiro, resultando em um quarto de 300cm x 300cm. Se aumentarmos um módulo de 1 metro no sentido x, criamos um ambiente de 300 x 400m tornando possível colocar uma cama de casal, como mostra a Figura 51. A dimensão de um metro atende a NBR 9050 para corredores acessíveis à cadeira de roda, e é múltiplo do módulo básico de 100mm normatizado pela NBR 15873 – *Coordenação modular para edificações*. Portanto as diretrizes 1 a 4 determinaram quais seriam os componentes construtivos e as dimensões de seções e do painel.

Figura 51: Estudo de planta para quarto de casal, medidas em metros.
Fonte: elaboração própria.

Em relação à quinta diretriz 5 - Priorizar madeira maciça seca, se possível sem tratamento, utilizar madeira sem tratamento foi uma proposta que surgiu em função do argumento de que a madeira é um material que pode ser incinerado ou descartado no meio ambiente - sem emitir gases ou substâncias tóxicas no mesmo - ao final de sua vida útil. Mas é importante deixar exposto que, mesmo sabendo dos benefícios que o tratamento e a cola podem trazer à qualidade e durabilidade de uma construção com madeira, se utilizarmos tratamento ou cola na produção, o argumento inicial pode ser desconstruído, além de alimentar a necessidade da produção da indústria da cola e das substâncias de tratamento nocivas ao meio ambiente. O lado negativo desta decisão é que utilizar madeira de densidade baixa (e, portanto, mais susceptíveis ao ataque de organismos xilófagos) sem tratamento, irá diminuir a vida útil da mesma, portanto neste caso a madeira de alta densidade será a mais indicada. Decidimos então utilizar madeiras sem tratamento e pelo mesmo motivo não utilizamos cola nas junções e sim parafusos.

Na primeira produção decidimos utilizar três espécies para comparação das variáveis de comportamento no ensaio de produção. Buscando experimentar o comportamento de madeiras de baixa densidade sem tratamento, e demonstrar um caminho que seja acessível a todos e sem passar necessariamente por empresas que constroem com madeira, escolhemos em função do preço e da disponibilidade as duas espécies mais comuns

provenientes de reflorestamento: **Eucalípto** e **Pinus**. Para ter um contraponto na coleta de dados a respeito da aquisição, preço e trabalhabilidade durante a produção e montagem, escolhemos também uma espécie nativa com densidade maior, o **Cumarú**. Na segunda produção, adquirimos a madeira em uma loja diferente e utilizamos a única tábua disponível na loja além do pinus, que era nomeada de **Peroba d'água** pela vendedora.

Não utilizamos pregos porque ao observar as construções que utilizam pregos nas fachadas, é notável que a maioria delas apresentam os pregos deslocados para fora da peça, ao passo que com o parafuso este efeito é minimizado. É provável que isso seja devido à variação da umidade, que causa dilatação e contração da madeira e acabaria, assim, deslocando os pregos para fora.

Da família Myrtaceae, o **Eucalípto**, a espécie *E. Saligna*, assim como algumas outras espécies de eucalípto, como por exemplo o *E. Grandis*, têm a característica de ser uma madeira fácil de trabalhar, porém tem resistência moderada a baixa ao ataque de organismos xilófagos. Várias espécies de eucalípto tem a cor parecida, com o cerne avermelhado ou castanho—avermelhado-claro portanto é difícil identificar, a olho nu, qual das espécies se trata quando adquirimos uma peça em canais comuns de comércio. O problema é que as características variam de acordo com a espécie. O *Eucalípto Saligna* é considerado de densidade média enquanto o *Grandis* é considerado de baixa densidade, e o *Citriodora* por sua vez apresenta densidade alta, portanto cada espécie deve ser designada para um uso compatível as suas características.

Para efeitos de projeto, uma vez que o elemento proposto não exercerá função estrutural no painel de vedação, consideramos para a ossatura de todos os painéis e para fechamento de um deles a adoção do *Eucalyptus Saligna*, que apresenta características intermediárias (preço, densidade, peso, trabalhabilidade) entre o Pinus e o Cumarú. A densidade de massa aparente a 15% de umidade é de 690 Kg/m³. Contração radial de 6,8%, tangencial de 13,4% e volumétrica de 23,4% (IPT 2013).

O **Pinus** (*Pinus Elliottii*) no fechamento de um dos painéis pois tem característica de ser uma madeira leve e mais barata, além de ser encontrada com facilidade. Esta gimnosperma foi introduzida no Brasil e é categorizada como madeira de reflorestamento. Segundo o IPT²², tem ocorrência no Amapá, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, mas é proveniente principalmente das áreas de reflorestamento no sul do estado de São Paulo e Paraná. É uma espécie de densidade baixa, macia ao corte, fácil de ser trabalhada e fácil de ser tratada. É

²²Catálogo de Madeiras Brasileiras para a construção civil do IPT. Disponível em <<https://bit.ly/2UCwa6e>>, acessado em 13/12/2018

fácil desdobrar, aplinar, lixar, furar e permite bom acabamento, porém é suscetível ao ataque de fungos, cupins, brocas e perfuradores marinhos. Devido a estas características é também uma madeira de durabilidade moderada principalmente se não tratada. A densidade de massa aparente a 15% de umidade é de 480 Kg/m³ e básica é de 400 Kg/m³. Contração radial de 3,4%, tangencial de 6,3% e volumétrica de 10,5%.

Quanto ao **Cumaru** (*Dipteryx odorata*), devido às características de alta durabilidade e resistência aos ataques xilófagos, esta espécie foi definida para os painéis de sacrifício. Segundo o publicado pelo IPT²³, é uma espécie da família das leguminosas, com ocorrência nos estados do Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia. Tem como características: densidade alta, dura ao corte, e apresenta dificuldade ao ser trabalhada em acabamentos como plaina, lixa e ao ser perfurada. “O cerne apresenta alta resistência a ataques de organismos xilófagos (fungos apodrecedores e cupins)” (IPT, 2013) e é impermeável a soluções preservativas. É considerada de alta durabilidade, sendo superior a 12 anos em contato com o solo. Segundo o Laboratório de Produtos Florestais²⁴ (LPF) a densidade de massa aparente a 12% de umidade é de 1070 Kg/m³ e básica é de 870 Kg/m³. Contração radial de 5,94%, tangencial de 8,4% e volumétrica de 13,85%.

Quanto a **Peroba d'água** utilizada na segunda produção, não conseguimos afirmar suas características precisamente pois esta espécie aparece com diferentes nomes científicos e não dispomos das fotos da árvore, folha, tronco e sementes para verificação. O aspecto visual da tábua se assemelha à *Gordonia fruticosa*, madeira de densidade média pesando 660kg/m³ e com boa resistência a ataque de organismos xilófagos segundo LORENZI (p. 358)

Em relação à sexta e à sétima diretriz 6 - Utilizar ao menos duas camadas de madeira; 7. Utilizar camadas de revestimento nas faces externas da edificação, que tenham um processo de substituição fácil, durante a revisão bibliográfica foi constatado que os painéis de apenas uma camada não atendem às necessidades de desempenho de conforto térmico. Já o painel Uruguay (Figura 33 e 34), com apenas três camadas sendo duas de fechamento e a ossatura com isolante (isopor de 3cm de espessura) cumpria um desempenho próximo aos painéis de 6 e 7 camadas. A fim de utilizar o mínimo de componentes, sem perder eficiência no desempenho de conforto, projetamos, um painel com três camadas, sendo duas camadas de fechamento e uma camada de ossatura que deve ser preenchida com isolante térmico.

Para o isolamento térmico que inserimos dentro do painel, priorizamos não utilizar componentes que tem alta emissão de CO₂, elevado gasto de energia primária e água, ou emissão de partículas para a atmosfera. Portanto descartamos os produtos existentes no

²³ Idem nota de rodapé 10.

²⁴ Disponível em <<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/pesquisa.php?idioma=ingles>>, acesso em 25/09/2020.

mercado para esta finalidade, quais sejam, o poliuretano expandido, o polipropileno expandido, a lã de rocha e a lã de vidro. Desta forma, optamos desenvolver e produzir um isolante utilizando manta geotêxtil, cal e feno. A manta geotêxtil pode ser composta por poliéster ou por polipropileno, porém no processo de produção dos fios, a extrusora é aquecida a 280°C enquanto a lã de rocha é aquecida a 1500°C e a lã de vidro é aquecida a 1450°C em sua fabricação. Já a cal, tem um processo de produção mais impactante – para sua produção é necessária extração de rochas calcárias da natureza, e queima a uma temperatura de 900°C, mas assumimos que seria necessário utilizá-la para prevenção de fungos e insetos.

A camada de revestimento para paredes externas que vai proteger o painel de vedação das ações do tempo, foi projetada para ser encaixada como um elemento separado para as fachadas externas, portanto não configura uma camada a mais do painel e sim um outro elemento pré-fabricado a ser acoplado na etapa de montagem.

Quanto a oitava diretriz 8 - Utilizar bancada de pré-fabricação com gabarito. Em um primeiro momento utilizamos uma bancada de marcenaria onde fixamos o gabarito com sargentos. Ao rever esta solução verificamos que era necessário fabricar uma mesa específica para esta função onde fizemos o gabarito fixo com parafuso. Ainda assim, esta mesa teria um desempenho melhor se fosse metálica com ligações aparafusadas, pois assim seria mais resistente, teria uma precisão maior e aguentaria mais os desgastes ao longo do uso.

Quanto a nona diretriz 9 - Considerar que a produção pode ser feita no pé do canteiro por mutirão, para tentar diminuir a complexidade da fabricação e da montagem dos componentes buscamos considerar um processo de produção que tivesse poucas etapas, portanto previmos apenas cortes simples em sentido único feito em serra circular, lixamento, e pré furação feita em furadeira de mão ou de bancada. A furadeira pode ser também a parafusadeira que irá fixar as peças com parafusos, assim eliminamos a quantidade de ferramentas buscando facilitar o processo.

Quanto a décima diretriz 10 - Garantir a estabilidade do painel, apesar do foco desta pesquisa estar sobre os painéis de vedação vertical, para garantir a estabilidade e segurança dos mesmos, tivemos que pensar na questão estrutural do conjunto de vários painéis trabalhando juntos, e como estes estariam relacionados com a cobertura. Portanto previmos barras diagonais que deverão ser instaladas nos cantos de todos ambientes, para garantir estabilidade no esforço de torção.

Quanto a décima primeira diretriz 11 - O projeto deve prever a possibilidade de ampliar ou remodelar a edificação pelos moradores, conforme suas necessidades individuais, a modulação proposta (1m x 1m) cria vãos pequenos abrindo a possibilidade de se retirar um módulo para inserir uma ampliação da construção ou uma reformulação da planta. A

construção feita no pé da obra com ferramentas manuais também auxilia na viabilidade desta diretriz.

Para cada diretriz estabelecida tomamos algumas decisões, a partir das quais partimos para a concepção de estudos preliminares do protótipo 1. É importante frisar que cada projetista pode tomar uma decisão diferente em seu projeto e que as diretrizes servem para auxiliar o desenvolvimento do projeto. Não propomos aqui um projeto fechado mas pretendemos demonstrar a viabilidade de se produzir artesanalmente painéis verticais de vedação com madeira a partir das diretrizes estabelecidas.

3.1.2 Estudo preliminar do protótipo 1

Como foi descrito no item anterior, para projetar o primeiro painel, partimos das seguintes definições quanto ao projeto e à matéria prima:

- utilizar modulação de 1m entre eixos dos montantes (pilares).
- para fechamento, utilizar tábua na seção padrão da loja de 2mm x 300mm x 1000mm.
- para a ossatura do painel, utilizar seção padrão vendida na loja como caibro 45mm x 50mm.
- utilizar três camadas, sendo duas de fechamento e uma com ossatura e isolamento térmico.
- utilizar uma camada de revestimento nas paredes com face externa.
- utilizar parafusos.

Adotando as definições estabelecidas, elaboramos o estudo preliminar nº 1 (Figura 52).

Figura 52: Estudo preliminar nº 1 – painel de vedação vertical com pilar de seção retangular
Fonte: elaboração própria.

Neste primeiro estudo, fizemos as seguintes observações:

- 1- **Perda de material:** para colocar um pilar de 10cm x 10cm torna necessário diminuir o tamanho da tábua do painel para 90cm, o que por um lado atende as dimensões

necessárias para o projeto dos ambientes e a norma de acessibilidade, mas por outro lado teremos que retirar 10 cm de cada tábua que é vendida por metro.

- 2- **Junta alinhadas originando frestas:** os pontos de encontro entre os pilares e os painéis certamente sofrerão retração e dilatação em função da umidade ao longo do tempo, portanto as juntas alinhadas vão resultar em frestas que permitirão a passagem do vento e ocasionalmente propagação do fogo. Tal como está desenhado, o mesmo ocorre nos pontos de encontro entre os painéis no sentido vertical.

No sistema construtivo tradicional, o ponto frágil com relação à segurança contra incêndio está presente nos vão internos às paredes e forros que tem a função de promover o arejamento da construção, mas que por outro lado, proporcionam condições favoráveis à rápida propagação do incêndio entre ambientes físicos. (PINTO, 2001, p. 90).

Continuando o desenvolvimento do estudo, desenhemos os pontos de ligação de forma que as juntas transpassassem a linha do pilar. Para isso, no sentido horizontal criamos um encaixe macho-fêmea onde o pilar tem o encaixe macho que funciona como guia para o deslizamento do painel, e o painel tem o encaixe fêmea. No sentido vertical criamos um encaixe de meia seção em “Z” como mostra o corte da Figura 53.

Figura 53: Estudo preliminar nº 2 – painel de vedação vertical com pilar de seção em cruz
Fonte: elaboração própria.

Figura 54: Detalhe do montante (pilar) (esquerda) e mudança de direção no eixo x/y (direita)
Fonte: elaboração própria.

Reformulando o pilar (que chamaremos de montante) para que ele encaixasse no painel, foi proposto um pilar em cruz composto por uma peça aparelhada de 45mm x 105mm, e duas peças de 45mm x 50mm nas laterais unidas por uma barra roscada (DET.1 - Figura 54). Assim, o lado de 45mm do pilar se torna uma guia para encaixe do painel, deixando 5mm de folga para que o painel deslize em um sistema macho-fêmea. Este redesenho fez também diminuir em 50mm o desperdício da tábua, além de possibilitar que o encaixe funcionasse na mudança de direção da parede como vemos no detalhe.

3.1.3 Anteprojeto

O sistema de vedação vertical que propomos é composto pela sobreposição de painéis menores com dimensões de 300mm x 950mm, denominados “painel de vedação” (Figura 55) que se encaixam nos montantes em cruz (Figura 57), e a partir desta sobreposição é que será feita a vedação do piso até o sistema de cobertura. Para vedar um pé direito de 2400mm é preciso sobrepor 7 unidades de painel de vedação.

Na etapa de anteprojeto, o painel foi desenhado com mais detalhamento, além de estudarmos sua aplicação em plantas habitacionais. Começamos pela modelagem do painel para verificar o sistema de encaixe entre o painel e os montantes para então verificar sua aplicação em uma construção. Em primeiro lugar, criamos uma identificação para cada peça, como forma de organizar a produção e a posterior sistematização das informações.

Painel de Vedação

As peças do painel foram identificadas e suas dimensões elencadas conforme demonstrado na Figura 55.

Figura 55: Perspectiva esquemática para identificação das peças do painel
Fonte: elaboração própria.

Figura 56:
Anteprojeto do Protótipo 1. Plantas, cortes correspondente às tabelas 6, 7, 8
Fonte: elaboração própria.

Montantes (M)

Para garantir a estabilidade do montante de 2700mm previmos duas barras roscadas para fixação na viga de base, uma outra barra roscada logo acima da viga de base, uma no meio

do montante, mais uma no topo do montante logo abaixo da viga de topo e uma última que faz a fixação com a viga de topo.

A solução definida para a primeira produção é apresentada na figura 57. Esta solução foi utilizada na primeira produção, mas após análise modificamos a seção dos montantes e os parafusos, comentaremos na análise da primeira produção.

Figura 57: Esquema para identificação das peças dos montantes e planta do montante em cruz
Fonte: elaboração própria.

