

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - PósARQ

Viviane Teixeira Iwakiri

**PROJETO RACIONALIZADO DE PAINÉIS VERTICAIS PARA EDIFICAÇÕES
EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA SEMI-INDUSTRIALIZADO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ) da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Profa. Dra. Ângela do Valle

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Iwakiri, Viviane Teixeira

Projeto racionalizado de painéis verticais para edificações em madeira no sistema plataforma semi-industrializado / Viviane Teixeira Iwakiri ; orientadora, Ângela Do Valle - Florianópolis, SC, 2013.

177 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Arquitetura. 3. Sistema plataforma em madeira. 4. Vedação vertical. 5. Racionalização do projeto. I. Do Valle, Ângela. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Viviane Teixeira Iwakiri

**PROJETO RACIONALIZADO DE PAINÉIS VERTICAIS PARA EDIFICAÇÕES
EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA SEMI-INDUSTRIALIZADO**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Florianópolis, 25 de junho de 2013.

Prof. Ayrton Portilho Bueno, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Ângela do Valle, Dra.
Orientadora – ARQ/UFSC

Prof. Antonio Carlos Zani, Dr.
Avaliador Externo – ARQ/UFL

Prof.^a Poliana Dias de Moraes, Dra.
Avaliadora Externa – ECV/UFSC

Prof.^a Lisiane Ilha Librelotto, Dra.
Avaliadora Interna – ARQ/UFSC

Dedico este trabalho aos meus pais,
por todo o amor do mundo.

AGRADECIMENTOS

A meu irmão, pelo carinho e pelas orações.

A meu noivo, por ser compreensivo e me apoiar.

À professora Ângela do Valle, por todas as lições ensinadas e pela dedicação com que me orientou.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e contribuições.

Aos professores do programa, pela contribuição na minha formação de mestre.

À empresa EcosHaus, em especial ao diretor de produção Tobias Ott, por disponibilizar o material de consulta necessário e estar sempre disponível a conversar e esclarecer dúvidas.

Aos amigos do GIEM, Manuel, Fred, Aline, Thuylon, Giancarlo e Marcela.

Às grandes amigadas que fiz durante o mestrado, Adriane, Laura, Nathalia, Rúbia, Virginia, Letícia, Carolina e Catalina.

A Deus e a Nossa Senhora.

Somos o que repetidamente fazemos.
A excelência, portanto, não é um feito, mas
um hábito.

(Aristóteles)

RESUMO

A presente pesquisa tem o intuito de contribuir para o aprimoramento da racionalização construtiva enquanto meio eficaz de promover o desenvolvimento da indústria da construção civil, com enfoque no setor de construções em madeira. Tendo em vista se tratar de um tema bastante amplo, que abrange a implementação de medidas em todas as etapas da construção, este trabalho voltou-se à racionalização do projeto. Este revela dimensão estratégica para a incorporação de soluções que visem ao uso otimizado dos recursos da construção, gerando melhorias não apenas na qualidade final do produto como também no processo. A madeira, por sua vez, adapta-se bem a processos de pré-fabricação industrial e possibilita obras secas, rápidas e com pouco desperdício. No entanto, a ampliação e consolidação de seu uso enquanto material construtivo requer que se superem algumas barreiras, como a dissolução do conceito negativo ainda presente na cultura brasileira. Para isso, este trabalho busca promover a divulgação do sistema plataforma em madeira no Brasil, fornecendo subsídios à adequada e racional produção das edificações. Como objetivo geral tem-se a apresentação de recomendações que visem ao projeto racionalizado de edificações no sistema construtivo adotado, aplicando princípios da coordenação modular. A pesquisa teve duas frentes de trabalho, o projeto de painéis verticais modulares para o subsistema parede do sistema plataforma e a aplicação da proposta em um projeto real, elaborado e executado sem considerar os princípios da coordenação modular. Nos resultados, apresenta-se a análise comparativa entre os dois projetos, em termos de consumo de material e taxa de desperdício das chapas estruturais. A projeção da taxa de desperdício na execução do projeto original, sem a consideração dos princípios de coordenação modular, foi estimada em 20,96%, ao passo que com a proposta de painéis verticais o valor obtido foi de apenas 1,58%. São apresentadas também considerações acerca dos aspectos positivos que a proposta de racionalização do projeto pode agregar ao processo de produção de edificações no sistema plataforma em madeira.

Palavras-chave: Arquitetura. Sistema plataforma em madeira. Vedação vertical. Coordenação modular. Racionalização do projeto.

ABSTRACT

This research seeks to contribute to the improvement of constructive optimization as an effective way of promoting construction industry development, focusing on the wood construction sector. Once this is a rather broad topic, which demands efforts of all construction stages, this work will address the optimization of design phase. Design phase has strategic dimension for the incorporation of solutions that aim to the optimized use of construction resources, making improvements not only in the final product quality, but also in the process. Timber, in turn, is well adapted to prefabrication processes and enables dried and fast construction, with little waste. However, the expansion and consolidation of its use as a construction material requires the overcoming of some barriers, such as the dissolution of the negative concept still present in Brazilian culture. To this end, this research seeks to promote the dissemination of wood frame construction in Brazil, providing subsidies to the proper and rational production of the buildings. The general objective is to present recommendations aimed to design streamlined buildings in construction system adopted, applying principles of modular coordination. The research had two work fronts, designing modular wall panels for wood frame system and the application of the proposal in a real project, developed and constructed without regard to the principles of modular coordination. In the results, it is presented a comparative analysis between the two projects in terms of material consumption and wastage rate of structural boards. The projection of wastage rate in the original design execution, without considering modular coordination principles, was estimated at 20,96%, whereas with the proposed vertical panels the value obtained was only 1.58%. In addition, the research also presents some inputs on the positive aspects that the optimized design, proposed by the research, can add to the production process of buildings in wood frame system.

Keywords: Architecture. Light Wood frame. Wall panels. Modular coordination. Design optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Log home</i>	36
Figura 2 – Construção em sistema balão no estado de Nebraska (EUA), no ano de 1877.....	37
Figura 3 – Construção em enxaimel.....	39
Figura 4 – Packaged House System de Gropius e Wachsmann. Fotos de Jörg Zimmermann.	41
Figura 5 – Etapas de montagem de uma edificação no sistema panelizado.	41
Figura 6 – Elementos de uma construção no sistema plataforma.....	45
Figura 7 – Parede portante e plataforma de piso no sistema plataforma.	46
Figura 8 – Diferentes níveis de ancoragem e fixação das paredes estruturais.	49
Figura 9 – Dispositivos de ancoragem.....	50
Figura 10 – Configuração módulo por módulo formando a parede (à esquerda) e configuração de parede pré-fabricada no sistema panelizado (à direita).	51
Figura 11 – Solução de canto na parede composta por módulos (à esquerda) e no sistema panelizado (à direita).	52
Figura 12 – Tipos de ligações entre montantes e travessas.....	55
Figura 13 – Tipos de ancoragem: ganchos de ancoragem e parafusos chumbadores.....	55
Figura 14 – Travessa superior dupla.....	56
Figura 15 – Soluções para os encontros entre painéis de parede.	56
Figura 16 – Ossatura de parede com aberturas de porta e janela.....	57
Figura 17 – Disposição horizontal e vertical das chapas.	59
Figura 18 – Estrutura de piso.	60
Figura 19 – Elementos bloqueadores.....	61
Figura 20 - Residência típica japonesa, concebida em função da disposição de um número inteiro de tatames no piso.....	69
Figura 21 – Reticulado modular espacial de referência.	73
Figura 22 – Quadriculados modulares M, 3M e 24M.....	74
Figura 23 – Medida modular, medida nominal, junta modular e ajuste modular para blocos cerâmicos.	77
Figura 24 – Planta esquemática do pavimento térreo para produção dos painéis de parede.....	82

Figura 25 – Planta compatibilizada do pavimento térreo. Dimensões em cm, sem escala.....	83
Figura 26 – Planta compatibilizada do pavimento superior. Dimensões em cm, sem escala.....	84
Figura 27 – Detalhe montante transversal na união de dois painéis perpendiculares.	95
Figura 28 – Exemplo de novo desenho de paginação feito para o painel 03 do pavimento térreo e distribuição dos trechos utilizados em chapas inteiras.	98
Figura 29 – Planta do térreo com disposição de vigas e pilares metálicos.	103
Figura 30 - Elevações frontal e lateral direita da residência com indicação das janelas de pé-direito duplo.....	103
Figura 31 – Interior da fábrica EcosHaus: produção de painel de parede (esquerda) e maquinário de produção (direita).	106
Figura 32 – Planta do pavimento térreo, sem escala.....	107
Figura 33 – Planta do pavimento superior, sem escala.	108
Figura 34 – Exemplo de cantoneira metálica utilizada na fixação dos painéis de parede à fundação.	109
Figura 35 – Elevação de painel do pavimento superior – ossatura e paginação das chapas OSB internas.....	111
Figura 36 – Disposição de rasgos nas chapas OSB da face interna do painel para acesso à fixação no piso e entre painéis.....	112
Figura 37 – Execução do protótipo Stella-UFSC: os painéis de parede chegaram ao canteiro sem os montantes internos e as chapas de fechamento, o que implicou na disposição de um grande número de escoras.	121
Figura 38 – Esquema demonstrando vão modular e vão vedação.	125
Figura 39 – Esquema de modulação dos painéis de parede.....	126
Figura 40 – Detalhe da espessura do painel modular. Medidas em cm.	128
Figura 41 – Painéis cegos. Ossatura e chapas OSB. Medidas em cm..	130
Figura 42 – Ossatura painel-porta.	132
Figura 43 – Painéis-porta e painel porta-janela. Ossatura e chapas OSB. Medidas em cm.....	133
Figura 44 – Ossatura do painel-porta.	135
Figura 45 – Painéis-janela. Ossatura e chapas OSB. Medidas em cm. 136	

Figura 46 – Padronização no corte das chapas, levando à redução da variedade.....	138
Figura 47 – Planta do térreo com identificação dos painéis executados pela EcosHaus. Sem escala.....	140
Figura 48 – Planta do superior com identificação dos painéis executados pela EcosHaus. Sem escala.....	141
Figura 49 – (a) Ossatura; (b) Corte transversal do painel e paginação face externa de OSB; (c) Paginação face interna de OSB e (d) Paginação gesso acartonado.	142
Figura 50 – Planta do pavimento térreo com a proposta de painéis verticais modulares. Dimensões em cm, sem escala.	144
Figura 51 – Planta do pavimento superior com a proposta de painéis verticais modulares. Dimensões em cm, sem escala.	145
Figura 52 – Identificação dos painéis tipo utilizados no pavimento térreo. Sem escala.....	146
Figura 53 – Identificação dos painéis tipo utilizados no pavimento superior. Sem escala.	147
Figura 54 – Revisão da paginação das chapas OSB para o painel #01 do pavimento térreo. Dimensões em cm, sem escala.	151
Figura 55 – Aproveitamento das chapas OSB na proposta.	154
Figura 56 – Exemplo de intercambialidade na proposta de catálogo de painéis de parede.....	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espaçamentos e dimensões mínimos dos montantes das paredes externas.....	48
Tabela 2 – Espessuras mínimas para chapas OSB aplicadas a painéis de parede externos.	59
Tabela 3 – Países e a publicação de sua primeira norma de coordenação modular.....	71
Tabela 4 – Modelo de tabela para quantificação de madeira serrada no projeto original, para cada painel.	90
Tabela 5 – Modelo de tabela para quantificação de chapas estruturais e de gesso acartonado, para cada painel.....	90
Tabela 6 – Quantitativo final do consumo de material para o projeto original.....	91
Tabela 7 – Modelo de tabela para quantificação de material aplicado ao reprojeto, para cada painel-tipo.	92
Tabela 8 – Quantitativo parcial para o reprojeto.....	94
Tabela 9 – Quantitativo final do consumo de madeira serrada e de chapas OSB para o reprojeto.....	95
Tabela 10 – Tabela-síntese da comparação de consumo de material. .	96
Tabela 11 – Modelo de tabela para o cálculo da taxa de desperdício individual de chapas estruturais para o projeto original (com dados referentes ao painel T_03).	98
Tabela 12 – Classes de resistência das coníferas.	118
Tabela 13 – Dimensões das chapas OSB comercializadas pela LP.	122
Tabela 14 – Quantitativo de material e peso total de cada painel cego da proposta.	131
Tabela 15 – Quantitativo de material e peso total de cada painel-porta da proposta.	134
Tabela 16 – Quantitativo de material e peso total de cada painel-janela da proposta.	137
Tabela 17 – Tabela-síntese da comparação de consumo de material.	149
Tabela 18 – Comparação de desperdício de chapas OSB entre o projeto original e o projeto proposto.	154