Com o objetivo principal de verificar o peso dos painéis que estávamos projetando, mas também para sistematizar os dados, criamos nesta etapa uma tabela para caracterização de cada um dos painéis. Esta caracterização inclui informações sobre a estrutura (ossatura) e o fechamento, e indica espécie da madeira utilizada, peso específico, nomenclatura adotada para a peça, dimensões, volume, número de unidades utilizadas, peso total, se aceita descarte e quantidade de furos que a peça recebe. As tabelas de 6 a 8 descrevem os painéis da primeira produção onde ainda não tínhamos feito alterações em relação ao do tamanho do montante (Figura 57), nem do painel (figura 55 e 56), portanto são 40mm maiores do que os painéis do segundo protótipo. A Tabela 6 descreve as características do painel de Cumaru, a Tabela 7 do painel de Eucalipto e a Tabela 8 do painel de Pinus. As tabelas demonstraram que – em teoria – o peso máximo de um painel seria de 16,167 kg no painel em que utilizamos a madeira mais densa (Cumaru), isso demonstrou que estávamos conseguindo manter o peso dentro do desejado (máximo de 20 kg) que estabelecemos no desdobramento da diretriz 4.

Tabela 6: Caracterização do Painel Cumaru

Painel Cumaru (30cm x 95cm)	* peso a 15% de umidade (IPT)									
	** consideramos sim para descarte de madeira sem tratamento e sem cola.									
	Espécie	kg/m³	peça	dimensões mm			volume m³	unidades	peso (Kg)	descarte**
MADEIRA				L	A	C				
OSSATURA PAINEL	Eucalipto Saligna*	690	OP1	45	50	891	0,002	2	2,76	sim
			OP2	45	50	211	0,000474	3	0,98118	sim
TÁBUA FECHAMENTO	Cumaru*	1090	TF	20	300	950	0,0057	2	12,426	sim
SUBTOTAL MADEIRA DO PAINEL							0,008174	7	16,16718	

Tabela 7: Caracterização do Painel Eucalipto

Painel Eucalipto (30 x 95cm)	* peso a 15% de umidade (IPT)									
	** consideramos sim para descarte de madeira sem tratamento e sem cola.									
	Espécie	kg/m³	peça	dimensões mm			volume m³	unidades	peso (Kg)	descarte**
MADEIRA				L	A	C				
OSSATURA PAINEL	Eucalipto Saligna*	690	OP1	45	50	891	0,002	2	2,76	sim
			OP2	45	50	211	0,000474	3	0,98118	sim
TÁBUA FECHAMENTO	Eucalipto saligna*	680	TF	20	300	950	0,0057	2	7,752	sim
SUBTOTAL MADEIRA DO PAINEL							0,008174	7	11,49318	

Tabela 8: Caracterização do Painel Pinus

Painel Pinus (30 x 95cm)	* peso a 15% de umidade (IPT)									
	** consideramos sim para descarte de madeira sem tratamento e sem cola.									
	Espécie	kg/m³	peça	dimensões mm			volume m³	unidades	peso (Kg)	descarte**
MADEIRA				L	A	C				
OSSATURA PAINEL	Eucalipto Saligna*	690	OP1	45	50	891	0,002	2	2,76	sim
			OP2	45	50	211	0,000474	3	0,98118	sim
TÁBUA FECHAMENTO	Pinus Elioti*	480	TF	20	300	950	0,0057	2	5,472	sim
SUBTOTAL MADEIRA DO PAINEL							0,008174	7	9,21318	

Fonte: elaboração própria.

Painel de revestimento externo

Como já foi comentado, a camada de revestimento para paredes externas tem a função de proteger o painel de vedação das ações do tempo, assim como de melhorar o conforto térmico ao permitir a circulação do ar quente gerado pela incidência direta do sol na parede externa. Para esta camada utilizamos uma madeira densa para aumentar a durabilidade, o Cumaru. Na diretriz estabelecida para esta camada definimos que deveria possibilitar uma substituição fácil.

São necessários dois tipos de painéis de revestimento externo com tamanho padrão. Um de 990mm que segue a grelha de 1x1m de eixo a eixo (com folga de 10mm) e outro de 1090mm para cobrir os montantes dos cantos da edificação. Outras dimensões de formatos de painéis

de revestimento externo serão necessárias em função dos tipos variados de cobertura e suas respectivas exigências de inclinação.

Na primeira produção, afim de reduzir o tamanho deste elemento, experimentamos fazer um pequeno painel com dimensões máximas de 300mmx990mm (Figura 58). Para fixação dele no painel de vedação, instalamos uma peça metálica macho e fêmea.

Figura 58: Projeto do painel de revestimento para fachadas externas na primeira produção.
Fonte: elaboração própria.

Como podemos perceber, este projeto partiu das dimensões padrão disponíveis nas lojas de comercialização de madeira, para então aplicarmos no desenvolvimento de projeto para uma edificação. Portanto, na sequência, mostrou-se importante desenvolver uma planta para uma residência unifamiliar (Figura 59) a fim de expor a flexibilidade projetual da modulação proposta e a possibilidade de expansão da planta, assim como os pontos que deveriam ser detalhados e suas relações com os demais elementos da edificação – como por exemplo, a mudança de direção das paredes, paredes hidráulicas e os encontros com portas e janelas, piso e cobertura.

Figura 59: Planta para residência unifamiliar utilizando a modulação de 1m x 1m
Fonte: elaboração própria.

Uma vez definida a planta exploramos as possíveis formas de resolver a cobertura, com diferentes tipos de telha e, portanto, inclinações diferentes. Isso levantou a necessidade de termos um painel de fechamento inclinado ao utilizarmos telha de barro onde a inclinação mínima é de 30%, e o mesmo se aplica ao painel de revestimento da fachada como vemos na Figura 61. Consideramos que este painel inclinado para o fechamento final da edificação deverá ser feito após a instalação do madeiramento da cobertura, pois em cada obra esta inclinação poderá ter variações, portanto não consideramos a construção destes painéis na mesa de pré-fabricação com gabarito. Como comentamos, o foco desta pesquisa se limita aos painéis de vedação verticais pré-fabricados, portanto não iremos aprofundar no detalhamento da cobertura ou da fundação, mas como os painéis dependem dos montantes para se estabilizar, e os montantes são a estrutura da casa, podemos perceber que o sistema criado para os painéis de vedação vertical não só se relaciona com a estrutura como depende dela para funcionar, tornando fundamental demonstrar as relações entre os sistemas que compõem a edificação para verificar a viabilidade do painel que propomos. Com este intuito, a partir da planta apresentada na Figura 59, fizemos algumas simulações, com os diferentes tipos de cobertura.

Figura 60: Elevações e perspectiva solução com telha termoacústica
 Fonte: elaboração própria.

Figura 61: Elevações e perspectiva solução com telha de barro
 Fonte: elaboração própria.

A respeito da montagem do sistema, elencamos as etapas que deveriam ser seguidas na construção. A legenda da Figura 62 apresenta as etapas em ordem de execução. Como a proposta é que a construção não seja feita a partir de um projeto fechado, mas que o construtor tenha autonomia para tomar suas decisões, as etapas 1 e 2 podem ser feitas de diferentes formas.

Legenda:

- 1 - Radier
- 2 -Viga guia base 14,5x4,5cm
- 3 - Montante 14,5x14,5cm
- 4 - Rufo metálico
- 5 - Pannel de vedação
- 6 - Cinta: viga 10,5 x 4,5cm
- 7 - Diagonais 5x5cm
- 8 - Acabamento
- 9 - Pilar acima da cinta
- 10 - Vigas da cobertura
- 11 - Pannel de fechamento inclinado
- 12 - Revestimento externo

Figura 62: Perspectiva explicativa para etapas de montagem do sistema proposto
Fonte: elaboração própria.

1 e 2- O radier pode ser de concreto, ou pode ser feita uma base de madeira. Da mesma forma, a viga guia da base pode ser de madeira ou de concreto, isso vai depender da escolha do construtor. No caso adotamos um radier de concreto onde a viga de base é de madeira e é fixada através de um “U” metálico chumbado no radier.

3 - A etapa seguinte à instalação das vigas de base para os montantes é a da instalação dos montantes que servirão de guias laterais para os painéis que vão correr de cima para baixo descendo até a viga de base. A altura dos montantes deverá variar de acordo com a inclinação da cobertura definida. É importante destacar que como ocorrem variações nas dimensões entre o que se é projetado e o que se é executado – principalmente quando temos o fator da dilatação da madeira – a altura do pilar deve ser dimensionada um pouco maior do que a altura exata dos painéis de vedação sobrepostos para que o montante apoiado na viga de base (M1) não fique menor do que a altura dos painéis sobrepostos. Portanto deve-se prever o pilar um pouco maior e uma peça de fechamento com tábuas iguais às dos painéis indicados na etapa 8. Demonstraremos essa observação na descrição da segunda execução.

4 - Após instalar os montantes instala-se os rufos para garantir que a água não acumule abaixo das guias de base ou nos painéis verticais.

5 - A etapa seguinte é a instalação dos painéis verticais de vedação. A quantidade de painéis a ser instalado também vai depender da decisão do construtor e da altura desejada para o pé direito. Uma quantidade mínima desejada é de pelo menos 7 painéis sobrepostos antes de instalar a viga que chamamos de cinta, pois isso garante um pé direito mínimo de 2500mm se somarmos as alturas dos painéis mais as vigas de base, a cinta e a viga da cobertura.

6 - Após instalar os painéis de vedação vertical previmos a instalação de uma viga que deve correr por toda casa e que funciona como travamento dos painéis e da estrutura.

7 – Após travar os montantes com a cinta previmos o travamento de torção com diagonais rígidas (caibros de 50x50mm) fixadas na guia, sempre colocadas nos cantos dos ambientes.

Acima da cinta podemos ter diferentes soluções para o sistema de cobertura e cada solução adotada pelo construtor vai ter uma forma de se relacionar com os montantes já instalados, por isso a altura dos montantes, assim como a quantidade de painéis ou caixilhos a serem instalados irá variar de acordo com a solução adotada.

8 – Instalação do fechamento entre os painéis e a cinta.

9 - Acima da cinta, os caibros continuam até encontrar a viga de sustentação do madeiramento da cobertura, seja de telha de barro ou termoacústica. No caso da telha de barro em que a inclinação é maior, é possível fechar tanto com caixilhos como com mais painéis dependendo da situação. No caso de instalar mais painéis é preciso prever novamente a guia para os

painéis acima da cinta. No caso de fechar com caixilho é possível prever apenas um caibro no lugar da viga.

10 – Instalação das vigas da cobertura.

11 – Após instalar as vigas da cobertura e ter a inclinação final executada é necessário executar um painel de fechamento inclinado. Este pode ser feito sem o gabarito da mesa de pré-fabricação pois em cada solução e em cada obra essa inclinação pode variar. O mesmo deve ser feito com os painéis de revestimento externo.

12 – Instalação dos painéis de revestimento nas laterais externas.

1 e 2

3

4

5

6

7

Sequência das etapas de construção proposta aplicação do protótipo

Figura 63: Sequência das etapas de construção proposta aplicação do protótipo
Fonte: elaboração própria.

Após finalizar a montagem começam as instalações hidráulicas e elétricas. Para as instalações elétricas previmos conduítes que estão colocados no contrapiso ligando o quadro de força aos eletrodutos de aço galvanizado como mostra o item 7 da Figura 65. Uma outra possibilidade é de prever uma canaleta elétrica, que corre pela edificação faceando os montantes, embutida no radier. Para esconder a tubulação hidráulica das paredes da cozinha, área de serviço e banheiros é possível instalar painéis de revestimento na face interna do ambiente. No caso de ambientes como o box do banheiro, podem ser instalados painéis de compensado ou placas cimentícias para receber azulejos.

Figura 64: Ampliação 1 (banheiro) indicada na planta da Figura 59 na página 98
Fonte: elaboração própria.

Figura 65: painel de revestimento para áreas molhadas
Fonte: elaboração própria.

Det. 1- Painel x montante

Det. 2- Encontro de parede "T"

Figura 66: Detalhes 1 e 2 referentes às indicações da figura 59 na página 98

Fonte: elaboração própria.

Det. 3- Encontro com caixilho

Det. 4- Encontro de canto "L"

Figura 67: Detalhes 3 e 4 referentes às indicações da figura 59 na página 98

Fonte: elaboração própria.

O detalhamento dos pontos de encontro entre painel e montante, assim como o encontro entre painéis (Figura 66 e Figura 67), expôs a necessidade de prever uma pequena folga entre os elementos. Mais uma vez, isto se deve ao fato de que a madeira maciça vai ganhar ou perder volume em função da umidade e da variação que pode ocorrer nas dimensões finais depois do desdobro e secagem, portanto é preciso prever em projeto essa variação como foi debatido na questão sobre a tolerância dimensional. Além disso é preciso ter uma folga entre os

elementos para o painel correr no montante sem grande obstrução, assim estipulamos uma folga de 2,5mm para cada lado do painel tornando o painel meio centímetro menor do que o vão luz entre os montantes. Para conseguir esta folga sem alterar as seções das peças E.P.1 e E.P.2, definimos que a face da ossatura do painel que deveria se encaixar no montante deveria ser a face de 50mm, uma vez que as faces do montante que funcionam como guia para os painéis têm 45mm. Contudo esta folga é também um ponto que pode criar passagem de vento e em caso de incêndio, a propagação do mesmo. Por isso tomamos a decisão de colar um “veda-fresta” nos pontos em que a folga acontece pressupondo que isso não vai impedir que o painel corra mas vai minimizar a passagem de vento e som nas frestas. O “veda-frestas” encontrado facilmente em lojas de materiais de construção é feito à base de petróleo, mas como ele já vem com fita adesiva em um dos lados, deve ser colado na madeira e não impregnado, o que apesar de gerar resíduo pode ser retirado antes do descarte da madeira no final de sua vida útil.

Figura 68: Utilização dos painéis nas diferentes situações de projeto
Fonte: elaboração própria.

Na figura 68, estão demonstradas em elevação e corte as soluções projetuais para as diferentes situações: portas, fachada cega, janelas de quartos e salas e janelas de cozinha e banheiro. Na sequência (Figura 69), estão indicados os demais detalhes construtivos.

Det. 5 - encontro com viga

Det. 6 - Pannel x Pannel

Det. 7 - encontro com piso

Det. 8 - Corte de encontro com janela

Figura 69: Detalhes 5, 6, 7, 8
Fonte: elaboração própria.

3.2 A primeira produção – Protótipo 1

3.2.1 Projeto executivo da primeira produção

Para a primeira produção, elaboramos um projeto executivo para executar apenas 3 painéis e conseguir fazer as primeiras análises a respeito de preço, dificuldades na execução, montagem e diferenças a respeito de cada espécie de madeira. Desenhamos cada peça visando a execução do painel. No caso, executamos os painéis medindo 300mm x 950mm e ainda com o encaixe de cunha metálico, pois ainda não tínhamos alterado os desenhos para manter apenas um tamanho de painel, como comentamos acima.

PAINEL A (300mm x 950mm)

Figura 70: Projeto executivo do painel – primeira produção
Fonte: elaboração própria.

3.2.2 Matéria Prima

Após finalizar o projeto executivo e definir o Laboratório de Modelo e Maquete do IAU-USP-São Carlos como local de execução do ensaio de produção, teve início a busca por matéria prima para a primeira produção: a madeira. Foram visitados três fornecedores diferentes, dois deles em São Carlos-SP e um em Brotas-SP. O fornecedor de Brotas trabalha apenas com madeira nativa e os preços são colocados sobre o metro cubico de madeira. No caso do Cumaru, o preço²⁵ das peças de aproveitamento com bitola de 20 a 30mm era de R\$ 4.500/m³, com bitola de 30 a 50mm era de R\$ 5.000 para as pranchas sem ser aproveitamento o preço é R\$6.000/m³.

Já os fornecedores de São Carlos que contatamos colocam o preço sobre o metro linear e seção da bitola da peça. Nestes fornecedores orçamos as peças de Pinus e Eucalipto. Neste caso as bitolas fornecidas pelas duas lojas são 50x50mm, 50x70mm, 50x110mm, 50x150mm, 50x200mm quando brutas, e quando aparelhadas cada face tem uma perda de 2,5mm resultando em uma perda de 5mm na largura aparelhada. As tábuas também são precificadas por metro linear ou largura, e a maior largura disponível é a de 300mm com espessura de 25mm bruta ou 20mm aparelhada. Para construir uma estimativa de comparação das peças de Eucalipto, podemos considerar a relação do custo pelo volume das peças adquiridas. Se uma peça de 50x50x1000mm ou 0,0025m³ tem o valor unitário de 5,00 R\$ significa que 1m³ de peças com seção 50x50mm, custaria R\$ 2.000.

Quanto ao transporte da matéria prima, as peças para o painel tinham 1metro de comprimento, portanto não houve dificuldade para transportar no porta-malas de um veículo de passeio. Já as peças adquiridas para a execução dos montantes tinham 1500mm, o que dificultou – mas não inviabilizou – o transporte do mesmo.

Para a primeira produção, definimos que as peças deveriam ser encomendadas já nas seções e comprimentos estabelecidos em projeto, portanto elaboramos as tabelas com o quantitativo para o pedido. O quantitativo utilizado para a compra das madeiras para a primeira execução do protótipo está apresentado na Tabela 9 e Tabela 10. A nomenclatura apresentada nas tabelas serviu para auxiliar na organização da vistoria das peças assim como o processo de execução do painel na unidade de produção. Esta tabela também possibilitou comparar as medidas nominais fornecidas pela loja com as medidas entregues de fato, assim como verificar se as medidas são compatíveis com as normas. Quanto aos demais componentes utilizados na fabricação do painel, dentre eles parafusos, veda-frestas, feno, manta geotextil

²⁵ Preços referentes a Setembro de 2018.

e cal foi fácil encontrar em lojas locais de parafusos, jardinagem e materiais de construção em geral.

Tabela 9: Quantitativo para encomenda dos painéis

Obs.: Para Pinus e Eucalipto foram solicitadas peças secas e aparelhadas.

Para Cumaru, as peças compradas são de rejeito portanto escolhidas e desdobradas no pátio do fornecedor

Função no projeto	Espécie	Peça encomendada (mm)	Nomenclatura adotada [função no projeto].[espécie]. [número]
Fechamento (F)	Cumaru (C)	Tábua 1 (20 x 300 x 1000)	F.C.1
		Tábua 2 (20 x 300 x 1000)	F.C.2
	Pinus (Pi)	Tábua 1 (20 x 300 x 1000)	F.Pi.1
		Tábua 2 (20 x 300 x 1000)	F.Pi.2
	Eucalipto (Eu)	Tábua 1 (20 x 300 x 1000)	F.Eu.1
		Tábua 2 (20 x 300 x 1000)	F.Eu.2
Estrutura do Painei (E.P)	Eucalipto (Eu)	Caibro 1 (45 x 50 x 1000)	E.P.1.1
		Caibro 2 (45 x 50 x 1000)	E.P.1.2
		Caibro 3 (45 x 50 x 1000)	E.P.1.3
		Caibro 4 (45 x 50 x 1000)	E.P.2.1
		Caibro 5 (45 x 50 x 1000)	E.P.2.2
		Caibro 6 (45 x 50 x 1000)	E.P.2.3
		Caibro 7 (45 x 50 x 1000)	E.P.2.4
		Caibro 8 (45 x 50 x 1000)	E.P.2.5
		Caibro 9 (45 x 50 x 1000)	E.P.2.6

Fonte: elaboração própria.

Tabela 10: Quantitativo para encomenda dos painéis

Obs.: foram solicitadas peças secas e aparelhadas

Função no projeto	Espécie	Peça encomendada (mm)	Nomenclatura adotada [função no projeto]. [espécie].[número]
Montante (M)	Eucalipto (Eu)	Viga 1 (45 x 105 x 1500)	M.1.1
		Viga 2 (45 x 105 x 1500)	M.1.2
		Caibro 10 (45 x 50 x 1500)	M.2.1
		Caibro 11 (45 x 50 x 1500)	M.2.2
		Caibro 12 (45 x 50 x 1500)	M.2.3
		Caibro 13 (45 x 50 x 1500)	M.2.4
Viga de base	Eucalipto (Eu)	Viga 3 (50 x 110 x 1500) obs: não aparelhada	V.1
Viga de topo		Viga 4 (45 x 105 x 1500)	V.2

Fonte: elaboração própria.

3.2.3 Verificação do lote

Figura 71: Peças de Eucalipto adquiridas identificadas
Fonte: elaboração própria.

A verificação do lote foi feita buscando identificar os defeitos de cada peça, com o objetivo de verificar como o nível de qualidade das mesmas influencia no produto final.

SOUZA (1996) destaca a inspeção visual como ferramenta para a avaliação da qualidade da madeira.

Defeitos como falhas, rachas, fendas e fissuras devem ser conferidos visualmente em 100% do lote, conforme orientações e limites da Figura 1. As peças que forem consideradas suspeitas devem ser separadas para verificação individual detalhada. A incidência excessiva de nós deve ser observada visualmente, levando em conta, sempre, o uso que se dará à madeira. [...] As Verificações de encanoamento, encurvamento, arqueamento e desbitolamento devem ser realizadas na amostra composta por 13 peças, por intermédio de uma trena metálica com precisão de 1mm, considerando os limites de tolerâncias apresentados na Figura 2 (SOUZA. 1996, p. 20).

Figura 72: Identificação de defeitos na madeira
Fonte: SOUZA. 1996. p.21

Figura 73: Identificação de defeitos na madeira: nós
 Fonte: SOUZA. 1996. p.24

Também segundo o “método para classificação visual de coníferas” proposto por Carreira, Dias e Calil (2004) a classificação visual pretende identificar:

- defeitos de origem anatômica como presença de medula, faixas de parênquima, fibra ou grã inclinada e nós.
- defeitos por ataques biológicos como insetos e fungos.
- defeitos originados durante a secagem da madeira como encanoamento, arqueamento, encurvamento, torcimento, escamas e rachaduras.
- e por fim defeitos de processamento da madeira como a presença de alburno, arestas quebradas e variação da seção transversal.

Para avaliar o lote adquirido fizemos verificação visual para identificar a presença de nós, rachaduras, defeitos de secagem, e ataques biológicos. Para verificar defeitos de processamento utilizamos escalímetro, trena e paquímetro. Para pesagem utilizamos balança do laboratório de construção civil do IAU USP de São Carlos. Para a sistematização da vistoria criamos uma ficha de vistoria para cada peça que se encontra no anexo 2.

Quanto a umidade:

Não foi feito aferimento de umidade em laboratório, mas foi possível observar umidade vertendo de todas as peças de eucalipto e pinus, sugerindo que a madeira ainda tinha água livre contida nas cavidades, portanto sem atingir o ponto de saturação. Já as tábuas de Cumaru, eram de rejeito e estavam estocadas a bastante tempo segundo informação do fornecedor, e talvez por este motivo não foi observado umidade saindo das peças como mostram as figuras abaixo.

Figura 74: Verificação visual de umidade aflorando nas tábuas de eucalipto e pinus
Fonte: elaboração própria.

Falhas Naturais da madeira:

A presença de nós, presença de alburno e presença de medula nas peças são características que reduzem a resistência mecânica da madeira. Portanto quando encontrados não são recomendados para utilização em estruturas. Do lote adquirido apenas uma peça apresentou nó, e a mesma peça também foi a única a apresentar presença de alburno. A peça também apresentou rachadura como mostra a Figura 75. No caso, a peça era designada para a execução do montante estrutural do sistema e a presença destes defeitos inviabilizariam a aplicação da mesma para estrutura, contudo poderia ser aproveitada para a estrutura (ossatura) do painel de vedação após secagem, e desdobramento para tal finalidade.

Figura 75: Verificação visual da presença de defeitos nas peças de eucalipto
Fonte: elaboração própria.

Rachaduras:

Foram encontradas rachaduras em 13 das 23 peças encomendadas. Todas as 7 peças “M” de 1,50m que eram destinadas aos montantes e vigas apresentaram rachaduras espaçadas por todo o comprimento da peça, maiores que 10cm de comprimento e com as fendas maiores do que 1mm de abertura. Já nas peças “E.P.1” e “E.P.2” destinadas à ossatura do painel, 3 das 9 peças apresentaram rachaduras, também com abertura maior do que 1mm e comprimento de até 100mm. As tábuas de eucalipto apresentaram rachaduras de 2,5mm de abertura.

Figura 76: Medição das rachaduras nas peças de eucalipto
Fonte: elaboração própria.

Defeitos por ataques biológicos:

Não foram detectadas perfurações causadas por insetos em nenhuma peça, porém nas tábuas de pinus e tábuas de eucalipto que estavam visivelmente soltando umidade, foram detectadas manchas e a presença de fungos em boa parte da tábua, como mostra a figura 77.

Figura 77: Fungo nas tábuas de pinus e eucalipto.
Fonte: elaboração própria.

Defeitos de Secagem:

Os defeitos de secagem surgem na deficiência do sistema de secagem e do armazenamento e podem refletir na geometria da peça. São eles: encanoamento, encurvamento, arqueamento ou torcimento. Nenhuma peça apresentou torcimento ou encurvamento.

Encanoamento

Duas das seis tábuas apresentaram encanoamento, sendo que a mais crítica foi em uma das tábuas de eucalipto que encanoou 7,5mm de um lado e 5mm do outro. A outra tábua a apresentar encanoamento foi a de Cumaru, com 1,5mm em apenas um dos lados.

Figura 78: Encanoamento da tábua de eucalipto
Fonte: elaboração própria.

Arqueamento

Das peças que tinham 1m de comprimento, nenhuma apresentou arqueamento, já as peças com 1,50m apresentaram leve arqueamento em 3 das 8 unidades.

Defeitos de processamento da madeira:

Dependendo da manipulação, transporte, armazenamento e desdobro da madeira alguns defeitos como variação da seção da peça, falta de esquadro ou arestas quebradas podem aparecer nas peças.

Para o esquadro e a variação da seção, foi feito um aferimento de medida nas duas extremidades e também no meio da peça. Foi constatado que nenhuma peça apresentava as mesmas medidas nas três seções aferidas, portanto nenhuma apresentava esquadro, além de não ter as medidas compatíveis com a encomenda da madeira. Isso se deve ao processamento nas peças de Cumaru, mas nas demais peças se deve também pelo fato da madeira estar no processo de evaporação da água livre contida nas cavidades. Outro aspecto notado nas peças de eucalipto foi uma curvatura existente em algumas arestas das seções das extremidades oriundas do mesmo motivo.

Figura 79: Peças de eucalipto com defeitos de processamento
Fonte: elaboração própria.

3.2.4 Execução dos painéis do Protótipo 1

Após fazer a vistoria das peças, começamos a execução dos painéis na unidade de produção. A intenção nesta experiência – construir o painel de uma forma simples garantindo qualidade e utilizando apenas ferramentas básicas de marcenaria – é mostrar a sua viabilidade sem grandes investimentos em equipamentos, tornando o objeto exequível à autoconstrução.

Para isso, a idéia inicial foi utilizar apenas equipamentos básicos de marcenaria como: serra circular de bancada; furadeira / parafusadeira de mão; parafusadeira de bancada; lixadeira; régua e lápis; sargentos; bancada de marcenaria.

Conforme indicado anteriormente, a ossatura, ou estrutura, dos três painéis protótipos foi feita em Eucalipto, mas o fechamento de cada um deles é a partir de três espécies diferentes. O painel com fechamento em tábuas de Cumaru é chamado de Painel Cumaru, e a mesma lógica segue para o Painel Eucalipto e o Painel Pinus.

As etapas da produção foram caracterizadas para sistematizar a execução e permitir a análise do processo. Ao total são oito etapas, sendo que as três primeiras cobrem a preparação da matéria prima para a execução dos três painéis. Já o conjunto das etapas de quatro a oito descreve a confecção do painel em si, e como temos três painéis de espécies diferentes, repetimos este conjunto de etapas por três vezes. Assim, as etapas **4a** à **8a** cobrem a confecção do Painel Cumaru, as etapas **4b** à **8b** cobrem a confecção do Painel Pinus e **4c** à **8c** a confecção do Painel Eucalipto. A seguir apresentaremos as fotos e descrições de cada uma das etapas.

Etapa 01: Desdobrar as peças

Nesta etapa a matéria prima adquirida nos fornecedores foi desdobrada para obtermos as peças previstas em projeto. Primeiro foi feita marcação da medida estipulada em projeto no gabarito da serra circular de mesa. Para compor a ossatura dos três painéis, foi retirada uma peça de 891mm de cada peça E.P.1 e três peças de 211mm de cada peça E.P.2. Já para as placas de fechamento, foram retiradas peças de 950 mm das tábuas de 1000 mm.

Figura 80: Etapa 1 - Desdobro das peças de eucalipto na serra circular da unidade de produção
Fonte: elaboração própria.

Etapa 02: Marcação e pré-furação

Nesta etapa foi feita a marcação dos furos nas peças E.P.1 e a pré-furação das peças E.P.1. Ao total foram feitos 36 furos na furadeira de bancada.

Figura 81: Etapa 2 - Marcação do furo de passagem nas peças E.P.1
Fonte: elaboração própria.

Etapa 03: Lixar

Nesta etapa foram lixados o topo de cada peça (6 peças E.P.1 e 9 peças E.P.2). Posteriormente foram lixadas as laterais das peças (6 peças E.P.1, 9 peças E.P.2 e apenas 2 tábuas de fechamento). As demais tábuas não foram lixadas no mesmo dia e não foram computadas.

Figura 82: Etapa 3 - Peças de eucalipto na lixadeira de disco e lixadeira de fita
Fonte: elaboração própria.

Etapa 04: Montar o quadro (ossatura) do painel

Conforme indicado anteriormente, o conjunto de etapas 4 a 8 foi realizado três vezes, a primeira para confecção do Painel Cumaru, a segunda para a confecção do Painel Pinus e a terceira para o Painel Eucalipto.

De forma geral, as ações da etapa 4 consistiram em colocar as peças E.P.1 e E.P.2 em esquadro, prender com sargento, fazer pré-furação nas peças E.P.2 e parafusar as peças E.P.1 nas peças E.P.2.

Figura 83: Etapa 4A - Montagem da ossatura com auxílio de sargento e parafusadeira
Fonte: elaboração própria.

Etapa 05: fechar um lado do painel

A etapa 5 consistiu na fixação das tábuas de fechamento de um dos lados dos painéis. A primeira ação foi colocar a peça de fechamento F.C.1 no gabarito e prender com sargento. Na sequência, traçamos eixos de furação na peça F.C.1, fizemos a pré-furação e parafusamos a F.C.1 na estrutura do painel.

Quando realizamos esta etapa pela primeira vez, para a confecção do Painei Cumaru, utilizamos um gabarito simples, conforme Figura 84. A fixação da tábua de fechamento na ossatura era auxiliada por este gabarito apenas através de uma linha feita a lápis, que servia como referência de limitação da posição da peça. Porém, quando realizamos esta etapa pela segunda vez, para o Painei Pinus, percebemos que seria mais prático incorporar ao gabarito mais uma peça, que, em substituição à linha feita à lápis, serviria como referência de limitação física para o posicionamento da tábua de fechamento, facilitando o serviço. Este segundo gabarito está demonstrado na Figura 87. O registro de tempo (Tabela 11) mostrou que esta pequena peça incorporada ao gabarito fez com que o tempo de produção diminuísse pela metade na segunda execução, evidenciando a necessidade da mesa de pré-fabricação com gabarito pré-estabelecido para a segunda produção.

Figura 84: Etapa 5A– gabarito simples utilizado na execução do primeiro painel
Fonte: elaboração própria.

Figura 85: Etapa 5A - Painei Cumaru sendo fixado na bancada com auxílio de sargento
Fonte: elaboração própria.

Figura 86: Etapa 5A- verso do Painei Cumaru, após a fixação da tábua na ossatura
Fonte: elaboração própria.

Figura 87: Etapa 5B - Gabarito ajustado para a execução do segundo painel
Fonte: elaboração própria.

Figura 88: Etapa 5B do Painei Pinus
Fonte: elaboração própria.