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABEP: Associação Brasileira de Estudos Populacionais
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEP: Agência Europeia para a Produtividade
AF&PA: *American Forest and Paper Association Home*
AWC: *American Wood Council*
APA: *American Plywood Association*
BEN: Balanço Energético Nacional
BNH: Banco Nacional da Habitação
CBC: Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum
CBCS: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CCA: Arseniato de Cobre Cromatado
CCB: Borato de Cobre Cromatado
CCEB: Critério de Classificação Econômica Brasil
CEI-Bois: Confederação Europeia de Indústrias da Madeira
CII: Construction Industry Institute
CLT: Consolidação das Leis do Trabalho
CMHC: *Canada Mortgage and Housing Corporation*
CSTB: *Centre Scientifique et Technique du Batiment*
FAU-USP: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo
IMG: *International Modular Group*
IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRC: *International Residential Code*
ISO: *International Organization for Standardization*
LEE: Laboratório de Experimentação em Estruturas
LP: *Louisiana Pacific*
MLC: Madeira Laminada Colada
OSB: *Oriented Strand Board*
SBA: *Structural Board Association*
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA.....	3
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	6
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 Objetivo geral	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA.....	13
2.1.1 Conceituando	13
2.1.1.1 Racionalização	13
2.1.1.2 Industrialização	14
2.1.1.3 Pré-fabricação	16
2.1.2 Reorganizando a lógica construtiva	19
2.1.2.1 Conformação do paradigma atual da construção industrializada	19
2.1.2.2 Tendências	24
2.1.3 Construtibilidade.....	28
2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA E A INDUSTRIALIZAÇÃO	34
2.2.1 Conceituação preliminar	34
2.2.2 Classificação segundo o critério estrutural	35
2.2.2.1 Ossatura e Vedação integrados	35
2.2.2.2 Ossatura atuando independente da Vedação.....	38
2.2.2.3 Construção com painéis industrializados de madeira.....	39
2.2.3 Classificação segundo o critério produtivo	42
2.2.4 Sistema plataforma tradicional	44
2.2.4.1 Apresentação do sistema	44
2.2.4.2 Funcionamento estrutural	46
2.2.4.3 Subsistemas.....	53
2.2.5 Sistema plataforma racionalizado.....	62
2.3 COORDENAÇÃO MODULAR.....	65
2.3.1 O que é e para quê	66
2.3.2 O módulo.....	68
2.3.3 Instrumentos da coordenação modular.....	72
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	79

3.1 ETAPA 1 – REVISÃO DE LITERATURA	79
3.2 ETAPA 2 – COLETA DE DADOS.....	80
3.3 ETAPA 3 – PESQUISA APLICADA.....	86
3.4 ETAPA 4 – ANÁLISE COMPARATIVA	87
3.5 ETAPA 5 – RECOMENDAÇÕES PARA A RACIONALIZAÇÃO DO PROJETO DE EDIFICAÇÕES EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA SEMI-INDUSTRIALIZADO.....	100
4 APRESENTAÇÃO DO PROJETO ORIGINAL.....	101
4.1 PROCESSO DE PROJETO X PROCESSO DE PRODUÇÃO	101
4.2 GRAU DE INDUSTRIALIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO	105
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO.....	106
4.3.1 Descrição dos ambientes	106
4.3.2 Soluções construtivas.....	108
4.3.2.1 Subsistema fundação	109
4.3.2.2 Subsistema parede.....	109
4.3.2.3 Subsistema piso	112
4.3.2.4 Subsistema cobertura	113
5 PROCESSO DE PROJETO DOS PAINÉIS VERTICAIS MODULARES, APRESENTAÇÃO E COMPARAÇÃO	116
5.1 CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A CONCEPÇÃO DO CATÁLOGO DE PAINÉIS VERTICAIS MODULARES	116
5.1.1 Público alvo.....	116
5.1.2 Material.....	117
5.1.3 Grau de industrialização	119
5.1.4 Sistema construtivo	121
5.1.5 Coordenação modular	123
5.2 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE PAINÉIS VERTICAIS MODULARES	125
5.2.1 Painéis cegos.....	129
5.2.2 Painéis porta e painel porta-janela.....	131
5.2.3 Painéis-janela	134
5.3 COMPARAÇÃO	138
5.3.1 Projeto EcosHaus	139
5.3.2 Aplicação da proposta de painéis verticais modulares.....	143
5.3.3 Resultados.....	148
6 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO RACIONALIZADO DE EDIFICAÇÕES EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA SEMI-INDUSTRIALIZADO.....	155

6.1 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO.....	155
6.2 SOBRE A CONSTRUTIBILIDADE	156
6.3 SOBRE A COORDENAÇÃO MODULAR	162
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	164
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169

APÊNDICE EM FORMATO DIGITAL

Planilhas de quantitativos e desenhos da proposta de painéis verticais.

1 INTRODUÇÃO

Os problemas que temos hoje não podem ser resolvidos se mantivermos a mesma maneira de pensar que tínhamos quando os criamos (Albert Einstein, 1879-1955).

Em meio aos debates sobre as graves consequências que o planeta vem enfrentando, decorrentes das atividades humanas, muito se ouve falar de alternativas e soluções para fazer uso mais consciente dos recursos naturais na hora de conceber e de construir os edifícios. Isso porque a construção civil está entre as atividades humanas que mais causam impactos ao meio ambiente, consumindo de forma intensiva os recursos naturais e energéticos e gerando grandes quantidades de resíduos, desde a produção dos insumos, até a execução da obra e a sua utilização.

De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) (2009), a construção civil demanda de 40 a 75% dos recursos naturais extraídos do planeta e, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), a produção de edificações respondeu por cerca de 45% do consumo total de energia elétrica no país, no ano de 2004.

Nesse cenário, a madeira se destaca por ser um material de fonte renovável, reciclável e que contribui ainda na redução do dióxido de carbono presente na atmosfera. No Brasil, grande parte de sua extração destina-se a suprir a demanda do setor construtivo, no qual se emprega principalmente em estruturas de cobertura, fundações e na estruturação de edifícios, que corresponde ao uso para marcação e nivelamento de terreno, confecção de formas, escoramentos e andaimes, etc. Observa-se, contudo, que o uso do material na atividade se dá, em sua maioria, de forma não sustentável, como pode se constatar na destinação final dos produtos: segundo Sobral et al (2002), 80% da madeira empregada na estruturação de edifícios, por exemplo, é descartada ao final da obra, acarretando desperdício, produção de resíduos e, por consequência, impactos ambientais. Além do mais, a extração de madeira nativa ainda é amplamente conduzida de forma ilegal no país, sem preocupação com o manejo adequado das florestas.

A realidade retratada corresponde principalmente à de países em estágios menos avançados de desenvolvimento socioeconômico, como o Brasil, em que se priorizam técnicas construtivas tradicionais, já sedimentadas, com emprego de pouca tecnologia e demanda intensiva de mão-de-obra. Essas técnicas caracterizam-se, ainda, por um baixo grau de industrialização e exigem um número elevado de operações no canteiro, o que representa maior tempo de execução e menor controle de qualidade, custos e prazos.

Por outro lado, países mais desenvolvidos têm se voltado cada vez mais à industrialização da construção, caminho promissor e irreversível para o desenvolvimento racional da indústria da construção civil e que conta com a racionalização construtiva como importante aliada. O termo racionalizar, no âmbito da construção, é descrito por Trigo (1978) do seguinte modo:

Racionalizar é aplicar, em matéria de organização, de planificação e de verificação, as técnicas adequadas à melhoria da qualidade e ao acréscimo da produtividade, fazendo o melhor uso dos meios humanos, dos materiais de construção e dos equipamentos e instalações (TRIGO, 1978).

Nesse contexto, a madeira recebe enfoque tendo em vista se adaptar bem a processos industriais, por sua boa relação entre peso e resistência mecânica e fácil trabalhabilidade, sendo assim introduzida na produção de elementos estruturais pré-fabricados, como vigas, pórticos e treliças, e de painéis de parede e de piso. Esses elementos podem deixar a fábrica integralmente prontos para serem apenas acoplados no canteiro, eliminando grande parte das operações de cortes e ajustes em obra e possibilitando um maior planejamento e controle das etapas de execução.

A construção com painéis portantes de parede e de piso tem sua concepção estrutural baseada no sistema plataforma, sistema construtivo desenvolvido nos Estados Unidos no século XIX, a partir da necessidade de construção de um grande número de habitações em um curto período de tempo, para o processo de colonização. Além disso, o sucesso do sistema plataforma deveu-se também à grande oferta de peças de madeira de seções padronizadas por serrarias locais. As peças

de madeira empregadas possuem pequena seção transversal, o que representou melhor aproveitamento do material disponível.

O sistema plataforma obteve grande aceitação no mercado norte-americano da construção e é atualmente o sistema construtivo mais empregado na produção de residências nos Estados Unidos e no Canadá, tendo se popularizado posteriormente também em nações como França, Alemanha e Japão.

A opção por um sistema construtivo que se adequa à pré-fabricação industrial e pela madeira como material construtivo vai ao encontro da crescente demanda ambiental pelo uso de tecnologias limpas, que compreendem as medidas tomadas com o intuito de minimizar ou eliminar impactos e, ainda, promover a economia de matérias-primas e energia. Além disso, presta-se à racionalização construtiva, uma vez que possibilita o maior planejamento e controle das etapas construtivas, otimizando o uso de materiais e de mão-de-obra e reduzindo os desperdícios.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A madeira figura entre os materiais de construção mais antigos da história da humanidade. Isso foi possível, segundo Berriel (2002), graças a uma das primeiras técnicas desenvolvidas – a de lascar a pedra – que possibilitou ao homem confeccionar ferramentas com as quais pôde transformar as árvores em artefatos de construir.

Desde então, a madeira vem sendo empregada na construção das mais variadas formas, dando origem a diversos sistemas construtivos que diferiram entre si em função das condições culturais, econômicas e ambientais de cada região. Seja qual for o sistema construtivo adotado, o fato é que a madeira integrou com expressividade o panorama da arquitetura de países como o Japão, a França e países nórdicos ao longo de centenas de anos. Nessas nações, a tradição de construir com madeira foi transmitida de geração em geração, acompanhada da busca por aprimoramento tecnológico que lhes proporcionou primazia no projetar e construir com esse material.

De acordo com Gauzin-Müller (2005), há duas décadas o mercado europeu da madeira vem se industrializando, tendo o setor investido em linhas de fabricação de produtos derivados de alto desempenho e na aquisição de máquinas que fornecem precisão milimétrica às peças de

marcenaria. Atualmente, a indústria madeireira europeia depende fortemente da construção civil. Conforme publicação da Confederação Europeia de Indústrias da Madeira (CEI-Bois, 2007), a maior parte da produção desse ramo industrial destina-se ao setor da construção, servindo a uso estrutural e não estrutural na produção de edificações ou, ainda, como peças de mobiliário.

Nos Estados Unidos, destaca-se o setor residencial. A habitação norte-americana em madeira, inserida na tendência de industrialização da construção, está entre as de melhor desempenho em termos de conforto e segurança do mercado mundial (MELLO, 2007). Entre as razões para tal sucesso estão a normatização (ou os rigorosos códigos de edificações americanos) e a elaboração e aprimoramento de critérios técnicos, guiados por uma vasta pesquisa subsidiada por institutos como o Laboratório de Produtos Florestais.

No Brasil, como já visto, a madeira enquanto material construtivo figura prioritariamente nas estruturas de cobertura e em equipamentos de uso provisório como formas para concreto, andaimes e escoras. Apesar do potencial para a produção de componentes e elementos construtivos, amplamente explorado por outros países, a madeira empregada na produção de casas pré-fabricadas participa com apenas 4% do consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no estado de São Paulo (IPT, 2003). Esse dado, apesar de regional, ilustra a realidade de todo um país que, embora disponha de um enorme potencial madeireiro, advindo de uma das maiores áreas de florestas do mundo, prioriza as estruturas metálicas ou de concreto armado para quase todo tipo de construção.

A baixa expressividade da arquitetura em madeira no país, atualmente, decorre de um grande número de projetos inadequados, elaborados sem levar em conta as características e especificidades do material e os métodos construtivos mais apropriados, resultando em construções incapazes de atender aos requisitos básicos de uma edificação de qualidade, como conforto, segurança e durabilidade. Bittencourt (1995) faz um relato da situação:

A contribuição das propostas construtivas em madeira no Brasil, visando solucionar a demanda popular, acaba situando-se no "vazio" entre os extremos, de um lado a sub-habitação como as favelas, as habitações tradicionais das regiões quentes e úmidas e de outro as habitações luxuosas não possuidoras de qualquer preocupação com a racionalização da construção (BITTENCOURT, 1995).

A pequena participação da madeira como material construtivo no cenário nacional reflete um setor ainda carente em esclarecimento e investimento em pesquisa e no desenvolvimento de novas tecnologias, capazes de elevar a madeira a um patamar competitivo em relação aos materiais construtivos mais recorrentes, como a alvenaria, o concreto e o aço. De acordo com Dias (2005), o setor demanda modernização e esta deve ir ao encontro da tendência de industrialização da construção, seja por meio da pré-fabricação de componentes e elementos construtivos, seja por meio da racionalização, implementando processos produtivos que visem ao aumento da produtividade, à redução de custos e ao maior controle da qualidade do produto.

Além disso, faz-se necessária a qualificação dos profissionais que irão atuar no empreendimento, desde a etapa de projeto, de modo a ampliar o domínio sobre a tecnologia da madeira. Assim sendo, ressalta-se a necessidade de uma nova abordagem do tema, sobretudo do ponto de vista da arquitetura, considerando as possibilidades da madeira, sua conjugação com outros materiais e o estudo de suas interfaces, acompanhada da busca por uma metodologia adequada às etapas de concepção do projeto.