Etapa 06: Colocar o isolante

Nesta etapa a ação consistia em posicionar os “travesseiros” isolantes no interior da cavidade dos painéis. A dificuldade residiu, porém, na confecção destes “travesseiros”, o que consumiu cerca de duas horas, mas esta pode ser realizada independentemente do processo. Compostos de uma mistura de cal com feno e envolvidos em manta geotêxtil, a mistura contou com a proporção de 1kg de cal para 1kg de feno, e foi realizada dentro de um saco plástico

(o procedimento gerou uma nuvem de partículas de cal no ar que dificultou a sua realização). Utilizamos o próprio painel como forma para acomodar a manta geotextil e depois posicionar o feno misturado com cal.

Esta etapa foi realizada apenas para o painel de pinus (Figura 89).

Figura 89: Etapa 6B - Sequência da produção do isolante
Fonte: elaboração própria.

Etapa 07: fechar o outro lado do painel

O gabarito fixado na mesa para a etapa 5 não serviu de gabarito também para a presente etapa, pois a primeira tabua, que já havia sido fixada na etapa 5, criou uma diferença de altura, portanto foi necessário fazer outro gabarito para a fixação da tábua de fechamento do outro lado. Mostrou-se importante, dessa forma, a criação de um gabarito fixo para as etapas de fechamento. A seguir, nas considerações finais, analisamos a questão da importância do uso de uma bancada como gabarito para esta proposta de painel, e fizemos uma proposta de bancada para atender a estas necessidades na segunda produção.

Figura 90: Etapa 7B - Fechamento do Painei Pinus
Fonte: elaboração própria.

Figura 91: Painei Cumaru – vista lateral
Fonte: elaboração própria.

Figura 92: Painei Cumaru – vista forntal
Fonte: elaboração própria.

Etapa 08: colar o veda-fresta

O veda fresta vem com uma fita adesiva em um dos lados, portanto esta etapa foi simples, bastava retirar a fita protetora da cola e em seguida colar o veda fresta na madeira.

Figura 93: Etapa 8A - Painei Cumaru com veda fresta colado
Fonte: elaboração própria.

Espacializamos o fluxo das etapas no esquema da unidade de produção (Laboratório de modelos e maquetes do IAU-USP São Carlos-SP), conforme apresentado na Figura 94.

Figura 94: Fluxo das etapas no esquema da unidade de produção
Fonte: elaboração própria

Existem muitas variáveis que podem interferir na medição real do tempo de execução da produção dos painéis. Ainda sim, para ter uma estimativa e estipular o tempo de montagem de um painel, consideramos o tempo gasto no processo após o desdobro, lixamento e pré-furação das peças, ou seja, a partir da etapa 04, já que as etapas de 01 a 03 produziram peças para três painéis.

A tabela abaixo foi elaborada para esquematizar as Etapas, as ações de cada uma delas, e o tempo que foi gasto em cada uma delas durante a produção.

Tabela 11: Registro de tempo da produção dos painéis

Etapa	Ação	Tempo
ETAPAS INICIAIS		
Etapa 1 <i>Desdobrar as peças</i>	Desdobro das peças E.P.1 e E.P.2 (para a ossatura)	6 min
	Desdobro das peças F. (para fechamento)	4:15 min
Etapa 2 <i>Marcação e pré-furação</i>	Marcação dos furos nas 6 peças E.P.1 (891cm)	15 min
	Pré-furação do furo de passagem nas 6 peças E.P.1	20 min
Etapa 3 <i>Lixar</i>	Lixar topo das 6 peças E.P.1 e das 9 peças E.P.2	5 min
	Lixar laterais das 6 peças E.P.1, 9 peças EP2 e das tábuas de fechamento F.	8 min
Tempo total	Desdobro, marcação e pré-furação, lixamento para três painéis	58:15 min
PAINEL CUMARU		
Etapa 4A <i>Montar o quadro (ossatura) do Painei Cumaru</i>	Colocar peças E.P.1 e E.P.2 em esquadro e prender com sargento	24 min
	Fazer pré-furação do furo de rosca nas peças E.P.2	
	Parafusar as peças E.P.1 nas peças E.P.2	
Etapa 5A <i>Fechar um lado do Painei Cumaru</i>	Colocar peça de fechamento F.C.1 no gabarito e prender com sargento	5 min
	Traçar eixos de furação na peça F.C.1 com lápis e régua	17:30 min
	Fazer pré-furação de furo de passagem na peça F.C.1	
	Parafusar a peça F.C.1 na estrutura do painel	
Etapa 6A <i>Colocar o isolante</i>	Posicionar o isolante na cavidade do painel	Não executada
Etapa 7A <i>Fechar o outro lado do painel</i>	Colocar peça de fechamento F.C.2 no gabarito e prender com sargento	6 min
	Traçar eixos de furação na peça F.C.2 com lápis e régua	11 min
	Fazer pré-furação de furo de passagem na peça F.C.2	
	Parafusar a peça F.C.2 na estrutura do painel	
Etapa 8A <i>Colar o veda-fresta</i>	Colar o veda-fresta	1 min
Tempo total	Confecção do Painei Cumaru	64:30 min

PAINEL PINUS		
Etapa 4b <i>Montar o quadro (ossatura) do Painei Pinus</i>	Colocar peças E.P.1 e E.P.2 em esquadro e prender com sargento	12 min
	Fazer pré-furação do furo de rosca nas peças E.P.2	
	Parafusar as peças E.P.1 nas peças E.P.2	
Etapa 5b <i>Fechar um lado do Painei Pinus</i>	Colocar peça de fechamento F.Pi.1 no gabarito e prender com sargento	7 min
	Traçar eixos de furação na peça F.Pi.1 com lápis e régua	
	Fazer pré-furação de furo de passagem na peça F.Pi.1	
	Parafusar a peça F.Pi.1 na estrutura do painel	
Etapa 6b <i>Colocar o isolante</i>	Posicionar o isolante na cavidade do painel	10 seg
Etapa 7b <i>Fechar o outro lado do painel</i>	Colocar peça de fechamento F.Pi.2 no gabarito e prender com sargento	10 min
	Traçar eixos de furação na peça F.Pi.2 com lápis e régua	
	Fazer pré-furação de furo de passagem na peça F.Pi.2	
	Parafusar a peça F.Pi.2 na estrutura do painel	
Etapa 8b <i>Colar o veda-fresta</i>	Colar o veda-fresta	1 min
Tempo total	Confecção do Painei Pinus	30:10 min
PAINEL EUCALIPTO		
Etapas 04c a 08c	Nesta execução utilizamos uma tábua de eucalipto encanoada para o fechamento de um dos lados (ver Figura 94a). A rigor esta deveria ser descartada, porém não havia outra tábua para substituição em tempo. Para que o centro da peça não ficasse embarrigada invertemos a posição que mostra a Figura 94b e colocamos o topo do arco para baixo. Devido a este fato, consumimos muito tempo tentando prender a tábua encanoada na ossatura. Neste processo, infelizmente perdemos o controle do registro de tempo de cada etapa. Contudo pudemos verificar o tempo total de execução.	
Tempo total	Confecção do Painei Eucalipto	2h:30min

Fonte: elaboração própria.

Figura 95: (A) Encanoamento da tábua de Eucalipto / (B) Tábua encanoada presa com sargento
Fonte: elaboração própria.

Após a execução dos painéis foi feita pesagem dos mesmos no laboratório de construção civil do IAU-USP São Carlos. A pesagem pretendia confrontar o peso do painel executado com o peso calculado na planilha do projeto, porém sem ter certeza da espécie de madeira utilizada não foi possível fazer tal confronto. Contudo, levantar este dado é importante para ter a comparação entre as diferentes espécies, e em uma futura pesagem podemos verificar a alteração de peso em função do ganho ou perda de umidade. A pesagem dos painéis mostrou que alcançamos o peso desejado, e o painel mais pesado não ultrapassou de 18Kg.

O painel Cumaru pesou 17,562 Kg, o Painel Eucalipto pesou 17,365Kg, e o Painel Pinus pesou 13,115Kg, todos ainda sem o isolante. Nas tabelas de caracterização que elaboramos para os painéis os pesos eram diferentes mas ainda estavam dentro do peso desejado: Painel Cumaru 16,16kg, Painel Eucalipto, 11,49Kg,e Painel Pinus 9,21Kg.

Figura 96: Pesagem dos painéis sem o "travesseiro" de feno
Fonte: elaboração própria.

Painel de Revestimento externo

Para execução do painel de revestimento externo, cortamos as bordas das peças de Cumaru em diagonal nas laterais do sentido longitudinal, como uma pingadeira, afim de impedir acúmulo de água. Esta operação foi simples com o auxílio da serra circular: utilizando o gabarito lateral da mesma, colocamos a peça em ângulo e fizemos um corte em sentido único (Figura 97). Depois as peças foram parafusadas em uma ripa. Nesta ripa fixamos uma peça metálica fêmea (encaixe de cunha) que se encaixa na peça macho fixada no painel de vedação.

Figura 97: Painel de sacrifício
Fonte: elaboração própria.

3.2.5 Montagem

Figura 98: Ilustração do manuseio dos painéis
Fonte: elaboração própria.

Após a execução dos montantes, a montagem foi muito simples, correndo o painel pela guia do montante sem grande esforço (Figura 99). Em alguns momentos, devido a perda do prumo, o painel girava travando o deslizamento pela guia, e era preciso voltar alguns centímetros e recolocar. Porém, o baixo peso dos painéis facilitou esta operação. A dificuldade maior foi executar os montantes pois como algumas das peças apresentaram arqueamento, foi difícil encaixar os furos feitos a partir da marcação estipulada no projeto. Uma vez que os montantes estavam encaixados, foi necessário fazer um furo maior na viga de base para ter uma folga

que permitisse alterar a distância entre eixos em alguns milímetros. Isso facilitou a colocação dos painéis.

Para colocação dos painéis nos montantes a viga superior não pode estar fixada, assim os painéis vão correr em sequência, um por vez. No caso de substituição de uma peça (após a montagem e fixação da viga), esta operação deve ser feita desparafusando uma das tábuas do painel defeituoso e parafusando uma tabua no novo painel.

Figura 99: Produção dos montantes e montagem
Fonte: elaboração própria.

Figura 100: Protótipo concluído 1
Fonte: elaboração própria.

3.2.6 Análise da primeira produção e alterações

Como previsto na metodologia de pesquisa, após a realização do primeiro ensaio de produção do painel fizemos uma análise do projeto em relação à produção e da produção em si, para então voltarmos à etapa de projeto e executar um segundo ensaio de produção.

Figura 101: Esquema de etapas da pesquisa
Fonte: elaboração própria.

Quanto ao projeto

Apesar da solução para os montantes apresentada no estudo preliminar conseguir criar uma guia para encaixe dos painéis, além de conseguir uma guia de espera para a mudança de direção da parede, notamos que para manter a malha de 1x1m, teríamos que criar um painel de tamanho diferente ao mudarmos de direção, pois a diferença de tamanho entre os eixos x/y do montante refletiram no tamanho do painel, como mostramos na figura 54 do estudo preliminar. Consideramos que em uma situação em que teremos que produzir 500 painéis para uma casa onde uma parcela dos painéis tem 2cm de diferença poderíamos induzir a uma confusão que poderia ocasionar em erros na montagem dos painéis. Portanto, para a segunda produção e para o projeto final, tomamos a decisão de alterar a seção total do pilar de 145 x 105mm para 145 x 145mm nos eixos x/y. Assim, apesar de aumentar o volume de madeira dos montantes e diminuirmos o tamanho do painel de 950mm para 910mm, conseguimos fixar apenas um tamanho de painel para todo sistema de vedação vertical até encontrar o sistema de cobertura. As alterações no montante são apresentadas nas figuras 102 e 103.

Alteramos também a seção da ossatura dos painéis de 45 x 50mm para 50 x 50mm para evitar confusão na execução do painel.

Alteramos o tipo de parafuso utilizado no pilar onde tem a mudança de direção, pois utilizar barra roscada neste caso faria com que tivéssemos que escarear inúmeros pilares para acomodar a porca dentro do mesmo para permitir a passagem do painel. Então alteramos a barra roscada para um parafuso com cabeça chata.

Outra alteração no projeto e na produção foi relativa a fixação do painel de revestimento, que passou a ser parafusado diretamente no painel e não encaixado nas peças metálicas da

primeira produção. As peças metálicas criavam um jogo no painel, dificultavam a fixação em nível e não funcionavam bem com o propósito ao qual foram pensadas, que seria para facilitar a retirada dos painéis no caso de substituição. Notamos na prática que parafusar é bem mais fácil tanto para a fixação quanto para a retirada dos painéis para uma eventual substituição. Portanto aumentamos o tamanho para 600x990mm, e com isso fizemos a instalação de um painel de revestimento para cada dois painéis de vedação, desta vez fixados com parafuso tornando a etapa e substituição bem mais fácil. As alterações do painel de revestimento são apresentadas nas figuras 104 e 105.

Fonte: elaboração própria.

Fonte: elaboração própria.

Quanto a matéria prima

Observamos durante o processo de aquisição das madeiras de reflorestamento (Pinus e Eucalipto) é que o produto disponível não é fornecido seco, por exemplo, para comprar a tábua de Pinus seca o prazo seria de 40 dias segundo o vendedor. Ao perguntar se a madeira tinha certificação a resposta foi de que não se sabia o que era certificação e que fui a primeira pessoa a perguntar sobre isso, mostrando por um lado a falta de preparo do vendedor em relação ao produto vendido e da cadeia produtiva do produto, e por outro a desinformação do

público consumidor. Outro ponto importante que podemos notar a partir desta informação é a falta de preocupação em vender madeira de reflorestamento seca para o consumidor, assumindo como padrão o comércio de madeira úmida.

Utilizar peças pequenas foi um ponto positivo durante a produção, pois possibilitou o transporte além de facilitar o manuseio das peças na execução e na montagem dos painéis prontos. O ponto negativo neste caso é que como as peças compradas em loja vem com água livre, sua evaporação e retração da madeira aconteceram durante a produção deformando as peças. As madeiras de reflorestamento (Pinus e Eucalipto) adquiridas vieram com todos os defeitos que podemos detectar a olho nu. Estes defeitos refletiram no painel final, portanto, para a segunda produção decidimos comprar a madeira em seção bruta para deixar secando pelo menos seis meses antes de desengrossar e cortar.

Quanto à execução do painel

Quanto as etapas de pré-fabricação, as etapas 1 a 3 foram muito simples porém lentas de executar demorando em torno de 1 hora para preparar as peças dos 3 painéis. A etapa 2 tomou 35 minutos do tempo, e foi eliminada com a construção da mesa de pré-fabricação, que além de eliminar a etapa eliminou os transportes entre uma etapa e outra.

Fizemos a pré-furação do furo de passagem do parafuso como previsto em projeto, mas quanto à pré-furação do furo de rosca, podemos ressaltar que foi feito apenas em uma das ossaturas pois a madeira estava tão fácil de parafusar que não foi necessário fazer a pré-furação nas outras para que o parafuso entrasse sem grande resistência. Vale destacar que os parafusos que foram colocados no furo de rosca não ficaram tão firmes quanto os outros em que não fizemos.

Na primeira execução, a etapa 04 (onde colocamos peças E.P.1 e E.P.2 em esquadro com o sargento) foi um pouco demorada (24 minutos), pois a falta de um gabarito para travar as peças em esquadro e a falta de esquadro da seção das peças demandou tempo para o processo.

A etapa 05 (fechar o painel) foi muito simples de executar nas tábuas que não apresentaram encanoamento. Para facilitar o esquadrejamento prendemos uma peça de madeira na mesa com a mesma seção da ossatura. Assim foi possível encostar a ossatura nesta guia para então prender a tábua de fechamento com sargento em cima da ossatura, traçar os eixos estipulados no projeto com um lápis, e depois furar com furadeira de mão. Esta guia facilitou bastante a etapa de prender o fechamento de um dos lados, porém o gabarito fixado na mesa para o fechamento do primeiro lado não serviu de gabarito para o outro lado. Como comentamos anteriormente, a primeira tábua fixada cria uma diferença de altura quando invertemos o lado. Portanto, foi necessário fazer outro gabarito para o outro lado considerando

os 2 cm da primeira tábua fixada, mas este apresentou uma certa dificuldade a medida que era preciso soltar e remontar na execução de cada painel, indicando a necessidade de se dispor de dois gabaritos fixos para a execução.

Na segunda execução melhoramos o gabarito. Acrescentamos uma pequena peça de compensado na guia da ossatura já colocada na primeira execução. Esta peça serviu de guia para a tábua de fechamento. Além desta peça, instalamos uma outra guia perpendicular à primeira para estabelecer um esquadro mais preciso. O que pudemos perceber é que a colocação da nova peça no primeiro gabarito (guia para tábua de fechamento), e a colocação do segundo gabarito (perpendicular ao primeiro) fizeram com que o tempo de produção caísse de 64:30 min no primeiro painel para 30:10 min no segundo painel.

O processo de montagem da etapa 4 até a etapa 7 sugeriram o projeto para a mesa de pré-fabricação, que tenha dois gabaritos: um para por no esquadro e parafusar a ossatura e a primeira tábua na ossatura, e outro para parafusar a outra tábua de fechamento.

A mesa de pré-fabricação se mostrou um item importante para a produção dos painéis no caso de autoconstrução. Antes da primeira execução tínhamos como pressuposto que utilizar uma bancada simples de marcenaria com auxílio dos sargentos seria suficiente para a produção. De fato, foi viável produzir os painéis, porém a cada etapa era preciso prender e desprender os sargentos, e no caso de involuntariamente esbarrar no sargento o gabarito saía do esquadro e era preciso retirar e recolocar. Portanto, foi notável que uma mesa preparada especificamente para a produção dos painéis aumentaria o conforto do trabalho, a precisão, o esquadrejamento, e reduziria o tempo de execução. Desta forma, como comentamos na análise acima, durante a primeira execução levantamos dados que serviram de base para entender como projetar a mesa de pré-fabricação.

Quanto ao comportamento dos painéis

Três meses após a execução dos painéis, o protótipo executado não manteve as características de quando foi executado, isso devido à retração da madeira à medida em que ela foi secando ao longo dos meses. O que pudemos observar é que as tábuas de Pinus tiveram uma retração de 10mm no sentido longitudinal enquanto as demais tábuas não apresentaram retração (ver Figura 106). As peças de eucalipto que compõem a estrutura também tiveram retração, apresentando um vão de 5mm entre o pilar e a viga. No painel Cumaru, onde fizemos o furo de rosca, o parafuso foi empurrado para fora (Figura 106).

Após um ano desmontamos os painéis da primeira produção para utilizá-los na segunda produção. Ao desparafusar as tábuas, alguns parafusos tinham ferrugem e quebraram no processo, a tábua de Cumaru permaneceu sem alterações, já as tábuas de Pinus e Eucalipto apresentaram uma diminuição de 15mm na largura e 10mm no comprimento. Ao desparafusar

as duas encanoaram. Ao abrir os painéis, as câmaras internas se encontravam em bom estado, sem a presença de fungos ou insetos (Figura 107).

Figura 106: Comportamento Protótipo 1 após três meses
Fonte: elaboração própria.

Figura 107: Comportamento Protótipo 1 após um ano
Fonte: elaboração própria.

3.3 A segunda produção - Protótipo 2

Como foi exposto na análise da primeira produção no item 3.2.6, alteramos a seção dos montantes, passando de 105 x 145mm para 145 x 145mm. Alteramos também a forma de fixação do painel de revestimento, de encaixe de cunha metálico por parafusos, e aumentamos de 300mm para 600mm a sua altura, assim cada painel de revestimento cobre dois painéis de vedação.

Legenda Montantes (M)

M1 = peças de 45x145mm

M2 = peças de 45x50mm.

Planta do montante

Legenda :

Ossatura do painel (OP)

OP1 = caibro de 50 x 50 x 845mm;

OP2 = caibro de 50 x 50 x 200mm;

Tábuas de fechamento (TF)

TF = tábua de 20 x 300 x 910mm.

planta - PAINEL

corte longitudinal - PAINEL

corte transversal - PAINEL

Figura 108: Projeto executivo do painel **Protótipo 2**. Correspondente a tabela 12.

Fonte: elaboração própria.

Tabela 12: Caracterização do Paine Peroba d'água

Painel Peroba (30 x 91cm)	* peso a 15% de umidade										
	** consideramos sim para descarte de madeira sem tratamento e sem cola.										
	Espécie	kg/m ³	peça	dimensões mm			volume m ³	unidades	peso (Kg)	descarte**	furos
MADEIRA				L	A	C					
OSSATURA PAINEL	Eucalipto Saligna*	690	OP1	50	50	850	0,0021	2	2,898	sim	0
			OP2	50	50	200	0,0005	3	1,035	sim	0
TÁBUA FECHAMENTO	Peroba d'água*	660	TF	20	300	910	0,00546	2	7,2072	sim	12
SUBTOTAL MADEIRA DO PAINEL							0,00806	7	11,1402		12

Fonte: elaboração própria.

Quanto a produção, experimentamos executar o que seria o canto de uma construção até a altura da cinta de amarração. Nesta execução, fizemos o painel em escala real com as alterações feitas no projeto já mencionadas, utilizando a mesa de pré-fabricação. Pudemos também executar alguns dos detalhes projetados na situação em que temos a mudança de direção dos painéis com o objetivo de verificar a estabilidade do painel, assim como a viabilidade de se construir o sistema na mesa de pré-fabricação.

Figura 109: Canto projetado, **Protótipo 2**
Fonte: elaboração própria.

3.3.1 Matéria prima

Em função da baixa qualidade da madeira encontrada na primeira produção, principalmente no que diz respeito a madeira sem secagem e falta de padronização, compramos a madeira em sua seção bruta, internalizando em nossa própria produção a etapa de secagem, desgrosso, lixamento e corte nas dimensões desejadas.

Incorporar estas etapas no nosso processo nos trouxe reflexões quanto a importância da qualidade da madeira fornecida no Brasil. Afinal, é fato que no cotidiano da construção civil é muito difícil um construtor absorver estas etapas em um cenário real. Além de significar um trabalho mais pesado – já que as peças estão em dimensões maiores e, portanto, são mais pesadas –, o construtor teria que dispor de espaço para secagem, de uma desgrosseadeira, serra circular de mesa, esquadrejadeira de mesa – ou seja, equipamentos que vão encarecendo e tornando mais difícil a produção que propomos, podendo até mesmo levar o

construtor a desanimar e escolher outro material construtivo. Por outro lado, se a madeira fornecida já estivesse seca e com seção padronizada e no esquadro, ele poderia ter um nível de qualidade bem mais alto sem tanto desgaste.

O lote de madeira da segunda produção foi adquirida pela USP²⁶. Isso se tornou um dado interessante para a pesquisa, pois tivemos que escolher as madeiras disponíveis na loja. Para a tábua de fechamento, as únicas madeiras disponíveis eram o Pinus (normalmente destinado a caixaria de vigas de concreto) e a “Peroba d’água” assim chamada pela vendedora. Para os montantes e ossatura mantivemos o eucalipto por ser mais barato do que madeiras nativas.

Figura 110: Lote de madeira para a segunda produção entabicado para secagem
Fonte: elaboração própria.

Figura 111: Defeitos na madeira, nós e rachaduras
Fonte: elaboração própria.

As peças fornecidas para este protótipo apresentaram quase todos os defeitos elencados por SOUZA nas figuras 71 e 72 com exceção das tábuas, que estavam em bom estado, porém

²⁶ A USP disponibilizou através da Escola de Engenharia de São Carlos, uma verba para produção técnica em um total de R\$ 1.366,78, e nos forneceu os materiais para a segunda produção.

com larguras despadronizadas. Portanto, assim como as madeiras do Protótipo 1, as madeiras para o Protótipo 2 apresentaram uma péssima qualidade: quase todas as peças trincaram, ou tinham nós, já chegaram com arqueamento e sem esquadro na seção e torção (Figura 111). Como comentamos antes, tabicamos o lote e deixamos secando durante seis meses no galpão do grupo HABIS (Figura 110).

3.3.2 Mesa de pré-fabricação

Como já comentamos, a mesa de pré-fabricação com gabarito é fundamental para melhorar o processo de produção dos painéis. Ela pode melhorar a qualidade do trabalho e do produto final. Na primeira produção, os gabaritos que utilizamos não eram fixos, portanto não ofereceu a possibilidade de replicar a produção várias vezes, mostrando a necessidade de construir uma mesa com gabarito fixo.

Para viabilizar a construção de uma mesa para utilizar dentro do canteiro de obras, adotamos as premissas de que ela não deveria tomar muito espaço e nem deveria ter valor elevado. Deveria ter dois gabaritos e um espaço para apoio de ferramentas. O primeiro gabarito serve para auxiliar a colocação das peças da ossatura em esquadro para parafusar a primeira tábua de fechamento. O segundo gabarito serve para auxiliar nas etapas de fixação da segunda tábua de fechamento, também garantindo o esquadro. Desta forma, fizemos um primeiro projeto de mesa de pré-fabricação, como está apresentado abaixo. No primeiro desenho da mesa definimos que os pés seriam de madeira de alta densidade, no caso o Cumaru, e as demais peças seriam feitas de compensado naval de 30mm. Assim, comprando apenas quatro peças de 70x70x900mm e uma placa de compensado de 1600x2200x30mm e 5 barras roscadas de 3/8" orçamos toda a mesa a um preço de R\$ 556,90. Importante ressaltar que neste caso adotamos o compensado por ter uma precisão que será necessária para delimitar os gabaritos quando for feita a execução.

Tabela 13: Orçamento para a mesa de pré-fabricação
ORÇAMENTO MESA DE PRÉ-FABRICAÇÃO

ITEM	QTD	VR UNIT	TOTAL
BARRA ROSCADA - METRO - 3/8"	6	6,42	38,52
ARRUELA LISA 3/8"X15mm	110	0,0916	10,076
PORCA SEXT. 3/8"-16F	110	0,13	14,3
COMPENSADO NAVAL 1600x2200x30mm	1	346,38	346,38
PEÇA DE CUMARU 70x70x900mm	6	6.000/m ³	147,6
			556,876

Fonte: elaboração própria

Figura 113: Mesa de pré-fabricação com gabarito
Fonte: elaboração própria.

Figura 114: Calços laterais para travamento da tábua de fechamento
Fonte: elaboração própria.

O gabarito que fizemos foi simples, porém trabalhoso para garantir o nivelamento da bancada. De um lado parafusamos réguas de compensado formando uma espécie de negativo do desenho da ossatura. Do outro lado parafusamos apenas peças em esquadro para posicionar o painel e depois parafusar. Mas neste caso deixamos uma folga de 30mm para poder colocar o painel e depois travá-lo com um calço, caso contrário não seria possível retirar o painel depois de parafusá-lo (Figura 114).

3.3.3 Processamento da madeira seca

Após os seis meses programados para a secagem da madeira, tivemos que transportar a madeira para desengrossar assim atingir as dimensões desejadas no projeto. Esta etapa foi um tanto cansativa, pois as peças são pesadas para serem transportadas, além de ser necessário passar as peças mais de uma vez na desengrossadeira. Esta etapa é além de desgastante, demorada, e no caso demoramos dois dias entre transportar as madeiras até a máquina, desengrossar e cortar. Após esta etapa ainda foi preciso lixar as peças pois após o acabamento final ainda permaneciam farpas e irregularidades. Em algumas tábuas, a falta de regularidade das seções entre começo meio e fim fazia com que a desengrossadeira não chegasse a alcançar o meio da tábua deixando a face ainda com aspecto bruto mesmo após o final do processo. Na maioria dos caibros, a seção estava com o esquadro muito ruim, e para chegar ao esquadro foi preciso desengrossar até passar da seção estipulada em projeto, deixando a peça menor do que o que o desejado, o que refletiu no produto final, criando frestas em alguns pontos entre a tábua de fechamento e a ossatura.

Neste aspecto, incorporar estas etapas na produção dentro do canteiro demanda um espaço maior na obra e um planejamento de meses para secagem, e depois da secagem ainda vai demandar um maquinário maior do que as ferramentas manuais que previmos. Em uma obra isolada isso poderá ser um inconveniente, porém em uma comunidade organizada, para uma produção maior, pode ser viável.

Como vemos, esta etapa levantou vários problemas, que torna mais evidente a urgência de se produzir e vender madeira com qualidade no Brasil, no que diz respeito a popularização da utilização da madeira na construção, pois quanto melhor for a qualidade da madeira fornecida, e quanto menos etapas de preparação da matéria prima o construtor tiver que incorporar, mais próximo a madeira estará de uma construção convencional, em outras palavras, quanto menos dificuldades o construtor encontrar para utilizar a madeira na construção, menos resistência a madeira enquanto matéria prima vai encontrar para ser utilizada nas construções.

Figura 115: Desengrosso, destopo e lixamento das peças após a secagem
Fonte: elaboração própria.

3.3.4 Execução dos painéis

As dificuldades encontradas para executar os painéis foram em função da qualidade da madeira. Algumas tábuas retraíram até 28,5cm de largura, e algumas peças da ossatura não tinham esquadro na seção. Isso dificultou um pouco no momento de posicionar a tábua no esquadro pré-estabelecido na mesa. Contudo, montar os painéis no gabarito da mesa foi muito simples e rápido. Na produção do primeiro painel, percebemos que não era preciso parafusar as peças da ossatura entre si, uma vez que a tábua de fechamento poderia fazer a união das peças. Isso tornou ainda mais fácil e rápida a produção. Assim, no primeiro gabarito a etapa consistiu em posicionar as peças da ossatura para então posicionar a tábua de fechamento sobre elas e parafusá-las. Esta etapa levou uma média de 6 minutos para cada painel, entre posicionar, furar, posicionar os parafusos e parafusar.

Figura 116: Produção do painel no primeiro gabarito
Fonte: elaboração própria.

Depois desta etapa, o procedimento foi de tirar o painel do primeiro gabarito, passar para o segundo gabarito, posicionar os calços laterais para travamento, posicionar a segunda tábua de fechamento, pré-furar, posicionar os parafusos e parafusar. Esta etapa foi um pouco mais demorada em função do posicionamento dos calços e da diferença de largura de algumas tábuas em relação ao projeto, tomando em média 8 minutos por painel. Como algumas tábuas tinham uma variação de largura entre 30cm e 28,5cm, em alguns casos, além dos calços laterais foi preciso posicionar uma cunha para travar a tábua como mostra a terceira imagem da sequência da figura 117. Esta diferença é indesejável pois pode criar frestas nos pontos de encontro dos painéis.

Após finalizar a produção pesamos os painéis e constatamos uma variação entre 13,25 Kg a 14,10 Kg.

Figura 117: Produção do painel no segundo gabarito
Fonte: elaboração própria.

3.3.5 Painel de revestimento externo

A produção do painel de revestimento foi feita em uma segunda mesa. A etapa mais trabalhosa desta produção foi cortar as tábuas em diagonal para garantir que a água não pare ou corra para dentro do painel. Como mostra a sequência da figura 119, pregamos pequenas peças de madeira na mesa para criar o gabarito de espaçamento entre os montantes que

seguram as tábuas (Figura 119 b). Depois colocamos algumas peças de madeira para estabelecer o espaçamento entre as tábuas (Figura 119 d) e parafusamos tudo.

Figura 118: Projeto do painel de revestimento para fachadas externas na segunda produção.
Fonte: elaboração própria.

Figura 119: Produção do painel de revestimento externo a) execução de chanfro nas régua; b) fixação dos gabaritos da mesa; c) posicionamento das régua; d) espaçamento das régua.
Fonte: elaboração própria.

3.3.6 Montagem

Os montantes em cruz

A parte mais difícil da segunda produção foi executar os montantes em escala real em função da furação das seções maiores, do peso e comprimento. Nesta etapa é preciso que uma pessoa segure os montantes (Figura 120 a) enquanto uma segunda pessoa trava o prumo. Depois é preciso furar a viga de base e passar o parafuso para travamento. Neste caso onde executamos o canto, foi preciso ainda furar o topo da viga de base que muda de direção, assim como na lateral, onde fizemos um furo com broca chata até o meio da viga para receber a barra roscada e inserir a porca para travamento.

Quanto ao travamento dos montantes, previmos em projeto que para cada barra roscada, iríamos escarear o montante para embutir a porca, porém, como comentamos, seria um trabalho interminável escarear todos os furos de uma construção. Para tentar driblar este desgaste, colocamos um parafuso francês nas laterais em que correm painéis. Mesmo assim, avaliamos que é preciso melhorar esta parte do projeto, pois além deste tipo de parafuso ser caro, a saliência que sobra para fora, apesar de ser mínima pode atrapalhar o painel de correr (o que não aconteceu no nosso caso). Neste caso seria interessante termos uma quantidade maior de parafusos com tamanho menor, de cabeça chata que ficassem totalmente rentes ao montante.