Diante disso, a questão central que se busca responder com esta pesquisa é a seguinte: como contribuir para o aprimoramento e a modernização do setor da construção em madeira no Brasil, concorrendo para a dissolução do conceito negativo que a madeira como material construtivo carrega na sociedade brasileira?

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Como visto, a industrialização da construção é uma tendência mundial, que se alinha à busca por processos produtivos mais racionais que conduzam à otimização do uso dos recursos humanos, materiais, energéticos, dentre outros envolvidos na atividade de edificar, reduzindo os desperdícios e possibilitando obras mais rápidas, econômicas e de qualidade. Esse caminho passa pela adoção de sistemas construtivos pré-fabricados, que possibilitem a montagem da obra a partir de componentes e elementos produzidos em fábrica.

Assim sendo, esta dissertação se propõe a integrar as discussões acerca do tema da racionalização construtiva, enquanto conjunto de medidas voltadas ao melhor aproveitamento dos recursos empregados na produção de edificações, com enfoque naquelas concebidas no sistema plataforma em madeira.

A racionalização construtiva não está presente apenas nos mais avançados estágios de desenvolvimento tecnológico e industrial, muitas de suas medidas podem ser implementadas mesmo nos processos construtivos mais artesanais, naturalmente sem fazer uso de todo seu potencial. O corte das peças de madeira em suas seções de uso nas serrarias, antes de leva-las ao canteiro para a montagem da edificação, é uma prática muito anterior à industrialização e reflete o desejo dos construtores de agilizar a execução da obra. Nas últimas décadas, a preocupação com a racionalização construtiva cresceu também motivada pela necessidade de redução dos impactos ambientais provocados pela construção civil. A promoção do uso mais racional dos recursos naturais, com conseqüente diminuição de desperdícios e resíduos gerados, contribui para a redução dos impactos ambientais.

Além do mais, a industrialização da construção é, segundo especialistas, uma tendência irreversível, apta a atender a uma crescente demanda por qualidade, cujos pressupostos sejam a redução de custos, prazos e desperdícios. O arquiteto Mies Van der Rohe (1886-1969), antevendo esse cenário, ponderou que a economia regia racionalização e padronização, mas que, por outro lado, a sociedade ansiava por flexibilidade e, assim, as soluções futuras deveriam considerar esses dois fatores (FRAMPTON, 2003).

Diante disso, os sistemas construtivos que possibilitam a pré-fabricação de seus componentes, elementos e até mesmo subsistemas,

em ciclo aberto de industrialização, apresentam-se como um caminho promissor. Em vez de padronizar o produto final, ou os edifícios – característica que outrora estigmatizou a pré-fabricação, permite que se criem variadas soluções arquitetônicas a partir de um leque restrito de componentes padronizados. Contudo, esse novo modo de construir requer um novo modo de pensar a construção como um todo e um novo modo de fazer arquitetura. As soluções de pré-fabricação devem nascer junto com o projeto, que requer uma equipe multidisciplinar capaz de integrar o conhecimento de todas as etapas da construção.

A busca pela racionalização rege a busca por relações entre medidas ainda na etapa de projeto, de modo a promover o melhor aproveitamento dos insumos da construção desde a concepção do edifício. A metodologia de projeto que fornece o aporte para o traçado dessas relações é a coordenação modular, sistema de medidas que ordena a construção desde a fabricação dos componentes, passando pelo projeto, chegando até a execução da obra e, ainda, à manutenção desta mais tarde. A incorporação dos princípios da coordenação modular no processo de produção de edificações permite agregar atributos de construtibilidade, de produtividade e de baixos custos, desperdícios e impactos ambientais aos requisitos básicos de qualidade, como habitabilidade, funcionalidade, durabilidade e segurança (GREVEN e BALDAUF, 2007).

Assim, diante da necessidade de proposição de subsistemas coordenados, fundamental num projeto de arquitetura que pretenda à produção racionalizada, optou-se por centrar esta pesquisa no subsistema parede, de modo a explorar com mais profundidade as possibilidades de racionalização compreendidas no projeto de vedação vertical.

Por fim, a investigação dos aspectos da racionalização construtiva será conduzida paralelamente ao estudo do sistema plataforma em madeira, sistema construtivo escolhido em função de sua concepção estrutural relativamente simples e de seus requisitos construtivos consolidados em países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha. O sistema plataforma revela grande potencial para adequar-se às condições brasileiras, tendo em vista a disponibilidade de madeira proveniente de florestas plantadas e uma indústria madeireira com potencial de suprir a demanda pelos produtos derivados da madeira.

Além disso, o sistema plataforma apresenta ainda mais vantagens quando desenvolvido a partir de um sistema de coordenação modular; possibilita, por exemplo, que se empreguem os insumos com menor necessidade de cortes. Isso requer, contudo, um esforço conjunto por parte de todos os agentes da cadeia da construção civil, envolvendo medidas normativas e a integração entre os projetos de elementos, arquitetônico e executivo. A produção de edificações no sistema plataforma, desde a sua concepção, beneficia-se dos princípios da coordenação modular principalmente quando o objetivo é aliar suas técnicas construtivas aos métodos industriais (pré-fabricação, produção em série, mecanização do processo, organização e planejamento, entre outros).

O sistema plataforma é tradicionalmente montado no canteiro a partir de peças de madeira previamente cortadas nas seções e nos comprimentos de uso. Todavia, nos dias atuais, com o avanço tecnológico que propiciou o aprimoramento dos métodos industriais, os painéis de parede e as plataformas de piso podem ser integralmente produzidos em fábrica e transportados ao canteiro, onde são acoplados para formar a edificação, ou, ainda, esta pode ser produzida em sua totalidade antes mesmo de deixar a fábrica. Assim, conforme aumenta o grau de industrialização dos processos construtivos, cresce a importância da coordenação modular na integração e racionalização das etapas, favorecendo o melhor aproveitamento dos insumos e contribuindo para a redução dos desperdícios.

Este é, portanto, o escopo desta pesquisa: contribuir para a racionalização do processo de produção de edificações no sistema plataforma em madeira, enquanto meio de promover o aprimoramento e a modernização do setor, a partir do projeto de elementos de vedação vertical elaborados segundo os princípios da coordenação modular.

Para tal, será proposto um catálogo de painéis verticais modulares, cujos elementos possam ser empregados na elaboração do projeto e na produção do subsistema parede de edificações no sistema plataforma semi-industrializado. A proposição destes elementos na presente pesquisa teve função investigatória, servindo para avaliar se com a aplicação dos princípios da coordenação modular é possível promover uma maior racionalização das etapas construtivas, minimizando desperdícios e tornando o processo mais ágil, seguro e eficaz.

É importante ressaltar que, embora a proposta tenha buscado atender aos requisitos construtivos prescritos nas normas e nos códigos vigentes para o sistema plataforma, não foi feita, neste trabalho, a verificação da segurança estrutural para os painéis projetados e para a composição da edificação a partir destes elementos. Também não foram contempladas, na proposta: a descrição das sequências executivas do subsistema parede; as especificações técnicas relativas a instalações elétricas e hidrossanitárias, isolamento e impermeabilização dos painéis, bem como as interfaces do subsistema parede com os demais subsistemas da edificação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Esta dissertação tem como objetivo geral reunir recomendações para o projeto racionalizado de painéis verticais para edificações em madeira no sistema plataforma, à luz dos princípios da coordenação modular.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Estudar o sistema plataforma, identificando seus requisitos construtivos e de desempenho estrutural que devem ser considerados na etapa de elaboração do projeto arquitetônico das edificações;
- b) Relacionar os princípios da coordenação modular às diretrizes construtivas do sistema plataforma;
- c) Propor um catálogo de painéis verticais modulares para serem utilizados no projeto de edificações no sistema plataforma semi-industrializado;
- d) Revisar o projeto de uma residência executada no sistema plataforma, aplicando os painéis de parede propostos, de modo a avaliar quantitativamente – o consumo de material e desperdícios – as vantagens resultantes da implementação da coordenação modular na produção de edificações;
- e) Formular um conjunto de recomendações voltadas à prática projetual que contribuam para a racionalização do processo

de produção de edificações no sistema plataforma em madeira.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Além do capítulo introdutório, no qual é apresentado o contexto desta pesquisa, a justificativa e relevância do tema e os objetivos traçados, a presente pesquisa está estruturada em seis capítulos: capítulo 2 – Fundamentação teórica; capítulo 3 – Procedimentos metodológicos; capítulo 4 – Apresentação do projeto original; capítulo 5 - Processo de projeto dos painéis verticais modulares, apresentação e comparação; capítulo 6 – Recomendações para a racionalização do projeto de edificações em madeira no sistema plataforma semi-industrializado e capítulo 7 – Considerações finais.

No capítulo 2 a fundamentação teórica é desenvolvida sobre os seguintes temas centrais: racionalização construtiva, sistemas construtivos em madeira e a industrialização e coordenação modular. O primeiro tema abordado leva à definição dos conceitos de racionalização, industrialização e pré-fabricação e também a reflexões acerca da conformação do cenário atual da industrialização da construção, tendências e o papel da construtibilidade nesse contexto. Ainda neste capítulo, os principais sistemas construtivos em madeira são descritos, com ênfase na exposição das características construtivas do sistema plataforma. Por fim, conclui-se o capítulo com a apresentação da coordenação modular, sua conceituação, um breve histórico e os seus instrumentos de aplicação.

O capítulo 3 descreve de forma detalhada os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento de todas as etapas da pesquisa, de modo a se alcançar os objetivos traçados. Após, apresenta-se no capítulo 4 o projeto original utilizado como referência para a análise comparativa, cujos resultados são revelados no capítulo seguinte.

O capítulo 5 foi dividido em três subitens: (1) Critérios de projeto para a concepção do catálogo de painéis verticais modulares, no qual se buscou explicar os principais critérios que nortearam o desenvolvimento da proposta dos painéis, tais como público alvo, material e grau de industrialização, entre outros; (2) Apresentação da proposta de painéis verticais modulares, em que é apresentado o

resultado do processo de projeto dos elementos de vedação verticais, isto é, o desenho dos 13 tipos de painéis-tipo gerados; e (3) Comparação, em que são revelados os resultados obtidos na análise comparativa realizada para a edificação de referência, a partir dos dados do projeto original em contraponto aos obtidos com o reprojeto, este último elaborado a partir dos painéis propostos.

No capítulo 6, são apresentadas as recomendações para o projeto racionalizado de edificações em madeira no sistema plataforma semi-industrializado, elaboradas a partir do conhecimento e experiência obtidos ao longo do processo de pesquisa e de projeto conduzidos nesta dissertação.

Finalmente, o capítulo 7 traz considerações acerca dos resultados do trabalho desenvolvido, resgatando os objetivos específicos estabelecidos no início da pesquisa e demonstrando de que modo eles foram atendidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA

2.1.1 Conceituando

Ao dar início às discussões sobre o tema da racionalização construtiva considera-se importante esclarecer alguns conceitos cuja adequada compreensão é essencial para a apreensão da temática abordada por esta pesquisa. Assim, serão apresentadas na sequência as definições para os termos **racionalização, industrialização e pré-fabricação** adotadas nesta dissertação.

2.1.1.1 Racionalização

Em seus *Ensaio de sociologia*, Weber (1982) afirma que **racionalização** é um conceito que engloba “todo um mundo de coisas diferentes” e, portanto, seria impossível precisá-lo em uma definição geral. Admitido isso, as explicações para o termo racionalização dadas na sequência foram selecionadas por fazerem parte do contexto da produção industrial, aspecto de interesse investigatório desta pesquisa e para o qual a racionalização é considerada uma importante ferramenta de aprimoramento.

O Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, em uma de suas acepções, define racionalizar como *o ato de tornar uma atividade mais eficaz por meio de planejamento ou pelo emprego de métodos científicos* (FERREIRA, 2008). Esse foi também o sentido buscado pelas incipientes teorias da administração do começo do século XX que, diante da expansão capitalista que incentivava o desenvolvimento industrial e o aumento no tamanho e na complexidade das organizações, viram na racionalização das operações produtivas um caminho promissor para regular e otimizar a produção dentro das fábricas e incrementar o lucro das empresas (SILVEIRA, 2008).

Nesse momento, o estudo da racionalização enquanto meio de organização dos processos produtivos refletiu na ampla reformulação dos modos de produção e das relações de trabalho, tornando as operações mais rápidas e eficientes por meio da padronização das peças, das máquinas e até mesmo das tarefas e dos movimentos dos

trabalhadores. Como resultado dessa nova forma de produzir tem-se o produto padronizado, ou estandardizado, que representa o paradigma da produção industrial. Esse paradigma será alvo de inúmeras críticas e passará por grandes transformações nas décadas que seguiram, até chegar ao modelo atual de produção – em constante transformação – denominado por alguns autores paradigma pós-industrial (FABRICIO, 1996). Como se apresenta esse paradigma hoje será visto mais à frente, aqui cabe apenas explicar que sua evolução se deu paralelamente às mudanças no conceito de racionalização, isto é, os objetivos desta, embora continuem a contemplar o lucro empresarial, tiveram que se adaptar aos anseios da nova sociedade de consumo – imediatista e que preza pela qualidade dos produtos a preços justos – e à recente e crescente preocupação com a preservação ambiental, que rege a necessidade de otimização do uso dos recursos materiais e energéticos e da redução e reaproveitamento dos resíduos.