Figura 120: a) Posicionamento dos montantes, b) e c) execução do travamento do canto nas vigas de base

Fonte: elaboração própria.

Após a etapa mais complicada de fixar os montantes na base, e que se repete na viga “cinta”, a montagem dos painéis foi simples. Uma pessoa passava o painel de aproximadamente 13Kg para a outra pessoa posicionada na altura da viga superior. Depois de encaixar o painel no topo do montante este desce por gravidade correndo pela guia.

Um fator negativo constatado na etapa de montagem foi a dificuldade de correr alguns painéis pela guia do pilar. Percebemos que isso foi consequência da fase de desengrosso. A seção das peças desengrossadas ficavam mais finas nas pontas do que no meio da peça, assim ao colocar os painéis no topo do pilar eles começavam a descer facilmente, mas no meio do pilar eles passavam com dificuldade a ponto de termos necessidade de martelar em alguns casos.

Como já comentamos a respeito dos painéis de sacrifício, a instalação foi bem mais fácil parafusando os painéis diretamente nos painéis de vedação do que a instalação feita na primeira produção, onde instalamos a peça de encaixe de cunha metálica. Para deixar os painéis de vedação aparentes do lado externo, fizemos apenas dois painéis de revestimento externo de cada lado, mas em uma situação real estes deverão ser instalados até a cobertura como mostra o anteprojeto.

Figura 121:: Posicionamento dos painéis nos montantes
Fonte: elaboração própria.

Figura 122: Fixação da viga superior : “cinta”
Fonte: elaboração própria.

Figura 123: Fixação da diagonal
Fonte: elaboração própria.

Figura 124: Fixação dos painéis de revestimento
Fonte: elaboração própria.

Figura 125: Paineis concluídos
Fonte: elaboração própria.

3.4 Custos

Em esquema, a planilha de custo de cada painel executado na primeira produção desta pesquisa (incluindo as perdas) é demonstrada abaixo. Para calcular o preço por metro quadrado do sistema executado, calculamos o preço de um sistema composto pelos painéis, pelos montantes, vigas de base e de topo, e pelo painel de revestimento externo – no caso das paredes externas. O preço do montante foi calculado levando em conta que cada montante vai servir para dois painéis, portanto consideramos apenas um montante para o cálculo.

3.4.1 Custos da primeira produção – Protótipo 1

Na tabela 14 podemos observar que a variação de preço se dá pela alteração nas espécies que experimentamos utilizar nas tábuas de fechamento. Podemos observar que o painel com tábua de Cumaru tem o dobro do preço do painel com tábua de Pinus. Os preços relativos ao material do protótipo 1 foram levantados no ano de 2018.

Tabela 14: Custo de materiais para cada painel do Protótipo 1 (300x950mm)

Painel cumaru		Painel eucalipto		Painel pinus	
Unidade/ componente	Preço R\$	Unidade/ componente	Preço R\$	Unidade/ componente	Preço R\$
2 peças E.P.1	10,00	2 peças E.P.1	10,00	2 peças E.P.1	10,00
3 peças E.P.2	5,00	3 peças E.P.2	5,00	3 peças E.P.2	5,00
12 parafusos 45x60mm	1,32	12 parafusos 45x60mm	1,32	12 parafusos 45x60mm	1,32
2 tábuas F.C.	54,00	2 peças F.E.	30,34	2 peças F.E.	14,02
26 parafusos 35x40mm	2,86	26 parafusos 35x40mm	2,86	26 parafusos 35x40mm	2,86
1,50mL veda- fresta	3,00	1,50mL veda- fresta	3,00	1,50mL veda- fresta	3,00
0,50m²bidim	3,00	0,50 m² bidim	3,00	0,50 m² bidim	3,00
200 g feno	0,40	100 g feno	0,40	100 g feno	0,40
200 g cal	0,40	100 g cal	0,40	100 g cal	0,40
TOTAL	79,98		56,32		40,00

Fonte: elaboração própria.

Tabela 15: Custo de cada painel de revestimento do Protótipo 1**1 un Painel de revestimento externo 300mm x 1000mm**

Componente	Unidade	Preço R\$
Ripa de cumaru 30x20x300mm	2	2,16
Tábua de Cumaru 10x90x1000mm	3	16,2
Encaixe de Cunha	2	3,5
parafuso 35 x 40mm	12	1,32
Total		23,18

Fonte: elaboração própria.

Tabela 16: Custo do sistema por metro linear sem mão de obra, por m² e por espécie.(Protótipo 1)

PREÇO R\$ / metro linear (1m x 2,70m)		PREÇO R\$ / 1m²		
		* parede interna = montante +vigas de base e de topo + painéis de vedação.		
		** parede externa = montante + vigas de base e de topo + painéis de vedação + painéis de sacrifício.		
Componente	R\$ / módulo (2,7m²)	R\$ / m²	R\$ / m² parede interna*	R\$ / m² parede externa**
Montante + viga de base e de topo (cinta)	76,08	28,17		
Painel de revestimento	185,44	68,68		
Painel Pinus	320,00	118,52	146,70	215,38
Painel Eucalipto	450,56	166,87	195,05	263,73
Painel Cumaru	639,84	236,98	265,16	333,84

Fonte: elaboração própria.

Na tabela 16 verificamos o preço por metro linear de parede, onde consideramos um montante de 2,70m de altura, 8 painéis de vedação (300x950mm) sobrepostos mais o painel de revestimento para então chegarmos ao preço por metro quadrado. Podemos perceber que quando acrescentamos o preço do painel de revestimento externo feito de Cumaru ao preço do painel de Pinus, o preço do metro quadrado de painel de vedação externa aumenta expressivamente, subindo de R\$146,70 para R\$215,38.

Com esta análise fica claro que, para a escolha da espécie para a construção do protótipo, o construtor terá de pesar que ao escolher uma madeira de densidade alta terá um custo bem mais alto porém terá uma durabilidade maior, tanto no painel de vedação quanto no painel de revestimento externo. Como o painel de revestimento externo é concebido para receber os impactos da ação do tempo e ter fácil substituição, poderá ser feito com uma madeira de menor densidade para baratear o preço, desde que se tenha consciência que a durabilidade será menor em relação a madeira de alta densidade.

3.4.2 Custos da segunda produção - Protótipo 2²⁷

Na segunda produção fizemos uma nova estimativa de preço em função das alterações de fornecedor, espécie para tábua de fechamento, dimensões dos pilares e dos painéis. Outra alteração que fizemos foi na espessura e quantidade de veda frestas. Para aumentar a vedação optamos em experimentar um veda fresta com espessura de 5mm para preencher o espaço eventualmente criado entre as ossaturas em função da falta de esquadro. Colamos na face superior e inferior da ossatura, e na lateral das tábuas aumentando de 1,50m lineares para 2,50m lineares de veda fresta. Como resultado desta decisão o veda fresta com a espessura maior fez o painel deslizar com um pouco mais de atrito e criou uma certa pressão entre painel e montante. Interpretamos esta observação como um ponto positivo, porém o preço do veda fresta de 5mm é mais alto, e como aumentamos a quantidade a ser colada no painel, o preço teve um aumento expressivo por unidade, tornando necessário rever este ponto, buscando outro material ou diminuindo a quantidade e espessura novamente, vejamos.

²⁷ O cálculo dos custos da segunda produção do painel foi auxiliado por Vinícius da Costa Sanchez, estudante de graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo que desenvolveu uma pesquisa de Iniciação Científica sob orientação da profa. Akemi Ino junto ao grupo HABIS.

Tabela 17: Custo de materiais para cada painel do Protótipo 2 (300x910mm)

Painel Peroba d'água	
Unidade/ componente	Preço R\$
Ossatura - 2 peças E.P.1(50x50x850mm)	5,70
Ossatura - 3 peças E.P.2 (50x50x200mm)	2,00
Fechamento - 2 tábuas Peroba d'água(20x300x910mm)	44,18
32 parafusos 35x40mm	3,52
2,50mL veda-fresta e=5mm	21,50
0,50m²bidim	3,00
200 g feno	0,40
200 g cal	0,40
TOTAL	80,70

Fonte: elaboração própria.

Tabela 18: Custo de cada painel de revestimento do Protótipo 2**1 un Painel de revestimento externo 600mm x 1000mm**

Componente	Unidade	Preço R\$
Ripa de Eucalipto 30x20x600mm	2	4,06
Tábua de Cumaru 10x90x1000mm	6	77,4
parafuso 35 x 40mm	18	1,98
parafuso 60 x 100mm	2	0,92
Total		84,36

Fonte: elaboração própria.

Tabela 19: Custo do sistema por metro linear, por m² do Protótipo 2

PREÇO R\$ / módulo de parede (1m x 2,70m)		PREÇO R\$ / 1m²		
		* parede interna = montante +vigas de base e de topo + painéis de vedação.		
		** parede externa = montante + vigas de base e de topo +painéis de vedação + painéis de sacrifício.		
Componente	R\$ / módulo 2,7m²	R\$ / m²	R\$ / m² parede interna*	R\$ / m² parede externa**
Montante + viga de base e de topo (cinta) (1 UNIDADE)	47,93	17,75		
Painel de revestimento (4,5 UNIDADES)	379,62	140,6		
Painel Peroba d'água (8UNIDADES)	645,60	239,11		
TOTAL	1.073,15		265,86	397,46

Fonte: elaboração própria.

Nas tabelas acima podemos perceber que o preço do painel de revestimento aumentou muito na segunda produção. Isso porque o Cumaru adquirido na primeira produção era de reaproveitamento e conseguimos um preço mais baixo. Se o painel da segunda produção fosse feito com a mesma madeira, teria um custo de R\$ 46,36 por painel. Já o Eucalipto foi mais barato na segunda produção. Outro fator que se sobressai como já comentamos é o valor do veda-fresta, que compõem em torno de 25% do preço do painel de vedação.

Figura 126: Ilustração dos painéis de vedação até o sistema de cobertura
Fonte: elaboração própria.

Podemos ver o impacto destes cálculos ao fazer uma aproximação do preço de custo de painéis para o projeto que apresentamos na figura 59 no item Anteprojeto. O projeto apresentado tem uma área de 60m². Se considerarmos apenas os painéis necessários para vedação até 2,70m²⁸ de altura são 49 painéis, sendo:

Tabela 20: Custo total de painéis de vedação para o projeto apresentado no item Anteprojeto

Módulo tipo	Unidade	Preço R\$
Painéis fachada externa cegos com h=2,70m	20	21.463,00
Painéis fachada externa caixilho com h=0,30m	5	854,05
Painéis fachada externa caixilho com h=1,50m	3	1.986,99
Painéis fachada externa caixilho com h=1,20m	2	983,04
17 módulos de painéis cegos internos com h=2,70m;	17	11.790,01
2 módulos de painéis internos na cozinha com h=0,90m;	2	322,8
Diagonais de travamento com 5x5x1,30m	18	79,32
Total		37.479,21

Fonte: elaboração própria.

²⁸ Os painéis do ensaio do Protótipo 2 foram feitos com h=2,40 até a viga de travamento (cinta), mas uma vez que os cálculos feitos para a primeira produção já estavam com 2,70m resolvemos manter esta altura para fazer a estimativa. Não estão computadas as portas no cálculo.

Portanto, se tirarmos o veda fresta deste cálculo, o custo de cada painel de vedação passaria de R\$ 80,7 para R\$ 59,2, o que faria com que a estimativa acima abaxasse o custo de R\$ 37.479,21 para R\$ 30.421,21. Se considerarmos o preço do Cumaru de aproveitamento para os painéis de revestimento, o custo total sem o veda fresta iria abaxar de R\$ 30.421,21 para R\$ 26.467,91.

Esta diferença expressiva reforça a necessidade de aprimorar o projeto quanto à dependência da utilização do veda-fresta, e que as pequenas dimensões dos elementos que compõem o protótipo podem viabilizar a utilização de madeira de rejeito, com o objetivo de abaxar o custo total da construção.

Uma interpretação possível a respeito dos custos apresentados é que a madeira é um material caro para a construção, e ao mesmo tempo a qualidade do material fornecido é ruim, o que faz com que o cronograma da construção tenha que absorver etapas de produção que podem atravancar a obra e desencorajar os construtores na etapa de decidir qual material utilizar. Desta forma é muito difícil competir em custo financeiro com a construção chamada convencional. Porém, como argumentamos no primeiro capítulo, os custos sociais e ambientais não considerados na produção da construção convencional podem inverter este preço caso sejam levados em conta. Em um país em que a maior parte da construção é feita pelos próprios moradores, pesquisar formas que demonstrem a viabilidade de uma autoconstrução, sistematizada para a pré-fabricação com madeira com qualidade, pode abrir caminho para que a madeira se popularize como um material para a construção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nestas considerações finais, pretendemos verificar os limites da aplicação do projeto e da produção de painéis de vedação vertical em madeira para a construção civil “no pé da obra” com base nos processos construtivos que realizamos ao longo da elaboração desta dissertação. Para isso, analisamos os dados coletados durante a documentação de tais processos. Nossa finalidade é apontar caminhos para aprimorar tais resultados, assim como tecer algumas considerações para futuras pesquisas.

Dessa forma, procurando elaborar algumas questões que se mostram transversais aos objetivos e as questões da pesquisa, organizamos estas considerações finais em quatro partes. Na primeira, tecemos considerações a respeito do projeto e do processo produtivo, elencando caminhos para uma possível continuidade desta pesquisa. Na sequência, apresentamos resumidamente nossas considerações a respeito de um fator determinante nos resultados desta pesquisa: a qualidade da madeira disponível no mercado para a construção civil. Por fim, apresentamos nosso posicionamento a respeito do uso de madeiras engenheiradas que, se por um lado contornaria os obstáculos até aqui observados, também acabaria por inserir novas contradições ao processo. Finalizamos esta conclusão indicando lacunas deste campo de conhecimento que poderiam ser exploradas em pesquisas futuras.

Quanto à primeira pergunta da pesquisa, encontramos alguns caminhos para conseguirmos um produto final com qualidade que seja uma alternativa ao processo industrial. Um caminho possível é a pré-fabricação no “pé do canteiro”, que pode também aumentar a autonomia do construtor em relação à indústria. Neste caso é possível reduzir o porte dos componentes construtivos desde que se faça um projeto vinculado à produção, planejando o local de pré-fabricação. Para alcançar um produto satisfatório é preciso dispor de uma madeira de qualidade, seca e com seções padronizadas. Para responder a segunda pergunta da pesquisa, elaboramos as Diretrizes para projeto e produção” no item 2.4 do segundo capítulo.

Quanto ao projeto e o processo produtivo

O painel proposto nesta pesquisa cumpriu majoritariamente com as diretrizes estabelecidas previamente (vide item 2.4, p. 80). Neste sentido, em primeiro lugar, podemos aferir que esta proposta atingiu o objetivo de viabilizar um painel pré-fabricado ao “pé da obra” (conforme diretriz 1). Além disso, em relação ao peso, pode ser considerado um painel leve, com o maior peso estipulado em projeto de 16,1kg sem o isolante (conforme diretriz 4). Também destacamos que o painel proposto utilizou mais de uma camada de madeira, sendo três camadas nos painéis internos e 5 camadas nos painéis com face externa (ou seja, que recebem a camada de revestimento) (conforme diretrizes 6 e 7). Um dos importantes desafios conquistados neste projeto foi a utilização de seções comerciais, assim como a utilização de madeiras secas e sem tratamento (conforme diretrizes 3 e 5). Da mesma forma, este projeto

previu a produção em bancada de pré-fabricação, com ferramentas básicas de marcenaria utilizando apenas cortes simples e em sentido único (conforme diretrizes 2 e 8). No processo de montagem, foi possível verificar que após a fixação das barras diagonais nas vigas “cinta” a rigidez do conjunto aumentou significativamente (conforme diretriz 10). Por fim, quanto a modulação, a utilização de vãos de 1m x 1m facilita a reformulação da planta de acordo com as necessidades do morador, além de diminuir o custo e impacto da obra na edificação no caso de uma reforma ou ampliação (conforme diretriz 11). Além disso, o fato de utilizar peças com comprimento inferior ou igual a 1 metro foi considerado bastante positivo pois aumenta a gama de espécies que podem ser utilizadas e possibilita o aproveitamento de madeira de rejeito para a execução do painel.

Há que se destacar que, ainda que o painel tenha um nível de complexidade baixo, o sistema como um todo é relativamente complexo, demandando uma sequência de montagem que deve ser seguida para sua execução – como demonstramos no item relativo ao anteprojeto. Além disso, o tipo de travamento que projetamos para a mudança de direção permite apenas os encontros em “L” e em “T”, mas não permite um encontro em “X” sem utilizar entalhes, o que não foi desenvolvido neste trabalho e deve ser observado ao projetar com a lógica deste protótipo.

Na primeira produção, presumimos que seria possível fazer o gabarito dos painéis utilizando apenas caibros fixados com sargentos em uma mesa de marcenaria, estabelecendo um gabarito de dimensões e esquadro. Porém a cada painel produzido, os sargentos se movimentavam, perdendo o gabarito. Assim sentimos a necessidade de uma mesa com gabarito fixo, motivo pelo qual construímos a mesa de pré-fabricação para a segunda produção. A mesa teve um custo de aproximadamente R\$ 550,00 e facilitou consideravelmente o processo, reduzindo significativamente o tempo e desgaste que a recolocação dos sargentos em cada painel causava. Em relação a qualidade, não houve uma melhora expressiva em função de outros fatores, sobretudo da má qualidade da madeira. Sugerimos que, no caso de produzir uma mesa como essa para a pré-fabricação de painéis numa escala maior, poderia ser interessante utilizar gabaritos com chapas metálicas – uma opção mais cara, porém, mais durável e precisa.

Os caibros que compuseram os montantes ficaram com a seção um pouco maior no meio da peça após o desengrosso, isso fez com que os painéis deslizassem com um pouco de dificuldade quando passavam pelo meio do montante, reforçando a necessidade de conseguir padronizar a seção no começo, meio e fim da peça. Mesmo absorvendo em nosso processo as etapas de secagem, a falta de esquadro da seção da madeira fornecida fez com que tivéssemos que perder boa parte da seção na desengrossadeira até colocar a peça no

esquadro. Além disso, por vezes ao sair da desengrossadeira a seção estava alguns milímetros menor do que o desejado, o que refletiu no resultado final, deixando a ossatura do painel com algumas peças menores do que outras em até 5mm.

Conforme indicado anteriormente, para o segundo protótipo optamos por utilizar os “parafusos franceses” nos montantes, em substituição às barras roscadas, que exigiam escariamento da superfície do furo para embutir a porca. Assim, consideramos que a utilização dos parafusos franceses resolveu esta questão projetual e de execução, porém são muito caros e robustos, o que sugere uma necessidade de revisão no projeto. Para a continuidade do desenvolvimento do sistema construtivo podemos manter estes parafusos maiores na viga de base, mas ao longo do montante podemos prever parafusos autoatarrachantes menores, porém em maior quantidade, intercalados e com espaçamento menor entre eles. Para isso, os detalhes seriam alterados – da forma como o fizemos nos detalhes 4 e 7, que foram revisados, e encontram-se na figura 127.

Figura 127: Detalhes 4 e 7 revisados
Fonte: elaboração própria.

Outra alteração no projeto, pode ser feita na barra de fixação do painel de revestimento externo, diminuindo de 5 cm para 3 cm, pois a distância de 3 cm garante espaço para a circulação do vento e dificulta a instalação de ninhos de bichos como ratos ou pássaros. Além disso, observamos que o painel de revestimento que se aproxima mais do solo deve ter uma altura maior, para transpassar o radier e garantir que a água não respingue para o painel de vedação, ou para a guia de base, como mostra o detalhe 7 revisado na figura 127.

Assim, para uma possível continuação desta pesquisa, sugerimos alguns temas:

- (a) Continuação e aprimoramento do projeto e da produção do protótipo proposto.

- (b) Revisão do uso do veda frestas: o veda fresta que colocamos tem um preço muito elevado que compõem uma porcentagem muito alta do custo do painel. Por ser importante para a diminuição de uma eventual passagem de vento, é necessário um aprofundamento neste tema específico para a substituição deste elemento.
- (c) Quanto a matéria prima, o Pinus foi a madeira mais barata e fácil de trabalhar. Em função de sua alta disponibilidade e preço acessível, poderia ser de grande contribuição dar continuidade a esta pesquisa com o objetivo de verificar sua viabilidade, comportamento e custo em um protótipo que lance mão apenas desta espécie na sua totalidade.
- (d) Quanto ao projeto, os montantes em cruz de 14,5 x 14,5cm posicionados na grelha de 1x1m sugerem que a estrutura formada por esses montantes pode suportar uma casa de dois andares ou mais, o que demandaria estudos mais aprofundados neste sentido.
- (e) Quanto aos painéis de revestimento externo, uma alteração possível seria posicionar as réguas no sentido vertical para facilitar o escoamento da água de chuva em uma situação semelhante às casas de tábuas e matajunta.
- (f) A pré-fabricação dos componentes pode facilitar a delimitar as fronteiras para uma análise pluridimensional do protótipo quanto às emissões de CO₂, gasto de energia e consumo de combustíveis fósseis, sugerindo uma pesquisa que aplique as ferramentas deste tipo de análise no protótipo executado.
- (g) Por fim, seria de grande valia um aprofundamento científico e experimental quanto ao desempenho deste protótipo conforme indicações da NBR 15575, ou seja: desempenho sob impacto de corpo mole nos sistemas de vedação vertical com ou sem função estrutural; impacto de corpo duro incidente no SVVIE; ações horizontais devidas ao vento; solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos sistemas de vedações internas e externas; umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel; desempenho térmico - transmitância térmica de paredes externas; desempenho acústico - níveis de ruído admitidos na habitação; índice de redução sonora ponderado, de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes; durabilidade e manutenibilidade dos sistemas de vedações verticais internas e externas;

Quanto a qualidade da madeira utilizada

Com relação a baixa qualidade da madeira para construção civil no Brasil, a etapa de verificação do lote, assim como a etapa de levantamento de custos reiterou alguns dos

entraves apontados na revisão bibliográfica pelos autores consultados. Como já foi colocado, diferentemente do concreto ou do aço, a pré-fabricação com madeira maciça não pode ser moldada, portanto a lógica da pré-fabricação deve partir de peças rígidas que se relacionam com encaixes ou ligações metálicas como parafusos, pregos e chapas. Para ter um produto final com qualidade é preciso ter uma matéria prima de qualidade, ainda mais quando trabalhamos com madeira maciça. Podemos aferir que o material fornecido nas lojas de comércio de madeira no Brasil, tendo como amostragem o material adquirido neste trabalho, é de qualidade muito baixa e apresenta quase todos tipos de defeitos quando submetidos a uma avaliação visual. Além disso, os profissionais que estão vendendo a madeira nos canais locais de comércio geralmente têm pouco conhecimento a respeito do material, dificultando a disseminação do mesmo e não assessorando os arquitetos – que, por sua vez, também não têm tradicionalmente a madeira como sua escola de arquitetura na maior parte do país. Este contexto pode dificultar a utilização da madeira na construção sem que haja uma depreciação do material ou da construção com madeira em si.

Observamos neste trabalho que o principal entrave que dificultou a produção – e que pode ser um dos principais entraves à disseminação da construção com madeira – é a falta de padronização da matéria prima fornecida ao que diz respeito aos aspectos da origem, secagem e seções. A madeira de má qualidade não chega a inviabilizar a construção, mas contribui para a falsa ideia de que construção com madeira tem baixa durabilidade. Este contexto dificulta a construção com madeira pela falta de material de qualidade, e a falta de demanda por madeira para a construção não desperta interesse dos produtores, que direcionam sua produção para o atrativo mercado de exportação de celulose, carvão ou ao mercado de base da construção civil onde se utiliza a madeira apenas na montagem de canteiros de obra, escoras e caixarias, criando um ciclo que se alimenta e dificulta a produção de madeira direcionada à uso permanente na construção.

Um exemplo disso neste trabalho foi que em um primeiro momento, assumimos que seria possível adquirir as peças já plainadas pelos próprios fornecedores, dispensando esta etapa no canteiro e, conseqüentemente reduzindo o número de etapas, dos equipamentos necessários para a execução da peça, e do espaço necessário para a unidade de produção. Mas como a madeira adquirida veio literalmente vertendo água, e teve uma retração muito grande (o que alterou ainda mais suas seções), esta conduta foi revisada após a primeira produção e incorporamos a secagem e desengrosso no nosso processo na segunda produção. Trabalhar com a madeira seca na segunda produção foi bem mais fácil, apesar das peças apresentarem muitos defeitos, como demonstramos.

Isso nos leva a concluir que, para diminuir os problemas provenientes desta falta de qualidade, uma construção com madeira deve incorporar em seu cronograma a secagem da madeira após sua aquisição e em seguida o desengrosso, uma vez que após a secagem a madeira

vai retrair e alterar suas dimensões. Este processo pode ser desencorajador para os construtores, o que reforça que a má qualidade e falta de padronização da madeira está diretamente ligada a dificuldade de popularização de seu uso na construção.

A caracterização das espécies comercializadas é uma dificuldade que se acrescenta às demais. Segundo nossa experiência nesta pesquisa, uma vez que foram definidas as espécies para realizarmos a primeira compra, a dificuldade maior foi saber qual era a espécie fornecida, pois nenhuma loja soube responder qual era a espécie devido a proximidade das características entre as variedades de Eucalipto. A informação dada foi de que a espécie era Eucalipto comum e Pinus comum.

Na loja que forneceu o Cumaru, as tábuas foram classificadas a olho nu pelo funcionário da loja, que cortou uma lasca de madeira com um canivete para ver a cor da madeira e declarar que era o “Cumaru Champagne”.

Em relação às peças de eucalipto e pinus adquiridas:

1. a certificação da madeira não foi fornecida de fato para o lote, o que nos foi fornecido foi um folheto da empresa fornecedora de madeira que utiliza certificação FSC.
2. a rigor o lote deveria ser estocado para secagem ou rejeitado, pois apresentou quase todos os tipos de defeitos citados anteriormente na classificação visual.
3. as peças compradas cumpriam a tolerância dimensional em relação as dimensões nominais indicadas por norma (NBR 12498:2017), porém o lote apresentou variação nas seções e falta de esquadro em 100% das peças, e rachaduras em 56%. Outro ponto a se considerar é que depois da evaporação da umidade presente nas peças as características de peso e dimensões acabam se alterando, o que dificulta a caracterização do produto final assim como não inspira confiabilidade na matéria prima. Isso indica que é necessário buscar outras fontes para aquisição de madeira de qualidade.

Trabalhar com peças com seção fora do esquadro é uma barreira importante e reflete diretamente na qualidade do produto final, sobretudo quando se trabalha em uma escala menor e não industrial. Colocar cada uma no esquadro iria alterar as seções a ponto de inviabilizar a execução do protótipo tal qual projetado. Contudo, as peças para ossatura do painel não ficam aparentes e não são parte da estrutura da edificação viabilizando a sua utilização para o painel neste primeiro ensaio. Além disso, o tempo hábil era curto e seria inviável adquirir novamente madeira para a produção, portanto tomamos a decisão de executar o painel com o lote já adquirido.

As análises de preço indicadas no item “custos” mostram uma estimativa de que o metro cúbico da madeira de reflorestamento custa menos da metade do preço da madeira nativa de reaproveitamento, o que torna o preço mais acessível. Porém, a má qualidade indica que é preciso averiguar se em outro canal de venda é possível encontrar madeira com baixo preço com melhor qualidade.

O cálculo de preço demonstra que o valor do metro quadrado dos painéis de Cumaru é elevado o que, se por um lado restringe o acesso a um maior número de pessoas, por outro lado acaba atribuindo maior longevidade à construção já que a qualidade da madeira é superior. Já o Pinus demonstrou um valor mais acessível, onde o metro quadrado para parede interna custou R\$ 146,70 e para parede externa (onde somamos o preço do painel de revestimento) custou R\$ 215,35.

Para os painéis de revestimento externo, a madeira de alta densidade possui maior durabilidade e em muitos casos não precisa de tratamento. Porém, seu alto preço acaba fazendo com que o custo por painel praticamente dobre. Uma vez que esta camada é concebida para absorver o impacto do tempo e ser facilmente substituída, podemos apontar a possibilidade de executá-la com madeira de baixa densidade e mais barata como o Pinus, por exemplo – o que demandaria, contudo, sua substituição numa frequência maior.

Quanto a utilização de madeira engenheirada

Como já comentamos no início deste trabalho, o uso da madeira na construção civil se integra ao debate atual sobre sustentabilidade pois se trata de um material de fonte renovável e que tem a capacidade de estocar carbono. Este dado é de fato impressionante quando comparamos com outros materiais de construção, como concreto, aço ou alumínio, os quais, além de não realizarem nenhum estoque de carbono, pelo contrário, imprimem um gasto de energia que é centenas – ou milhares – de vezes maior do que a madeira como componente construtivo. Neste sentido, é inegável que a busca pela redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera e a mitigação das mudanças climáticas deve começar, no que concerne ao setor da construção civil, pela revisão do uso destes materiais e sua eventual substituição pela madeira e outros menos impactantes, como a terra crua. Em outras palavras, é evidente a urgência da adoção de medidas efetivas de difusão do uso desse material na produção de edificações.

Shigue (2018) em seu trabalho ressalta que, para que esse movimento de substituição dos materiais ambientalmente mais impactantes se generalize nos canteiros de obras, é necessária uma mobilização do governo através da implementação de políticas de incentivo para o uso destes materiais (SHIGUE, 2018). O autor relembra que “no Brasil ainda não há

efetivamente por parte do governo nenhum plano em vigência visando reduzir as emissões nacionais [dos gases de efeito estufa” (p. 175). Poderíamos até mesmo avançar um pouco mais nesta reflexão para debater até que ponto, de fato, as políticas públicas poderiam exercer tamanha influência, haja vista os *lobbys* das grandes empresas do setor da construção civil na manutenção e maximização de seus lucros.

Acseirad (2009) debate esta questão, qual seja, a entrada do meio ambiente na esfera política e nos discursos sobre políticas urbanas. E o que este autor sustenta é que há a predominância, dentre os diferentes discursos sobre sustentabilidade, daquele que procura promover uma política ambiental cuja finalidade é garantir a manutenção da própria acumulação capitalista. Em outras palavras, a necessidade de se preservar a natureza através da redução do impacto do homem sobre o meio ambiente se justificaria pela preocupação “com as possibilidades de que algum tipo de ruptura nas fontes de aprovisionamento de insumos pusesse em risco a continuidade do próprio capital” (ACSEIRAD, 2009, p. 22).

Shigue (2018) evidencia que, de fato, a busca por soluções mais sustentáveis não é o principal fator que mobiliza o setor empresarial nos investimentos do uso da madeira na construção civil. Neste sentido, ainda que o “argumento vinculado à economia de baixo carbono e construções sustentáveis esteja entre os principais para o aumento do uso da madeira”, na prática, “esse aspecto gera pouca influência no processo de tomada de decisão, em que custo, qualidade e durabilidade se sobressaem” (SHIGUE, 2018, p. 175). Apenas complementaríamos, junto aos fatores “custo, qualidade e durabilidade”, evidentemente, a maximização dos lucros do empresário, sem o qual a busca por soluções sustentáveis não ocorreria, no contexto político e social atual. Segundo o autor, são as características industriais que têm sido mais atrativas aos protagonistas da cadeia produtiva da madeira: “elevada precisão dimensional, acabamento e controle de suas características e propriedades físicas” (SHIGUE, 2018, p. 175). Em outras palavras, é o seu distanciamento dos aspectos naturais da matéria-prima, a desvinculação entre o tamanho da árvore e as dimensões do componente construtivo final que, segundo este autor, consiste no maior atrativo para as empresas que apostam na industrialização da madeira.