Desse modo, o conceito de racionalização apresentado por Rosso (1980) revela-se adequado ao contexto atual na medida em que remete à capacidade inerente à mente humana de atuar, livre do influxo emocional e de forma lógica e sistêmica, no combate aos desperdícios temporais e materiais dos processos produtivos.

No âmbito da construção civil, Sabbatini (1989) entende a racionalização como o conjunto de medidas voltadas à otimização do uso dos “recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção”, em todas as suas etapas. Tal definição torna evidente que a **racionalização construtiva** trata-se de um processo bastante abrangente, cujo êxito depende de esforços das várias esferas da cadeia produtiva da construção civil, incluindo, como destaca Franco (1996), ações institucionais como a adoção de normalização.

2.1.1.2 Industrialização

“A essência da industrialização na construção de edifícios é a organização” (TESTA, 1972).

O termo **industrialização** designa um conjunto de mudanças sucessivas nos modos de produzir, caracterizadas, sobretudo, pela mecanização dos meios de produção em substituição aos métodos

artesanal. Segundo Bruna (2002), “a história da industrialização identifica-se, num primeiro tempo, com a história da mecanização, isto é, com a evolução das ferramentas e máquinas para a produção de bens”. Com a automatização de seu funcionamento, a máquina torna-se apta a repetir um ciclo de tarefas, antes executadas pelo homem, e passa a produzir de forma automática a “qualidade” que era até então a essência do trabalho artesanal.

Os processos industriais são caracterizados pela produção em série – caráter de **repetição** – e pela **organização** das relações produtivas, como descreve Bruna (2002):

Não é, portanto, só e unicamente o mecanismo que gera a indústria, mas uma decidida vontade de repetir para a qual a máquina contribui com o instrumento material e a organização com o método para executá-la (BRUNA, 2002).

Ao tomar a organização como aspecto fundamental da industrialização admite-se válida a ideia defendida por Sabbatini (1989) e por diversos outros autores de que a racionalização é uma poderosa ferramenta de aprimoramento dos processos industriais, abrangendo ações organizacionais e implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle.

Em suma, a indústria é um sistema de produção que se baseia em processos ordenados de natureza repetitiva, cujos requisitos são o volume e a continuidade da produção, a redução da variedade, a mecanização e a pré-fabricação (OLIVERI, 1972). Desse modo, contrapondo as definições apresentadas com a temática da construção, pode-se afirmar que a industrialização da construção implica na ação de produzir edifícios conforme o método da indústria, ou seja, pela produção de componentes construtivos idênticos e produzidos de maneira seriada, promovida pelo auxílio de máquinas.

Todavia, para que o método industrial seja aplicado com êxito na construção, de forma a transpor o limite do erro incontrolado, típico do artesanal, Oliveri (1972) defende que é crucial a atuação do profissional de planejamento – o arquiteto na atividade construtiva – de modo que o projeto se configure no vínculo de todos os componentes da edificação e de sua montagem. Ainda, para Bruna (2002), a fase de projeto é

essencial no processo de planejamento da produção: de bastante complexidade, deve ser “articulada de tal maneira que a execução esteja sempre rigidamente vinculada à ideia inicial e esta aos objetivos propostos, ao nível da tecnologia a ser empregada, à situação do mercado consumidor etc.”.

Por fim, Bruna (2002) ressalta que o planejamento da produção é, sobretudo, o instrumento de otimização no plano qualitativo e econômico do bem a ser produzido, que conduz, no setor da construção, à racionalização construtiva. A partir dos critérios de otimização derivam três exigências básicas:

- a) Redução do número de tipos a serem produzidos;
- b) Existência de catálogo e estoque, sendo as peças produzidas independentemente do fator encomenda, atendendo a critérios de produtividade industrial ótima, a critérios econômicos e financeiros e a critérios de estocagem realista;
- c) Previsão das tolerâncias de fabricação e montagem inseridas em um sistema de coordenação dimensional rigorosa e universal, isto é, aceita por fabricantes, construtores e consumidores.

2.1.1.3 Pré-fabricação

“[...] não pode haver pré-fabricação sem ordem, e a ordem é uma das condições primordiais da arquitetura” (A. Perret, 1874-1954).

Antes de apresentar a definição de pré-fabricação adotada por esta pesquisa, é preciso manifestar-se a favor da dissociação conceitual entre os termos industrialização e pré-fabricação, frequentemente tomados como correlativos ou ainda, equivalentes.

A pré-fabricação, como coloca Berriel (2009), é “toda a produção de material construtivo, fora do canteiro de obras, possuindo dimensões definidas anteriormente à sua produção”. Para ilustrar, pode-se citar a fabricação de tijolos cerâmicos utilizados em edificações desde 5000 anos a.C. e o desdobro de peças de madeira com seções pré-estabelecidas, empregadas nas estruturas em *balloon-frame* das residências americanas do século XVIII. Com isso, verifica-se que a prática da pré-fabricação é muito anterior ao processo de

industrialização, o que derruba a ideia de que os conceitos são equivalentes.

Mas, por que então eles são confundidos? Com o advento da industrialização, a pré-fabricação pode tornar-se um processo mais racional, pois foi possível agregar à produção dos componentes construtivos as vantagens dos métodos industriais – mecanização, controle da produção, aumento da precisão, minimização de falhas e perdas, incremento da produtividade, entre outros. Desse modo, é possível afirmar que a pré-fabricação foi potencializada pela industrialização, de tal forma que, atualmente, quase todos os processos de pré-fabricação são realizados no interior de uma indústria. Na visão de Oliveri (1972), a industrialização da construção está relacionada às *características de execução* dos componentes pré-fabricados.

Atualmente, são pré-fabricados na indústria desde componentes e elementos construtivos, como os blocos de concreto, até subsistemas e sistemas inteiros, como um módulo transportável. Assim, com a possibilidade de aliar as vantagens da produção industrial à pré-fabricação de componentes construtivos, surgem os sistemas pré-fabricados cujo objetivo é estender os métodos industriais à produção de edificações (OLIVERI, 1972). Para o autor citado, esse sistema requer uma organização intrínseca capaz de:

- a) Programar e regular o ciclo produtivo, em seus aspectos técnicos, econômicos, temporais, entre outros;
- b) Projetar o edifício em todas as suas partes, a partir de um método que preveja a decomposição da obra em elementos geométricos repetíveis em série;
- c) Produzir industrialmente os distintos componentes, em quantidade e qualidade previstas, de forma a limitar ao mínimo as operações de montagem e acabamento.

Os sistemas pré-fabricados podem ser de ciclo aberto ou fechado. São também denominados sistemas pré-fabricados abertos e sistemas pré-fabricados fechados.

Os **sistemas fechados** inserem-se na produção industrial de ciclo fechado, em que as partes de um produto são confeccionadas na sua totalidade por uma única empresa, a partir de seus próprios critérios e métodos, resultando em produtos caracterizados pela impossibilidade de substituição dos componentes por outros que não sejam fabricados pela mesma empresa.

De acordo com Bruna (2002), a viabilidade da industrialização de ciclo fechado está atrelada à produção em larga escala, mantida de forma constante por um longo período de tempo. O elevado grau de mecanização e a rigidez na organização e no controle da produção dificultam a introdução de modificações no ciclo produtivo, o que torna o produto limitado do ponto de vista criativo e de inovações, além de “mal orientado do ponto de vista cultural”, uma vez que buscam as soluções dos problemas unicamente dentro do panorama tecnológico da própria empresa, sem considerar o contexto local em que se insere.

Assim, a **industrialização de ciclo aberto** diferencia-se por pré-fabricar componentes voltados ao atendimento da demanda do mercado e não desenvolvidos exclusivamente para preencher os requisitos de uma única empresa. Em sistemas abertos, os produtos de uma empresa dialogam com os de outra, podendo ter seus componentes complementados ou substituídos por outros de fabricantes distintos. A combinação de diferentes componentes permite aumentar a variabilidade dos produtos finais, que passam a atender a uma gama maior de exigências estéticas e funcionais de empresas e consumidores. Os sistemas abertos caracterizam-se essencialmente por:

Peças substituíveis por outras de diferentes origens; peças intercambiáveis, podendo assumir diferentes posições na composição espacial arquitetônica de uma mesma obra; peças combináveis entre si, formando conjuntos maiores; e peças permutáveis por uma peça maior ou por um número de peças maiores (BRUNA, 2002).

Para Oliveri (1972), os sistemas abertos são flexíveis e o projeto segue uma modulação pré-determinada, baseando-se em componentes modulares que podem ser empregados de distintas maneiras e compor diversos arranjos formais, mas que, ao mesmo tempo, conferem unidade ao conjunto arquitetônico. A flexibilidade, destacada pelo autor, pode também significar para Berriel (2009) a “capacidade de adequação da edificação, ou parte desta, às condições e exigências de seu usuário, aos métodos de produção e aos materiais construtivos disponíveis localmente”.

2.1.2 Reorganizando a lógica construtiva

2.1.2.1 *Conformação do paradigma atual da construção industrializada*

O cenário da industrialização da construção tal qual se apresenta nos dias atuais começou a ser delineado no século XVIII, com a Primeira Revolução Industrial, e moldou-se ao longo dos anos acompanhando as transformações tecnológicas, econômicas, sociais e políticas ocorridas primeiramente na Europa e depois no resto do mundo, transformações essas que sempre influenciaram diretamente o modo de produzir edificações e de fazer arquitetura.

Essa trajetória teve dois grandes momentos distintos, cuja noção é importante para a compreensão da maneira como hoje é vista a construção industrializada – quais são as expectativas, os receios, os questionamentos de produtores e consumidores – e para a apreensão de quais devem ser os objetivos a serem buscados por ela para que de fato agregue melhorias à realidade desta e de futuras gerações. A elucidação dessas e de outras questões relacionadas ao panorama corrente da industrialização da construção é o que se irá buscar ao longo deste item.

De volta aos dois momentos distintos, o primeiro, já mencionado, diz respeito à Primeira Revolução Industrial, quando os profundos avanços tecnológicos possibilitaram que o vidro e o ferro fossem produzidos em série e empregados na pré-fabricação de elementos construtivos demandados pelas grandes obras da primeira metade do século XIX. A despeito do caráter de novidade, o que contribuiu para a difusão do ferro fundido, em substituição aos materiais tradicionais, foi seu preço razoável e, assim, seu emprego consolidou-se não apenas nas estruturas das grandes obras como também em gradis, peitoris, escadas metálicas e ornamentos na construção comum, configurando uma nova linguagem técnica e estilística que está na origem da arquitetura moderna.

Nesse período de intenso desenvolvimento econômico, a integração entre *tecnologia*, *indústria* e *arquitetura* proporcionou excelentes realizações, como o Palácio de Cristal de Joseph Paxton, erguido em ferro fundido e vidro para sediar a Grande Exposição de 1851. Para Frampton (2003), o Palácio de Cristal consistiu num “processo de construção tornado manifesto como sistema total, desde a

concepção, a fabricação e o transporte iniciais até a construção e o desmonte finais” (p.31). Seu projeto, que tinha como pressupostos uma rápida execução e economia de material, encontrou na incipiente industrialização da época resposta adequada: a montagem da estrutura do Palácio, baseada em um módulo básico de 2,44 m, deu-se em quatro meses, como a realização de um simples problema de produção em massa e de montagem sistemática. Além disso, uma considerável economia foi possível ao empregar painéis de vidro da maior largura possível.

Assim, a industrialização da construção a partir de componentes pré-fabricados em ferro fundido teve seu apogeu na década de 1850, especialmente com a exportação inglesa de casas pré-fabricadas para os Estados Unidos e a Austrália. No entanto, na segunda metade do século XIX, a pré-fabricação de componentes construtivos para atender à demanda por edifícios singulares e representativos entra em declínio para somente ser retomada quase um século depois, por W. Gropius, A. Perret, J. Prouvé, entre outros (BRUNA, 2002).

Enquanto isso, as duas Grandes Guerras vivenciadas pela população mundial influenciaram profundamente os paradigmas da construção industrializada, tais quais se apresentaram inicialmente, dando início a um período marcado pela intensa produção massificada, sobretudo de habitações, voltada à reconstrução das cidades destruídas pelos conflitos. Somou-se a isso a crescente urbanização que fora desencadeada pela era industrial, exigindo que as cidades comportassem um contingente populacional cada vez maior.

Diante disso, o setor da construção civil enxergou na produção industrial a possibilidade de obter soluções padronizadas em larga escala para atender à vultosa demanda por habitações. Assim, consolidam-se os sistemas construtivos pré-fabricados de ciclo industrial fechado, cuja linha de produção continuada e rígida refletia os critérios e métodos adotados por certas empresas na busca por hegemonia no fornecimento de componentes para os grandes empreendimentos habitacionais. Conforme explicação preliminar, a viabilidade dos ciclos industriais fechados estava vinculada à produção em série, mantida de forma constante por um longo período de tempo, o que significava que modificações no padrão dos produtos raramente eram consentidas, visto que poderiam comprometer a produtividade e os custos pré-estabelecidos.

Nesse contexto, destacam-se os grandes painéis de concreto armado com função estrutural, que foram desenvolvidos graças ao advento dos pré-moldados de concreto armado e inseridos nos ciclos fechados de produção industrial. Seguindo sempre o mesmo padrão construtivo e estético, os painéis foram exaustivamente empregados a princípio na França, na produção das unidades habitacionais em massa, e tiveram sua rápida difusão por toda a Europa, especialmente nos países de regime soviético.

Assim se revela o segundo grande momento da trajetória da industrialização da construção: impulsionado pelos novos materiais e técnicas construtivas – como o concreto armado, seguido do aço e da madeira empregada em entramados estruturais leves – e pelo cenário do pós-II Grande Guerra, que exigiu do setor construtivo um esforço sem precedentes na produção de edificações em massa, em curto prazo e com orçamento limitado.

O método construtivo baseado em painéis pré-fabricados de grandes dimensões com função estrutural dominou o cenário europeu da construção industrializada a partir da década de 60. As soluções construtivas e arquitetônicas eram quase sempre recorrentes, pois era preciso atender a uma demanda habitacional que chegou, em um dado momento, a 10000 unidades no mesmo empreendimento. Isso significou, conforme Bruna (2002), a produção acelerada e contínua de até 10 habitações por dia ao longo de anos, sem retomar os estudos, sem modificar as mesas de fabricação, portanto, dentro da mais estrita economia.

Esse tipo de produção de habitações em ciclo industrial fechado tornou-se alvo de muitas críticas, pois repetia soluções generalizadas nos contextos mais variados, considerando apenas aspectos econômicos e tecnológicos relevantes às empresas produtoras e às políticas habitacionais às quais deveriam atender. O problema de adequação da escala à qualidade espacial das realizações estava longe de ser contemplado e, como define Sayegh (2005), o modelo acabou sendo rotulado de monótono e rígido. Criou-se, assim, uma espécie de estigma que acompanhou a produção industrial de pré-fabricados até meados da década de 80.

Todavia, a consciência da necessidade de soluções mais individualizadas por parte da população e de arquitetos e estudiosos tornou cada vez mais difícil a imposição de séries habitacionais muito

longas, levando os construtores a considerar a adoção de sistemas mais flexíveis. Um caminho proposto e que recebeu grande aceitação está ilustrado na afirmação de Blachère:

(...), se não é a habitação que pode beneficiar-se da produção em grande série, é preciso admitir que são as partes, os componentes da habitação; se não é possível imaginar a construção de 100000 habitações iguais, pode-se imaginar, no entretanto, a execução de 100000 painéis de fachada iguais, que poderão ser vendidos a numerosos construtores e que poderão mesmo ser exportados (BLACHÈRE, apud BRUNA, 2002).

A partir da década de 1980, uma maior flexibilização da construção com pré-fabricados começou a apresentar-se viável a partir do desenvolvimento de novas técnicas de fabricação que permitiram a produção de peças mais leves, resistentes e com diferentes formatos, especificidades e tamanhos (SAYEGH, 2005).

No mesmo período, as redefinições nas demandas, impulsionadas pela globalização e especialização dos mercados, intensificaram a concorrência e aumentaram as exigências de qualidade e de diferenciação dos produtos. Com isso, as escalas produtivas tornaram-se mais instáveis, tornando pouco vantajosa a manutenção de uma produção em ciclo fechado. De acordo com Fabricio (1996), as indústrias passaram então a buscar uma organização da produção e uma tecnologia que possibilitassem rápidas e eficientes adequações às novas características demandadas, seja pelo processo ou pelo produto.

Nesse cenário, emerge na organização e na tecnologia de produção a chamada “produção em massa flexível” (FABRICIO, 1996), ou “customização em massa”, como definem alguns autores, caracterizada pela flexibilidade produtiva e pelos produtos personalizados e adaptáveis e viabilizada pelos ciclos industriais abertos, mais aptos a acompanhar a velocidade das redefinições socioeconômicas contemporâneas.

Afora toda a evolução no campo da ciência e da tecnologia que se processou nas mais diversas áreas, especialmente no final do século XX e início do novo milênio, refletindo nas expectativas e exigências dos usuários, um fator tem se destacado por sua relevância crescente dentro

da sociedade contemporânea e pelas importantes contribuições na redefinição dos modelos de produção industrial nas últimas décadas, sobretudo, para a industrialização da construção. Trata-se da questão ambiental.

Para Caruana (2007), em 3000 anos, a arquitetura foi uma atividade prioritariamente direcionada por questões relativas à forma, função e estrutura. Há apenas poucas décadas que se vem percebendo a necessidade real e imediata de aliar a essas três premissas outras duas: economia e meio ambiente. Isso porque até então, no que diz respeito à construção, a humanidade tem destruído para construir, mantendo-se em uma espécie de equação extrativista.

O modelo atual de construção civil praticado no Brasil, em toda sua cadeia de produção, é extremamente nocivo ao meio ambiente, pois emprega amplamente matéria-prima de fonte não renovável e consome elevadas quantidades de energia, tanto na extração quanto no transporte e processamento dos insumos, além de perdulário no uso dos materiais e grande gerador de resíduos (ROTH; GARCIAS, 2009).

Dessa forma, a preocupação com o consumo racional dos recursos naturais e a minimização e gestão dos resíduos constitui fator de crescente relevância na configuração dos processos produtivos industriais nos dias de hoje, especialmente daqueles ligados à construção civil, tendo em vista ser esta uma das atividades humanas que mais gera impactos no meio ambiente. A racionalização construtiva, antes vista como um meio de promover o lucro empresarial por meio da otimização do tempo, do controle da produção e aumento da produtividade, passa a voltar-se também ao combate dos desperdícios materiais enquanto forma de minimizar os impactos ambientais.

Diante do exposto, é possível identificar as bases para uma **reorganização da lógica construtiva**, um processo complexo, apesar da aparente simplicidade, que envolve:

(...) não apenas a construção propriamente dita, mas todo o processo, que necessita ser progressivamente atualizado, desde o projeto dos sistemas – e o que se apresenta mais promissor no panorama contemporâneo é o projeto de peças-sistema, num esquema aberto – até a obra pronta e habitada (BERRIEL, 2009).

2.1.2.2 *Tendências*

A evolução da industrialização da construção ao longo da história deu-se, obviamente, de forma muito mais complexa do que foi apresentado aqui. Porém, o que se pretendeu demonstrar com esse breve histórico é que a pré-fabricação na construção é uma prática que vem refletindo a realidade de cada geração, suas necessidades, anseios e convicções, as tecnologias disponíveis e a situação econômica, política e social de seu tempo.

No Brasil, contudo, a visão que se tem dos sistemas construtivos pré-fabricados ainda permanece, em grande parte, vinculada à ideia de rigidez e uniformidade que prevaleceu algumas décadas atrás. A própria prática, na realidade, ainda continua de sobremaneira atrelada a medidas comprovadamente ineficazes como a comercialização de *kits* com a obra completa, nos quais se oferece a edificação em sua totalidade e não seus componentes.

Esse quadro revela um descompasso da situação brasileira em relação à de outros países, como situa Sayegh (2005): na Europa, o sistema de industrialização de ciclo aberto, chamado por alguns autores de segunda geração tecnológica, oferece a possibilidade de compra de elementos isolados e de maior valor agregado como lajes, pilares, painéis e até mesmo banheiros prontos. Para a autora supracitada, o futuro da construção civil está ligado a um acréscimo de qualidade que pressupõe redução de custos, prazos e desperdícios, para o qual a industrialização da construção apresenta-se como um caminho promissor e irreversível.

No cenário atual, a industrialização da construção conduzida nos países desenvolvidos tem se voltado, principalmente, às soluções que busquem o equilíbrio entre a redução da variedade, o que interessa particularmente à indústria, e a preservação da flexibilidade, de modo a

assegurar a liberdade criativa do arquiteto e atender a demandas específicas dos consumidores/usuários (BERRIEL, 2009).

Assim, a construção com componentes, produzidos em ciclo industrial aberto, apresenta-se como uma alternativa viável por:

(...) proporcionar ao projetista um lote menos restrito de opções, que permita uma excelente possibilidade de escolha entre componentes dimensionalmente coordenados, caracterizados por uniões compatíveis e, além disso, que podem ser fornecidos por um grande número de fabricantes para a realização de uma certa variedade de projetos (WESTON¹, 1970, apud BERRIEL, 2009).

A construção com componentes também se revela vantajosa do ponto de vista da racionalização construtiva: com a redução da variedade e a normalização das dimensões dos componentes construtivos e com a adoção da coordenação modular no projeto é possível reduzir ao mínimo a necessidade de cortes e ajustes na obra, concorrendo para a extinção dos desperdícios materiais. Além do mais, a montagem no canteiro é agilizada, pois são necessárias apenas operações de acoplagem, e o período de utilização de mão de obra reduzido, o que significa economia financeira nos custos de execução da edificação.

É evidente que esse novo modo de construir rege um novo modo de pensar a obra como um todo e, em primeira e última instância, um novo modo de fazer arquitetura. No entender de Sayegh (2005), as soluções de pré-fabricação devem nascer com o projeto e precisam ser compatibilizadas com as propostas dos especialistas em instalações prediais, climatização e automação. Assim, o êxito da industrialização da construção está atrelado a ações cooperadas de uma equipe multidisciplinar, em que o arquiteto apresenta-se como agente coordenador de todo o processo.

Apesar de ter sua eficácia atestada em inúmeras soluções por arquitetos e empreiteiros de diversas regiões do mundo, a construção

¹ John Weston, antigo diretor da Building Research Station do Reino Unido. In: **Noticiário da Coordenação Modular**, Convênio BNH/CBC – Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum – Dep. Técnico. n. 4, mar. 1970.

com componentes pré-fabricados ainda é incipiente e pouco expressiva no Brasil: além da baixa especialização da mão de obra, ainda faltam organização, planejamento e logística a muitas construtoras. São muitos os desafios a serem superados e um deles é a transposição da visão que muitos arquitetos têm de que o pré-fabricado impõe restrições de ordem criativa e técnica aos projetos e de que as edificações pré-fabricadas “seguem um modelo esquemático que conduz a uma produção em série, resultando em padrões monótonos e repetitivos” (BERRIEL, 2009).

Foi visto até aqui que a industrialização da construção e o desenvolvimento dos sistemas pré-fabricados industrializados concorreram para a racionalização de uma atividade que tem sido demasiadamente perdulária no uso de recursos e materiais no decorrer de sua história, provocando danos irreversíveis ao meio ambiente. A adoção de práticas mais racionais, além de contribuir para a manutenção da vida no planeta, contribui para o aumento da produtividade das empresas – e, por conseguinte, o lucro – e para a satisfação das necessidades e anseios dos consumidores.

Também foi ressaltado o papel do arquiteto na coordenação do processo que leva à racionalização construtiva, por meio da industrialização da construção, que deve contemplar desde a escolha da matéria-prima, o projeto, a produção, até a análise do ciclo de vida do produto. Desse modo, a busca pela racionalização construtiva desde o projeto tem sido uma prática adotada por muitas empresas as quais, segundo Pereira (2005), têm obtido excelentes resultados quanto à produtividade, à redução de desperdícios e melhoria da qualidade final do produto.

De acordo com Pereira (2005), o projeto de arquitetura que pretenda à produção racionalizada deve apresentar uma abordagem sistêmica e ser balizado pelo conceito de construtibilidade. A abordagem sistêmica leva à adoção de “subsistemas coordenados entre si e de sistemas abertos que possam gerar inúmeras soluções a partir de coleções restritas de componentes, o que viabiliza a economia de escala” (SAYEGH, 2005). O pensamento teórico que fornece as diretrizes para essa forma sistêmica de projetar adotado por esta pesquisa é a coordenação modular, que será mais à frente assunto desta dissertação.

Diante do exposto, tendo em vista a necessidade de proposição de subsistemas coordenados, optou-se por centrar este trabalho de

pesquisa no subsistema parede, de modo a explorar com mais profundidade as possibilidades de racionalização compreendidas no projeto da vedação vertical.

A vedação vertical desempenha papel fundamental na conformação e desempenho de um edifício. Seja pelo aspecto funcional de compartimentação e caracterização dos ambientes, favorecendo o adequado desenvolvimento das atividades para as quais eles foram projetados, seja pelo aspecto técnico, enquanto fechamento, atendendo às necessidades de isolamento térmico e acústico, e comportando ou delimitando as instalações técnicas do edifício. Além disso, Franco (1998) ressalta que esse subsistema possui interface com outros subsistemas do edifício, como a estrutura, as instalações, as vedações horizontais – como o piso e a cobertura – impermeabilizações, entre outros, fazendo com que seu projeto, bem como a integração com as demais partes, seja crucial para o desempenho global da edificação.

Franco (1998) defende ainda que, ao se considerar conjuntamente o subsistema parede e as interfaces que faz com os demais subsistemas da edificação, a produção dos elementos de vedação pode representar o item de maior custo de produção em um dado empreendimento, e, desse modo, o projeto da vedação vertical revela-se como elemento fundamental para o planejamento e organização da produção de toda a obra. Por fim, o autor supracitado conclui que a racionalização da construção passa necessariamente pela racionalização dos serviços de vedação vertical.