Trata-se dos diversos tipos de componentes construtivos em madeira reconstituída ou “engenheirada”, um universo em plena expansão de acordo com os aperfeiçoamentos técnicos do setor. São, por exemplo, as peças anteriormente citadas, as Madeira Lameladas Colada (MLC) ou os Lamelados de Madeira Cruzada (CLT), componentes de altíssima qualidade, resistência e durabilidade. O seu processo produtivo reúne, porém, uma série de fatores que, ao final, conferem ao produto acabado um valor desproporcionalmente maior do que outros componentes de funcionalidade similar disponíveis no mercado. No atual contexto nacional, poder-se-ia dizer que as poucas empresas fornecedoras destes produtos desfrutam

de um verdadeiro oligopólio na produção destes componentes, e esta exclusividade se reflete no preço final do produto.

Historicamente, a industrialização utiliza a tecnologia para redução de custo e aumento de lucro, e neste processo dispensa o saber fazer do trabalhador artesanal. Portanto, há um certo caminho que ainda precisa ser trilhado para que a pré-fabricação de componentes via indústria colabore na difusão do uso da madeira na construção civil. Valle (2011) dá pistas para uma compreensão um pouco mais abrangente desta problemática quando indica que questões mais profundas estão em jogo:

A falta de disseminação do uso de sistemas pré-fabricados de ciclo aberto, baseada na utilização de componentes com um alto valor agregado, é hoje, mais uma questão cultural e política do que fruto de uma limitação tecnológica. Daí a questão recorrente: não se constrói porque não há soluções tecnológicas ou não há soluções tecnológicas, por isso não se constrói em larga escala? (VALLE, 2011, p. 70).

É inegável que os componentes de madeira reconstituída como compensado naval, VLP, MLC, CLT e OSB, podem proporcionar uma precisão maior para a construção, trazendo o nível de precisão para uma variação milimétrica. Afinal, estes componentes têm origem industrial, e são submetidos a um processamento e um controle de qualidade e seleção nas fábricas, fornecendo produtos que tem grande padronização. É importante deixar claro que do ponto de vista desta dissertação os produtos que utilizam madeira, sendo eles “engenheirados” ou não, podem trazer muito mais benefícios do que prejuízos na busca por uma construção que não alimente os estragos que as indústrias cimentícias e siderúrgicas causam, porém há que se colocar na balança as questões ambientais destes componentes (engenheirados) pois, ainda que tenham madeira na sua composição, contam também com diversos produtos químicos como colas e preservativos (que muitas vezes são importados), podendo liberar no meio ambiente resíduos tóxicos após o final da vida útil, além de reproduzir a lógica de expansão de mercado como argumentamos na introdução deste trabalho.

Ao escolher a matéria prima para o nosso protótipo, acabamos não recorrendo ao universo das madeiras reconstituídas pois uma de nossas principais premissas era a de torná-lo acessível ao máximo de pessoas possível. Afinal, a tecnologia da madeira “engenheirada” está disponível para uma pequena parcela da população, uma vez que sua submissão ao processo industrial acaba sendo incorporada ao preço da mesma, aumentando o nível da qualidade e das possibilidades de utilização dentro da construção civil, mas também aumentando o preço da construção. Portanto, é muito provável que se utilizássemos os componentes provenientes de madeira reconstituída a qualidade final do artefato seria superior ao que alcançamos, mas estaríamos desviando de nosso objetivo principal.

Neste trabalho, nos limitamos a explicitar que a pré-fabricação via indústria não é a única possibilidade, e que a pré-fabricação sob outros arranjos pode, também, colaborar na difusão do uso da madeira na construção civil.

Indicação para futuras pesquisas

Ao longo da realização deste trabalho verificamos uma série de lacunas neste campo do conhecimento que poderiam ser trabalhadas em novas pesquisas.

Quanto ao uso de cola e tratamento, como apontamos durante o trabalho, a madeira enquanto matéria prima pode ser descartada ou incinerada no final de sua vida útil, porém os produtos de madeira reconstituída que apresentamos no trabalho precisam de cuidados especiais para esta fase final por gerar resíduos tóxicos em função da utilização de cola e de tratamento químico, o que indica que pesquisas a respeito destes dois temas são necessárias para garantir um descarte limpo destes produtos.

Quanto ao uso ou não de espécies nativas de reflorestamento, observamos que as espécies de reflorestamento têm um custo bem menor do que as espécies nativas. Com a imensa variedade de espécies nativas associada ao tamanho do território nacional, existe uma lacuna e um grande potencial para produção de madeira nativa de reflorestamento (como a bracatinga, por exemplo), sugerindo uma pesquisa neste tema com o objetivo de aumentar a disponibilidade de madeiras nativas de qualidade para a construção a um preço mais acessível.

Quanto ao uso de um isolante térmico no interior do painel, como já citamos, priorizamos não utilizar componentes que tem alta emissão de CO₂, elevado gasto de energia primária e água, ou emissão de partículas para a atmosfera. Ao descartamos os produtos existentes no mercado para esta finalidade, quais sejam, o poliuretano expandido, o polipropileno expandido, a lã de rocha e a lã de vidro, não encontramos uma alternativa, sugerindo uma pesquisa neste tema.

Quanto ao desenvolvimento de projeto, fica claro que as diretrizes estabelecidas deram origem a um projeto – dentre muitas outras possibilidades. Contudo estas diretrizes podem levar um outro pesquisador ou arquiteto a um projeto diferente para o painel e seus desdobramentos, sugerindo uma pesquisa com desenvolvimento de projetos a partir das diretrizes estabelecidas.

BIBLIOGRAFIA

ACSELRAD, H. *A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas*. Rio de Janeiro: Lamparina. 2009.

ADRIÃO, João Mário de Arruda. *Habitação de interesse social em madeira: conjunto habitacional no bairro Pedra 90 após 14 anos de uso*. Tese (Doutorado). UFMT, Campo Grande, 2011.

ARANTES, P. F. *Arquitetura Nova – Sergio Ferro, Flávio Império e Rodrigo Lefèvre: de Artigas aos Mutirões*. São Paulo: Editora 34. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 7203 Madeira serrada e beneficiada*. 1982.

_____. *NBR 7190 Projeto de Estruturas de Madeira*. 1997.

_____. *NBR 7203 Madeira serrada e beneficiada*. 1982.

_____. *NBR 15220 Desempenho Térmico de Edificações*. 2005.

_____. *NBR 9480 Peças roliças preservadas de eucalipto para construções rurais*. 2009.

_____. *NBR 15575 Desempenho de Edificações Habitacionais*. 2013.

_____. *NBR 16143 Preservação de madeiras - sistemas de categorias de uso*. 2013.

_____. *NBR 9050 Acessibilidade e edificações, mobiliário, espaços e equipamentos*. 2015.

_____. *NBR 12498 Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para uso geral*. 2017.

BARATA, Tomás Queiroz Ferreira. *Propostas de painéis leves de madeira para vedação externa adequados ao zoneamento bioclimático brasileiro*. Tese (Doutorado). UNICAMP, Campinas, SP. 2008.

BEJA, D. I. S. *Reconstruindo Cajueiro Seco*. Dissertação (mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, São Paulo, 2009.

BERRIEL, A. *Arquitetura de Madeira: Reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos*. Tese (Doutorado). UFPR, Curitiba, 2009.

BITTENCOURT, R.M. *Concepção Arquitetônica da habitação em Madeira*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BONDUKI, N. *Os pioneiros da habitação social* – São Paulo, Editora Unesp. 2012.

- BRUNA, Paulo J. V. *Arquitetura, industrialização e desenvolvimento*, São Paulo, Perspectiva, 2013.
- CÉSAR S. F., *Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente – projeto conceitual*. Tese (Doutorado). UFSC - Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Florianópolis, 2002.
- CIB -The international council for research and innovation in building and construction- CIB.Agenda 21 on sustainable construction. Rotterdam. 1999.
- CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção – Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABTN NBR 15575/2013.
- CRUZEIRO, E. INO, A. Situação Florestal no Estado de São Paulo e potencial de infraestrutura de produção de casas de madeira no Instituto Florestal. In: VII EMBRAMEM, 12-14 de Julho/2000, São Carlos. Anais. São Carlos: EBRAMEM, 2000. CD-ROM. Seção Artigos.
- CUNHA, R. D. A.; CÉSAR, S. F. Arquitetura sustentável em madeira de Pinus e de Eucalipto. I Conferência Latino-Americana de construção sustentável, X Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente construído, 18-21 julho 2004, São Paulo.
- DELLA NOCE, L. G. *Parâmetros para projeto e controle da fabricação e montagem em canteiro de painéis de madeira*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 1996.
- DRESCH, Aline. Design Science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre, Bookman, 2015
- ESPINDOLA, L. R. *O wood frame na produção de habitação social no Brasil*. Tese (Doutorado) Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
- FERRO, Sérgio. *Arquitetura e Trabalho Livre*. São Paulo: Editora Cosac Naify. 2006.
- GALINARI, A. F. *A escolha do sistema construtivo: caracterização e análise de propostas para habitação de interesse social em madeira de plantios florestais*. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo, 2003.
- GARCIA, K. R. P. *Potencial de reducción de las emisiones de CO₂ y de la energia incorporada em la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera*. Tese (Doutorado). Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña y Universidade de São Paulo, 2014.
- GROAT, Linda; WANG, David. *Architectural Research Methods*. New Jersey, Wiley, 2013.

- HARVEY, David. *17 contradições e o fim do capitalismo*, São Paulo, Boitempo, 2016.
- INO, A. *Sistema estrutural modular em eucalipto roliço para habitação*. Tese (Doutorado). São Paulo, Universidade de São Paulo, 1991.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Madeira: uso sustentável na construção civil*. Segunda edição. São Paulo, 2009.
- KUITTINEN, M.; LUDVIG, A.; WEISS, G (Org.). *Wood in carbon efficient construction: tools, methods and applications*. Bruxelas: CEI-Bois, 2013.
- LIMA, J.F. *João Filgueiras Lima Lelé* – Lisboa, Editora Blau, 2000.
- LOPES J. M. A; CERON L. C. As origens do sistema de pré-fabricação em cerâmica vermelha no Brasil, artigo, 2010.
- MARQUES, L. *Capitalismo e colapso ambiental*. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2018.
- MARX, K. *O CAPITAL, Livro I, O processo de produção do capital*. São Paulo, Boitempo, 2016.
- OLGA, H. de S. J., FERNANDES, D. S. *Wooden Structures in Brazil: Present Situation and Perspectives*. *World Conference on Timber Engineering –WCTE*. Quebec City, Canadá, 2014
- PINTO E. M., *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- SABBATINI, F.H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- SHUMMACHER, E. F. *O negócio é ser pequeno – Um estudo de economia que leva em conta as pessoas* – Rio de Janeiro: Zahar Editores. 1977.
- SHIGUE, Erich Kazuo. *Difusão da construção em madeira no brasil: agentes, ações e produtos*. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo, 2018.
- SOUZA, R. *Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras*. São Paulo-SP: Editora Pini. 1996.
- TERNER, I.D. *Technology and Autonomy*. In TURNER, J.F.C. *Freedom to build: Dweller control of the housing process*. New York, NY: The Macmillan Company. 1972.
- TRIGO, C. C. *Pré-fabricados em argamassa armada: material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé*. Dissertação (mestrado). São Paulo, Universidade de São Paulo, 2009.

VALLE, I. M. R. *A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas: estudos de casos: os assentamentos rurais Pirituba II e Sepé Tiaraju*. - Tese (Doutorado). São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

YUBA, A. N. *Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais*. Tese (Doutorado). São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

ZERBINI, F. *Cenário da madeira FSC no Brasil 2012 – 2013*. São Paulo, SP: FSC Brasil, 2014 – Pancrom indústria Gráfica. Disponível em: - <https://br.fsc.org/preview.livro-cenario-da-madeira-fsc-no-brasil-2012-2013.a-596.pdf>, acessado em 30/08/2016.

ANEXOS

Anexo 1 –Primeiro estudo para o painel

Para fechamento lateral será utilizada prancha de madeira maciça de 20 x 400 x variável, e para a fixação da mesma será utilizada a pinadeira com pino de 30mm. Uma peça maior do que 400 cm de altura é difícil encontrar devido ao diâmetro da árvore de corte.

Para fixação da placa de fechamento superior e inferior será utilizado parafuso auto atarrachante 3,5 x 30mm

Anexo 2 –Exemplo de ficha de vistoria para as peças do lote de madeira

FICHA DE VISTORIA PEÇAS PARA O FECHAMENTO (F) DO PAINEL	Imagem da peça em perspectiva e indicando as seções 1, 2 e 3
ASPECTO GERAL	DIMENSÕES REAIS (mm)

F.C.1				
Encanoamento (mm)	não	SEÇÃO 1 extremidade1	310mm	
Rachadura (mm)	não		20mm	20mm
Comprimento (mm)	1007		300mm	
Flecha (encurvamento)	não	SEÇÃO 2 meio da peça	-	
Esquadro	não		21mm	21mm
Umidade	-		-	
Peso (kg)	6,2	SEÇÃO 3 extremidade2	311mm	
			19,5mm	20mm
			300mm	

Fonte: Elaboração do autor

Anexo 3 – Bunner feito para exposição no SESC-São Carlos na Semana nacional de ciência e tecnologia - SNCT 2019

PAINEL VERTICAL DE VEDAÇÃO PRÉ-FABRICADO EM MADEIRA.

O painel exposto foi executado no laboratório de modelos e maquetes do IAU-USP São Carlos, e no galpão de trabalho do grupo Habis (grupo de pesquisa em habitação e sustentabilidade).

A proposta da pesquisa em andamento coloca em debate a possibilidade de uma auto construção com qualidade e duradoura. Investigando de que forma a pré-fabricação artesanal dos painéis de vedação pode auxiliar a produção da moradia busca-se, através do estabelecimento de critérios de projeto vinculados à execução, propor e desenvolver um componente construtivo.

Tendo em vista a produção do painel feita dentro da obra, a concepção projetual seguiu algumas diretrizes:

- 1- Priorizar o uso de ferramentas manuais e equipamentos básicos de marcenaria.
- 2- Priorizar o emprego de seções comerciais.
- 3- Priorizar painéis leves e de pequenas dimensões.
- 4- Utilizar painéis de sacrifício nas faces externas da edificação, que tenham um processo de substituição fácil.
- 5- Utilizar bancada de pré-fabricação com gabarito
- 6- Priorizar um sistema de montagem simples para mão de obra não especializada.

Utilizando seções comerciais e tendo em vista um painel de pequenas dimensões, adotou-se a premissa de que o painel não deveria passar de 1m de comprimento. Portanto fixou-se uma grelha de 1m x 1m em planta, e em elevação adotou-se o tamanho máximo das tábuas comerciais que possuem 30cm. Assim o painel utiliza caibros com seção 5cm x 4,5cm, e tábuas de 2cm x 30cm x 1m.

O painel

A mesa de pré-fabricação

Para conseguir garantir um certo aumento de qualidade e padronização na produção dos painéis, foi concebida a mesa de pré-fabricação. Nesta mesa é colocado um gabarito para garantir o esquadramento e facilitar a produção dos painéis em um espaço reduzido dentro da obra.

Para estabilização do painel, foi proposto um montante em cruz, utilizando também seções comerciais, estes montantes são fixados a cada metro, e podem ser também os pilares de sustentação da cobertura. São compostos por dois caibros de 4,5cm x 5cm parafusados em uma viga de 10cm x 4,5cm.

Os montantes

Os painéis de sacrifício

Os painéis de sacrifício são fixados nas paredes que tem contato com o exterior da edificação, assim garantem ventilação entre eles e os painéis principais. Além disso criam um sombreamento preservando os painéis das ações do sol e umidade trazendo longevidade aos mesmos.

A partir do componente construtivo, projetamos uma residência unifamiliar utilizando a modulação pré-definida de 1mx1m.

Por ter peças com dimensões pequenas, o projeto desenvolvido evidencia a possibilidade de utilizar madeiras de rejeito ou até mesmo espécies de madeiras não utilizadas normalmente na construção, expandindo possibilidades quanto à utilização da madeira na construção civil, além de contribuir na redução do impacto ambiental e produção resíduos gerados por toda a cadeia produtiva das construções convencionais.

FICHA TÉCNICA

PPGAU-IAU-USP-(Programa de pós graduação em arquitetura e urbanismo)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Arquitetura, urbanismo e tecnologia.

LINHA DE PESQUISA: Projeto, inovação e sustentabilidade.

OBJETO: Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira

PESQUISADOR: Frederico Belotti Ghellere (mestrado)

<http://lattes.cnpq.br/22333445101496651>