Em adição ao posicionamento apresentado acima – ao qual se alinha esta pesquisa, Espíndola (2010), propôs um projeto de habitação de interesse social, configurado por painéis verticais modulares, com o intuito de demonstrar a possibilidade de redução de custos e desperdícios em uma obra por meio da racionalização da produção da vedação vertical. Ao final de sua pesquisa, a autora indica ainda os custos estimados para cada subsistema do projeto proposto, dentre os quais o subsistema parede aparece como item mais oneroso. Tal pesquisa contribui para reafirmar os estudos de Franco (1998), ressaltando a dimensão estratégica que o desenvolvimento de projetos de vedação vertical voltados para a produção possui para a racionalização construtiva.

Para concluir, Franco (1998) elenca os objetivos do projeto da vedação vertical que justificam sua relevância:

- a) Servir como ferramenta de coordenação do projeto;
- b) Servir como base para o planejamento da produção do subsistema e dos subsistemas com os quais tem interferência;
- c) Detalhar tecnicamente a produção deste subsistema, estudando e definindo as tecnologias de produção, tanto no que se refere às alternativas de materiais como de técnicas construtivas empregadas em cada caso;
- d) Servir como canal de comunicação eficiente entre projeto e planejamento e a produção e, ainda, entre todos os setores envolvidos na produção;
- e) Servir como base para o controle da produção da execução da vedação vertical.

2.1.1.3 Construtibilidade

Melhado (1994) argumenta que ao se buscar a racionalização construtiva “o projeto deve ser entendido como o cérebro do construtor”. Isso quer dizer que, para que se viabilize a otimização do uso dos recursos disponíveis na construção, preconizado pelo conceito de racionalização, faz-se necessário integrar o conhecimento e a experiência da execução a todas as etapas do empreendimento, refletindo, sobretudo, na etapa de projeto. A organização do processo de projeto, mesmo que menos imediatamente do que os efeitos da racionalização das atividades em canteiro, contribui amplamente para que se alcancem os objetivos de um programa de evolução tecnológica, promovendo uma maior amplitude dos resultados e assimilação dos conhecimentos dentro da prática da empresa.

É sob esse prisma que se desenvolve o conceito de construtibilidade, tomado como um valioso instrumento para a obtenção de patamares elevados de racionalização construtiva (FRANCO, 1998).

O termo construtibilidade é um neologismo criado na década de 1980 simultaneamente nos Estados Unidos – *constructability* – e na Inglaterra – *buildability*, cujo significado morfológico é dado por Sabbatini (1989) como: “habilidade (de algo) em ser construível ou a qualidade do que é capaz de ser construído”. Para esse mesmo autor, a adoção de uma metodologia de projeto que incorpore o conceito de construtibilidade possibilita o aperfeiçoamento da aptidão que o objeto

do projeto (edificação e suas partes) tem de ser construído e pode ser entendida, nesse contexto, como uma ação totalmente voltada para a racionalização construtiva.

O *Construction Industry Institute* (CII) apresenta uma definição que, embora mantenha coerência com o sentido semântico do termo, sublinha que o conceito de construtibilidade abarca significados mais amplos: “é a incorporação eficaz do conhecimento e da experiência em construção às fases de planejamento, projeto, contratação e operações em canteiro, visando alcançar os objetivos globais do empreendimento” (CII, 2006).

Segundo Jergeas & Van der Put (2001), haja vista que materiais e mão-de-obra constituem as parcelas de maior influência sobre a composição de custos, sobre o cronograma e a qualidade final do produto, a consideração dos requisitos de construtibilidade conduz a uma abordagem orientada à execução desde as etapas de planejamento e projeto do empreendimento. Ainda, Griffith (1987) complementa que tal prática pode efetivamente fazer com os projetos favoreçam uma execução mais fácil, rápida e barata das obras. Diante disso, fica evidente a relevância do papel dos projetistas na superação dos níveis de construtibilidade.

No entanto, mesmo em face dos benefícios da adoção da construtibilidade, atestados em diversos estudos, aquela ainda é pouco considerada na elaboração dos projetos, conforme observam Fisher & Tatum (1997). Os autores argumentam que isso decorre, dentre outras razões, da falta de uma base clara e objetiva de conhecimento sobre construtibilidade que orientem a aplicação de seus princípios diretamente nas decisões de projeto.

Diante disso, para que se melhor compreenda as implicações práticas da construtibilidade no projeto, foram agrupadas as suas principais diretrizes que influenciam diretamente no processo de projeto de edificações que tenham a racionalização construtiva como premissa.

a) Buscar o equilíbrio de objetivos que harmonize as necessidades de concepção do produto e do processo/ Formular o empreendimento dentro de uma mentalidade industrial/ Redução de componentes x flexibilidade;

A tendência de industrialização da construção reflete a necessidade do setor em obter aumento de produtividade e redução de custos, prazos e desperdícios, além do aprimoramento da qualidade do produto. Ao mesmo tempo, os edifícios devem estar aptos a se adaptar com eficácia às redefinições cada vez mais velozes no estilo de vida de seus ocupantes.

As soluções para essa demanda têm se voltado à busca do equilíbrio entre a redução da variedade de componentes, por meio da padronização e normalização, e a preservação da flexibilidade, com a oferta de componentes construtivos modulares e versáteis que permitam ao projetista criar uma ampla gama de composições arquitetônicas.

O conceito de flexibilidade adotado por esta pesquisa vai ao encontro do entendimento de Bonin (1987), segundo o qual se relaciona à “possibilidade de se produzir diferentes edificações a partir de um conjunto de subsistemas e com a possibilidade de se alterar a edificação facilmente durante o tempo de sua utilização”. Sebestyen (1978) distingue ainda duas principais categorias de flexibilidade arquitetônica: a flexibilidade inicial e a flexibilidade contínua.

Para Sebestyen (1978), a flexibilidade inicial ou de projeto diz respeito a um atributo do sistema construtivo a partir do qual se é possível conceber vários edifícios – ou várias unidades residenciais – por meio de um conjunto restrito de componentes ou partes disponíveis do sistema. O grau de flexibilidade inicial de um sistema pode ser medido pelo número de variações arquitetônicas razoavelmente possíveis.

Já a flexibilidade contínua, também denominada flexibilidade posterior, funcional ou flexibilidade permanente, está relacionada à aptidão do sistema construtivo em gerar possibilidades de adaptação dos espaços de um edifício ao usuário. O grau de flexibilidade contínua pode ser medido pelo número de adaptações razoavelmente possíveis.

b) Reflexionar, desde os estudos iniciais de projeto, sobre os métodos construtivos mais apropriados para o tipo de obra que se quer executar, optando por aquele que mais favoreça a eficiência na execução;

Um gargalo para a introdução de novas tecnologias construtivas e o conseqüente aprimoramento do setor brasileiro da construção é a falta de integração entre as atividades de projeto e execução. Os

profissionais que atuam no processo de projeto em um empreendimento não raramente desconsideram as características dos componentes construtivos que serão empregados na obra – dimensões, tolerâncias de fabricação e juntas necessárias – bem como as operações de assentamento e montagem que decorrem do método construtivo adotado. Em consequência disso, faz-se necessário, por exemplo, na execução do edifício, realizar cortes e ajustes nos componentes para que estes se adequem às dimensões dos ambientes previstas em projeto. Essa prática resulta em desperdício de material, de mão-de-obra e, em última instância, de capital, refletindo também sobre os custos finais do produto para o consumidor.

c) Promover a comunicação adequada entre projeto e execução/ Buscar a exposição mais precisa e eficaz das intenções contidas no projeto;

A construtibilidade, no entender de Melhado (1994), pode ser traduzida como um atributo daquilo que é fácil de ser construído. Quando nos deparamos, por exemplo, com algo que deve ser montado, a atitude mais comum é ler seu manual de instruções para dali obter as diretrizes sobre a correta montagem do produto. Em geral, os manuais contêm as instruções precisas e detalhadas para que o consumidor consiga, por si só, efetuar a montagem, sem que seja preciso improvisar ou recorrer ao fabricante. A intenção é que o produto final fique de acordo com o que foi idealizado pelo fabricante e com a expectativa do consumidor que o adquiriu. Assim deve ser com o projeto de um edifício, deve conter todas as informações necessárias a sua adequada execução. Deve identificar e especificar as soluções de maior construtibilidade, isto é, aquelas capazes de facilitar e agilizar a obra, esclarecendo em detalhes como se dará sua implementação, de modo que se tire maior proveito dos materiais, equipamentos e da mão-de-obra e sejam evitadas situações obscuras nas etapas de execução e controle.

d) Prever, em projeto, a sequência das etapas de execução;

Quanto menor for a complexidade da sequência operacional, mais ágil e menos passível de falhas pode se tornar a montagem, pois reduz-se os itens para controle.

e) Simplificação do projeto, levando à execução mais fácil em canteiro/ Detalhes simples e precisos/ Adequação do nível de complexidade técnica do detalhamento do projeto (detalhes simples e inteligentes);

A simplificação do projeto pode ser promovida pelo emprego de um número restrito de componentes ou elementos, incluindo a incorporação de vários componentes ou funções em um único elemento construtivo, sempre que possível, e a especificação de materiais de fácil instalação, que não dependam de mão-de-obra especializada e exijam poucos cuidados no armazenamento e transporte.

A redução de componentes do produto ou processo facilita o gerenciamento da execução do produto e o controle da qualidade. Segundo Pereira (2005), o aumento do índice de repetição de um componente pode conduzir ao aumento da produtividade global da construção e redução de seu custo; na prática, a autora supracitada conclui que a repetitividade e a baixa diversidade de componentes podem servir de parâmetros para avaliar a qualidade do projeto de um produto voltado à construção.

Por fim, deve-se evitar, de preferência, ângulos, inclinações e superfícies curvas e simplificar detalhes de projeto de modo a promover menor complexidade de execução no canteiro.

f) Especificar, sempre que possível, componentes pré-moldados, modulares ou pré-montados, tendo em vista facilitar a fabricação, o transporte e a montagem e reduzir os custos e prazos/ Adequação do peso dos elementos construtivos às possibilidades de montagem;

g) Buscar a especificação de componentes normalizados, de modo a promover a padronização de informações/ Adotar a coordenação modular;

A normalização visa reduzir a variedade de tamanhos e formas de componentes produzidos pela indústria. Sua implementação deve estar associada à adoção da coordenação modular, cujo objetivo é ordenar as relações das medidas da edificação e de suas partes, promovendo o melhor aproveitamento dos insumos empregados. A normalização leva à 1- resolução prévia de detalhes construtivos, que são generalizados e simplificados; 2- tipificação e padronização (das partes), sem, contudo,

padronizar o produto final edificação e à; 3- intercambialidade, gerando maior flexibilidade no projeto (possibilidade de adaptações) e nas especificações para os componentes quanto a aspectos comerciais (possibilidade de substituições). A seguir, apresenta-se explicação para os conceitos de flexibilidade, padronização e modulação adotados nesta pesquisa:

A **flexibilidade** buscada em um projeto deve ser, para Hertzberger (2006), uma flexibilidade mínima capaz de proporcionar uma solução ótima, por meio de uma forma que contemple várias possibilidades de uso sem que ela própria precise sofrer grandes mudanças. Brandão (2002) ressalta o papel das construções flexíveis, em que as novas edificações já prevejam possíveis mudanças ulteriores, na obtenção futura de economia de custos. Segundo Pereira (2005), a flexibilidade nos processos construtivos pode ser proporcionada pela variedade arquitetônica em pequenos lotes de habitações, ou em uma industrialização aberta, que se relaciona à padronização do processo construtivo. Essa padronização não implica a produção de edificações idênticas e, sim, o projeto de componentes, elementos e unidades funcionais, ditos flexíveis, cuja produção se dê por meio de um conjunto de operações repetitivas e que favoreça a flexibilidade descrita por Hertzberger (2006).

A **padronização** está assentada na uniformização do produto; quanto ao aparente conflito entre diversificação de demanda e controle da variabilidade nos processos construtivos, Pereira (2005) explica que não se trata de uma padronização absoluta e, sim, da determinação de um padrão flexível que permita ampliar o controle sobre o processo de trabalho, resultando em melhoria contínua sobre a qualidade do produto.

Por fim, a **modulação** permite relacionar as medidas de componentes e elementos construtivos às medidas de projeto dos espaços, em uma composição arquitetônica, por meio de um reticulado espacial de referência. Promove a intercambialidade entre componentes e seu melhor aproveitamento, limitando a necessidade de cortes e reduzindo o desperdício.

2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA E A INDUSTRIALIZAÇÃO

Há uma diversidade de critérios adotados pelos autores para classificar os sistemas e processos construtivos em madeira, que variam de acordo com o país ou a região, em função de sua tradição construtiva e o estágio tecnológico em que se encontra o setor (INO, 1992). Nesta pesquisa, propõe-se uma classificação à parte, tomando como ponto de partida dois critérios globais, definidos por Ino (1992) a partir da literatura internacional:

- a) O **critério estrutural**, que sistematiza os sistemas construtivos em madeira à luz de suas diferentes soluções estruturais. Dentro deste item, sugere-se a subdivisão em dois grupos: aquele cujos elementos de ossatura e vedação atuam de forma integrada para promover o equilíbrio estrutural da edificação; e aquele cuja ossatura independe dos elementos de vedação para promover o equilíbrio estrutural da edificação;
- b) O **critério produtivo**, que considera o grau de industrialização dos processos construtivos.

2.2.1 Conceituação preliminar

De início serão apresentadas as definições adotadas nesta pesquisa para **sistemas, subsistemas e processos construtivos**.

Para Picarelli (1986), entende-se por **sistema construtivo** o conjunto de materiais, componentes e elementos empregados segundo determinadas regras de combinação para concretizar o artefato arquitetônico. Seguindo sua linha de raciocínio, os materiais são transformados para constituir os componentes que, combinados, formam os elementos. Os elementos reunidos, por sua vez, geram os subsistemas e estes, finalmente, o sistema construtivo.

Os autores Basso e Martucci (2002) explicam que os **subsistemas** que compõem um determinado sistema construtivo são definidos a partir de suas características específicas e funções técnicas desempenhadas em relação ao edifício e ao sistema construtivo como um todo. Desse modo, um sistema construtivo para edificações habitacionais poderia estar subdividido em subsistema estrutural, subsistema de vedações externas e divisórias internas, subsistemas

elétrico e hidráulico e subsistemas complementares como circulações verticais, condicionadores de micro clima, etc. Oliveira (1994, apud Krambeck, 2006) define ainda subsistema como uma parte da edificação que funcione independentemente das outras e que possa ser avaliada isoladamente em relação ao sistema construtivo principal.

A definição dada por Basso e Martucci (2002) para sistema construtivo também se enquadra no contexto desta pesquisa:

Os sistemas construtivos representam, dentro do quadro da construção de edificações, um determinado estágio tecnológico historicamente definido, indutor da forma de se projetar e executar os edifícios, ou seja, sintetizam o conjunto de conhecimentos técnicos e organizacionais, possíveis de serem combinados, em função dos graus de desenvolvimento tecnológico encontrados tanto na indústria de materiais de construção, componentes e subsistemas construtivos, quanto na indústria de máquinas, equipamentos, ferramentas e instrumentos produzidos para o setor da construção civil (BASSO e MARTUCCI, 2002).

O **processo construtivo** define as formas e as capacidades técnicas e econômicas de se construir, no entender de Basso e Martucci (2002), e envolvem as etapas de projeto e execução. Assim, estabelece a tecnologia a ser aplicada na construção dando subsídio à definição do sistema construtivo, no projeto, e do processo de trabalho, na execução das edificações.

2.2.2 Classificação segundo o critério estrutural

2.2.2.1 Ossatura e Vedação integrados

Neste item são reunidos os sistemas construtivos em madeira nos quais a integração entre os elementos de ossatura e vedação é fundamental para o equilíbrio estrutural da edificação.

O primeiro sistema identificado baseia-se na superposição ou empilhamento de peças de madeira maciça, na forma roliça ou serrada,

representadas pelas *casas de troncos*, como designa Sánchez (1995). Na casa de troncos, as paredes, configuradas pelo **empilhamento de toras**, que podem ou não ter suas superfícies aplainadas, desempenham ao mesmo tempo três funções: a de vedação ou fechamento, a estrutural e, ainda, a de isolamento térmico.

Conforme Rabaroux (1988), esse sistema construtivo consome grande quantidade de material, em contrapartida, sua vantagem reside na exploração da propriedade física da madeira de apresentar baixa condutibilidade térmica. Assim, foi amplamente utilizado nas regiões de florestas abundantes e de inverno rigoroso, como o Canadá, a Rússia e países escandinavos e regiões alpinas.

De acordo com Mello (2007), esse sistema foi levado aos Estados Unidos por colonizadores escandinavos, onde obteve grande aceitação e difusão. Suas adaptações resultaram nas tradicionais *log cabins* e na sua evolução, as atuais *log homes* (FIGURA 1). Estas últimas integram atualmente um mercado bastante diversificado nos estados da região norte dos Estados Unidos e no Canadá, voltado principalmente a habitações de alto padrão.

Figura 1 – *Log home*.



Fonte: THEREALLOGHOMECOMPANY, 2011.

No sistema construtivo acima apresentado, observa-se que um único componente – a tora de madeira – é responsável pelo equilíbrio estrutural da edificação. Porém, também se destacam nesse mesmo grupo os sistemas *nervurados*. Embora os elementos de ossatura e vedação sejam constituídos por componentes construtivos dissociados nesse sistema construtivo, ambos atuam de forma integrada para prover resistência e rigidez ao conjunto da edificação.

Os **sistemas nervurados** têm origem no século XIX na América do Norte e seu desenvolvimento foi propiciado por dois principais fatores: a produção industrial de peças de madeira e dispositivos de ligação (pregos e cavilhas) em dimensões e seções padronizadas e a necessidade de dispor de um sistema rápido e eficaz de construção para a colonização do oeste norte-americano (SÁNCHEZ, 1995).

Apesar de constituídos por elementos de ossatura e vedação individualizados, nesse sistema construtivo a ossatura em madeira, composta por peças delgadas de pequena seção transversal, e as tábuas ou chapas de fechamento atuam como um conjunto estrutural integrado (SZÜCS, 1991) para formar as paredes, os pisos e a cobertura da edificação. Esses subsistemas reunidos configuram uma estrutura espacial rígida e resistente às ações verticais e horizontais.

Rabaroux (1988) explica que, de início, a técnica foi denominada sistema balão (FIGURA 2) ou *balloon frame*, na literatura internacional, pois empregava peças longas que venciavam mais de um pavimento e transmitiam os esforços diretamente para o solo, funcionando como um diafragma, tal qual um balão.

Figura 2 – Construção em sistema balão no estado de Nebraska (EUA), no ano de 1877.



Fonte: NBM.

A necessidade de peças longas para a armação da edificação ocasionou o declínio do sistema, apresentando diversas desvantagens como as citadas por Mello (2007): necessidade de peças em dimensões especiais para edificações com vários pavimentos, dificuldades na obtenção de rigidez no sistema, problemas de montagem no canteiro e segurança contra incêndio, uma vez que as peças contínuas não ofereciam barreiras eficientes à propagação do fogo.

Não obstante os problemas enfrentados e a sua superação, o sistema balão foi responsável por impulsionar o desenvolvimento da indústria de casas pré-fabricadas em madeira na América do Norte, segundo Mello (2007), culminando com o sistema plataforma, sistema construtivo empregado atualmente na quase totalidade das edificações residenciais norte-americanas.

A evolução do sistema plataforma – ou *platform system* – em relação ao seu antecessor reside principalmente na restrição do comprimento dos montantes à altura de um pavimento, que passaram a atuar em conjunto com a plataforma de piso para proporcionar rigidez à estrutura, o que possibilitou a construção de edificações com um número maior de pavimentos. O sistema plataforma, por suas características construtivas que favorecem a industrialização, a padronização de componentes e a racionalização da construção, é foco de estudo desta pesquisa e, portanto, será apresentado mais detalhadamente no último item deste capítulo.

2.2.2.2 Ossatura atuando independente da Vedação

Este grupo compreende os sistemas construtivos em madeira nos quais os elementos de ossatura por si só são capazes de assegurar o equilíbrio estrutural da edificação. Neles, os elementos de vedação cumprem a função de fechamento da estrutura, delimitando os espaços e promovendo controle visual, térmico e acústico do edifício.

Os sistemas construtivos conhecidos por *enxaimel*, ou por *colombage* na França (RABAROUX, 1988; STEIN, 1993), representam este grupo e são definidos por um **entramado estrutural**, em que se identifica uma nítida dissociação funcional entre estrutura e vedação. Os entramados estruturais são compostos por robustas peças verticais, horizontais e diagonais de madeira, que configuram uma armadura estável em seu plano e pelo material de fechamento que pode ser de pedra, tijolo ou barro amassado.

Segundo Mello (2007), as construções em enxaimel (FIGURA 3) surgiram da necessidade de otimizar o uso dos recursos florestais, sobretudo em regiões com menor disponibilidade de madeira. De início, os pilares eram contínuos do solo ao telhado, o que exigia peças longas e de grande seção, sendo, posteriormente, substituídos por pilares da

altura de um pavimento, completados por vigas de amarração que serviam de suporte para o pavimento superior.

Figura 3 – Construção em enxaimel.



Fonte: DECORECRIATIVO, 2013.

Rabaroux (1988) defende que é possível relacionar quase todos os sistemas construtivos contemporâneos em madeira ao sistema de entramado estrutural, cujo princípio de dissociação entre estrutura e vedação prevaleceu. O sistema apresentado na sequência teve origem na técnica do enxaimel, contudo apresenta hierarquização entre seus elementos estruturais.

Os **sistemas hierarquizados** caracterizam-se por empregar um número menor de elementos portantes que configuram estruturas com poucos pontos de apoio e grandes vãos. Os planos de fechamento não possuem função estrutural e podem ser compostos por elementos artesanais ou industrializados.

Representados principalmente pelo *sistema viga-pilar*, sua solução construtiva reside na disposição de vigas e pilares que atuam como pórticos, sendo travados horizontalmente por estruturas secundárias de pisos e cobertura. As diferentes soluções construtivas dentro desse sistema diferenciam-se pela forma das vigas e pilares, sua disposição e dispositivos de ligação (MELLO, 2007).

2.2.2.3 Construção com painéis industrializados de madeira

De acordo com Bittencourt (1995), a construção com painéis pré-fabricados em escala industrial representa uma evolução dos sistemas nervurados: possuem a mesma concepção estrutural do sistema

plataforma, mas se diferenciam por apresentarem um grau maior de industrialização não apenas dos componentes, como também dos elementos, subsistemas e até sistemas construtivos inteiros. Todavia, esse tipo de construção emprega um alto nível de tecnologia e requer uma indústria em avançado estágio de desenvolvimento para sua concretização, o que restringe bastante sua viabilidade segundo Szücs (1991).

Ino (1992) apresenta a classificação francesa para a construção com painéis portantes, de acordo com o *Centre Scientifique et Technique du Batiment*² (CSTB), segundo a qual se distinguem dois tipos: os painéis estreitos e os painéis largos.

Os **painéis estreitos** compreendem os painéis pré-fabricados cuja largura não ultrapasse 2,40 m e são normalmente estruturados por montantes espaçados de 30 a 60 cm, dependendo da carga da cobertura e dos pavimentos superiores (RABAROUX, 1988). Recebem amarração horizontal na base e no topo, realizada por intermédio das travessas inferiores e superiores, que são peças de madeira cujas seções geralmente equivalem às dos montantes. A largura final dos painéis também é definida em função do material de fechamento adotado, por se tratar de produto industrial – chapas de compensado, placas OSB³.

Em 1941, os arquitetos Walter Gropius e Konrad Wachsmann desenvolveram um sistema de construção com painéis de parede produzidos em série, feitos em madeira, alumínio e chapas de cimento-amianto, aplicados em projeto por meio de um reticulado espacial modular e unidos por meio de uma junta universal. Os painéis, que poderiam ser empregados em uma infinidade de escalas e configurações espaciais, chegaram a ser comercializados no mercado com o nome de *Packaged House System* (FIGURA 4).

² Centro científico e técnico da edificação. <www.cstb.fr>.

³ *Oriented Strand Board* ou painéis de partículas orientadas, um aglomerado estrutural de partículas do tipo “*strand*” orientadas (IWAKIRI, 2005).

Figura 4 – Packaged House System de Gropius e Wachsmann. Fotos de Jörg Zimmermann.



Fonte: STYLEPARK, 2012.

Os **painéis largos**, por sua vez, diferem dos primeiros por serem produzidos segundo uma demanda específica de cada projeto. O transporte e a montagem desses painéis requerem equipamentos especiais como guias e guindastes (FIGURA 5). Os painéis largos são também referenciados como sistema panelizado de construção (VELLOSO; TEREZO; SZÜCS, 2008).

Figura 5 – Etapas de montagem de uma edificação no sistema panelizado.



Fonte: NAHB.

Ambos os tipos de painéis são fabricados segundo um sistema modular e podem ser do tipo semifechados (ossatura + fechamento exterior ou interior) ou do tipo fechados (ossatura + fechamento exterior e interior + componentes hidráulicos e elétricos) (BITTENCOURT, 1995).

Os sistemas construtivos mais adotados na atualidade representam variações mais ou menos ricas dos sistemas hierarquizados ou nervurados, tendo agregado ao longo do tempo os avanços tecnológicos que geraram novas soluções para os elementos de ligação, de fundação e de isolamento térmico e acústico.

Na atualidade, as variações observadas nos sistemas construtivos em madeira diferem, sobretudo, quanto ao grau de industrialização. Diante disso, será apresentada na sequência a classificação dos sistemas segundo o critério produtivo, isto é, relativa ao nível de industrialização dos processos de produção de edificações que empregam sistemas construtivos em madeira.

2.2.3 Classificação segundo o critério produtivo

Como observado para os sistemas construtivos, é possível encontrar diversas propostas de classificação segundo os processos construtivos na literatura técnica e científica. Na sequência, são apresentadas duas sistematizações complementares para os processos construtivos.

A primeira delas foi elaborada por Krambeck (2006), que utiliza como referência as obras de Martucci (1990)⁴ e de Arruda (2000)⁵. A autora descreve os processos construtivos como **não industrializados** (artesanal e tradicional), **semi-industrializados** (tradicional racionalizado e pré-fabricado parcialmente) e **industrializados**.

Os processos construtivos não industrializados subdividem-se em *artesanais* e *tradicionalis* e caracterizam-se pela pouca transformação nos materiais empregados. No processo artesanal, o mais antigo, um grupo formado por residentes do local da obra ou mesmo por uma família, em geral, encarrega-se da execução da construção, empregando materiais disponíveis na região e que passam por mínimos processos de transformação, dando origem a uma arquitetura vernacular⁶.

⁴ MARTUCCI, R. **Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?** Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, 1990.

⁵ ARRUDA, M. P. de. **Diretrizes para projeto arquitetônico de habitação social produzida por mutirão.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

⁶ “Arquitetura vernacular é todo o tipo de arquitetura em que se empregam materiais e recursos do próprio ambiente em que a edificação é construída, caracterizando uma tipologia arquitetônica com caráter local ou regional” (MARQUES, AZUMA e SOARES, 2009).

Já no processo tradicional, os materiais são produzidos em fábrica e passam por poucas transformações. Krambeck (2006) cita a autoconstrução de edificações em madeira no Brasil como exemplo, processo construtivo no qual as peças empregadas chegam das serrarias previamente cortadas nas seções em que serão utilizadas, tendo apenas seu comprimento ajustado durante a execução da obra.

Nos processos construtivos semi-industrializados, distinguem-se dois grupos: o *tradicional racionalizado* e o *pré-fabricado parcialmente*. O primeiro surgiu a partir da busca por uma maior racionalização do processo produtivo, em razão da necessidade da redução de custos da obra por meio do aumento da produtividade. Pode ser considerado o precursor dos métodos de pré-fabricação industrial uma vez que os componentes, embora não recebam tratamento na usina – o que exige ferramentas e equipamentos mais complexos – são pré-cortados nas seções e comprimentos pré-estabelecidos e recebem furação preliminar e codificação para posterior identificação no canteiro.

O processo construtivo classificado como pré-fabricado parcialmente, por sua vez, compreende um maior número de tarefas realizadas na unidade industrial, onde são produzidos componentes e elementos por meio de equipamentos mais sofisticados de usinagem e gabaritos ou mesas de pré-fabricação, proporcionando maior rigor construtivo. As tarefas desenvolvidas em canteiro limitam-se à montagem e união dos elementos, que, em geral, podem ser executadas pela própria mão-de-obra.

Por fim, nos processos construtivos industrializados, o conjunto da edificação é produzido na indústria quase na totalidade de seus componentes, elementos e subsistemas, podendo ser confeccionados, ainda, módulos funcionais e tridimensionais (KRAMBECK, 2006). A montagem no canteiro requer apenas algumas horas, porém, necessita de mão-de-obra altamente especializada.

A segunda sistematização, de acordo com o critério produtivo, baseia-se em Sabbatini (1989), que distingue os processos construtivos entre **tradicional**, **racionalizados** e **industrializados**.

Os processos tradicionais baseiam-se na produção artesanal e são caracterizados pela demanda intensiva de mão-de-obra, baixo nível de mecanização e altos índices de desperdício de mão-de-obra, material e tempo. Além disso, Sabbatini (1989) destaca também a dispersão e subjetividade nas decisões e a descontinuidade e fragmentação da obra

como inerentes aos processos tradicionais. De acordo com Farah (1996), na construção tradicional, os projetos retratam somente a forma final da edificação (projeto arquitetônico) ou aspectos convencionais relativos aos subsistemas construtivos (projeto estrutural, de fundações, de instalações, entre outros). Não fornecem detalhes de execução nem estabelecem diretrizes quanto à sucessão das etapas de trabalho, cabendo, na maioria das vezes, aos operários a decisão de como proceder no canteiro para alcançar o resultado previsto no projeto.

Nos processos racionalizados, por sua vez, os projetos são elaborados com um maior nível de especificações técnicas, sendo realizados estudos detalhados dos projetos de instalações prediais, por exemplo. Os processos racionalizados visam à otimização dos recursos materiais, humanos e financeiros e ao aumento da produtividade. Farah (1996) cita como vantagens desse processo: adequação à grande disponibilidade de mão de obra; flexibilidade diante das oscilações de demanda; implementação por pequenas e médias empresas, por não exigir grandes investimentos em capital fixo e adequação a recursos locais, tanto materiais quanto tecnológicos.

Segundo a classificação de Sabattini (1989), os processos industrializados são baseados no uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas, como as fábricas, e acoplados no canteiro. Utilizam preponderantemente os métodos industriais de produção, transporte e montagem.

2.2.4 Sistema plataforma tradicional

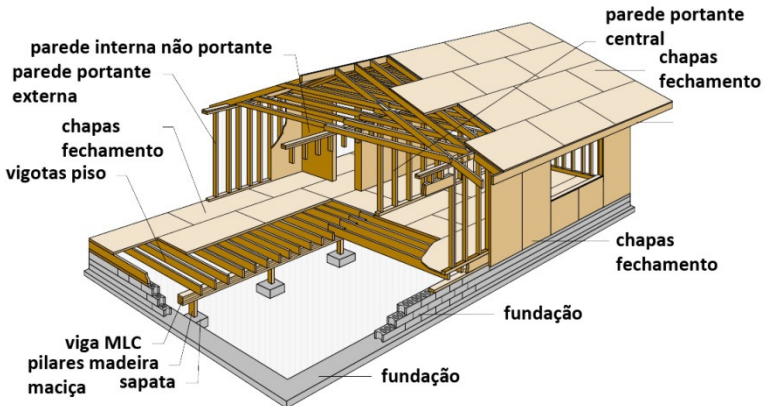
2.2.4.1 Apresentação do sistema

O sistema plataforma, descrito anteriormente como um sistema do tipo nervurado derivado do sistema balão, consiste em um entramado estrutural de peças de madeira maciça de pequenas dimensões, tais como 4 x 9 cm, e espaçadas de 30 a 60 cm entre si, que atuam em conjunto com as chapas estruturais de fechamento para compor as paredes e os pisos da edificação.

Diferencia-se do sistema balão por empregar montantes, cuja altura se limita à altura de um pé-direito. Os montantes e as travessas, denominadas de guias por alguns autores, configuram uma espécie de quadro e recebem as chapas estruturais que aliam as funções de

fechamento e contraventamento para formar as paredes portantes, sobre as quais se monta a plataforma de piso e, assim, os dois subsistemas se alternam para configurar os diversos pavimentos da edificação (FIGURA 6).

Figura 6 – Elementos de uma construção no sistema plataforma.



Fonte: Adaptado de APA, 1997.

Sánchez (1995) relaciona algumas características do sistema plataforma que o diferencia dos sistemas construtivos tradicionais em madeira:

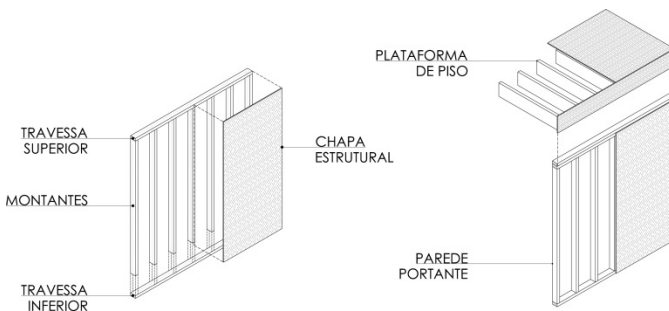
- (1) Os componentes construtivos podem ser padronizados e normalizados, o que favorece a pré-fabricação, a intercambialidade e a coordenação modular, contribuindo para a racionalização do processo construtivo;
- (2) Apresenta elevado grau de flexibilidade, tanto em relação ao projeto inicial, quanto a modificações futuras, se necessárias;
- (3) Agiliza o tempo de execução da obra, em função do grau de industrialização que pode ser alcançado;
- (4) Racionalização da mão-de-obra nas etapas de montagem: cada subsistema pode ser executado por equipes especializadas em momentos distintos da obra;
- (5) Simplicidade construtiva: as ligações entre componentes e entre elementos são simples, não exigindo juntas ou encaixes especiais, o que facilita a montagem;

- (6) Facilidade na execução de isolamento térmico e acústico da edificação, pois as cavidades entre a ossatura favorecem a passagem de instalações elétricas e hidráulicas e o preenchimento com materiais isolantes.

2.2.4.2 Funcionamento estrutural

De acordo com Santos (2005), as paredes portantes e plataformas de piso são painéis estruturados que atuam como paredes diafragma e diafragmas de piso, respectivamente. Os montantes que compõem os painéis de parede suportam as solicitações verticais dos pisos e da cobertura e são responsáveis pela rigidez transversal dos painéis estruturados. As chapas de madeira reconstituída fixadas aos montantes por meio de pregos criteriosamente espaçados fazem o fechamento e evitam a flambagem desses elementos estruturais (FIGURA 7).

Figura 7 – Parede portante e plataforma de piso no sistema plataforma.



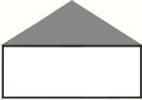
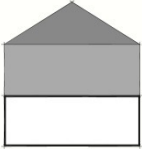
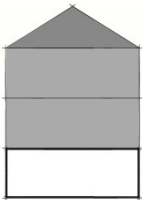
Esse sistema revela grande estabilidade e rigidez, resistindo de forma eficaz à ação de solicitações horizontais, como a ação do vento. Ainda segundo Santos (2005), a pressão resultante da ação do vento age sobre a superfície das chapas de fechamento e é distribuída para os montantes correspondentes nos painéis estruturados; assim, as reações horizontais necessárias para equilibrar os montantes, configuram-se em cargas aplicadas nos diafragmas horizontais de piso. As reações que devem equilibrar o piso, por sua vez, provêm dos diafragmas verticais – os painéis estruturados de parede ou *shearwalls* – que transmitem as cargas às fundações.

Os painéis de parede estão sujeitos à ação de forças verticais – que compreendem as cargas permanentes, como a ação da gravidade e do peso próprio dos elementos, e as sobrecargas de utilização – e horizontais, que serão consideradas neste trabalho apenas como a ação do vento, uma vez que no Brasil não há incidência considerável de furacões e terremotos.

As cargas verticais incidentes sobre as estruturas de piso e cobertura são descarregadas nos painéis de parede por meio das vigotas de piso e dos caibros que se apoiam perpendicularmente sobre as travessas superiores dos painéis. No caso de paredes paralelas à disposição das vigotas ou dos caibros, aquelas podem receber o carregamento relativo ao peso próprio de uma parede que esteja situada logo acima, na existência de um pavimento superior. O manual norte-americano *Wood Frame Construction Manual* (AF&PA; AWC, 2005) restringe a altura de paredes portantes a 300 cm e de paredes não-portantes a 600 cm.

Os montantes que configuram a ossatura dos painéis de parede devem ser adequadamente dimensionados e espaçados de modo a conferir rigidez transversal aos elementos gerados (SANTOS, 2005). São geralmente empregados com seções 2" x 4" (38 x 98 mm), 2" x 5" (38 x 120 mm) e 2" x 6" (38 x 140 mm), com espaçamentos que variam de 300 a 600 mm entre eixos, dependendo da carga e das restrições impostas pelo tipo e pela espessura da chapa de fechamento adotada (CMHC, 1998). Segue na Tabela 1 a relação entre as seções dos montantes e do seu espaçamento com as cargas impostas na edificação, conforme apresentado pelo *International Residential Code* (IRC) (2003):

Tabela 1 – Espaçamentos e dimensões mínimos dos montantes das paredes externas.

Carga		Espaçamento máximo entre montantes (mm)	Dimensões mínimas do montante (mm)	Altura máxima do montante (cm)
	Suporta apenas a cobertura	60 (24")	38 x 89 (2" x 4")	300 (10')
	Suporta um pavimento e a cobertura	40 (16")	38 x 89 (2" x 4")	300 (10')
		60 (24")	64 x 89 (3" x 4")	
			38 x 120 (2" x 5")	
	Suporta dois pavimentos e a cobertura	40 (16")	64 x 89 (3" x 4")	300 (10')
			38 x 140 (2" x 6")	
			38 x 140 (2" x 6")	

Fonte: Adaptado de *International Residential Code (IRC)*, 2003.

Quando há coincidência de modulação entre vigotas de piso, caibros e montantes, as travessas superior e inferior ficam sujeitas à compressão normal às fibras, nos pontos de apoio. Porém, quando os componentes de piso e cobertura não se alinham com os montantes das paredes, as travessas superiores ficam submetidas também a esforço de flexão simples (DIAS, 2005).

Nos painéis com aberturas que recebem carregamento vertical proveniente de uma estrutura de entrepiso ou de cobertura, as vergas de janelas e portas devem ser dimensionadas como vigas biapoiadas submetidas à flexão simples. Quanto maior o vão de abertura da porta ou janela, mais robusta deverá ser a verga.

Já para fazer frente à ação de forças horizontais, as paredes estruturais, que recebem as solicitações no próprio plano (laterais),

devem ser capazes de oferecer resistência e rigidez, conferindo estabilidade lateral à edificação. Na sequência são apresentados alguns parâmetros que influenciam no comportamento de paredes estruturais, reunidos por Dias (2005).

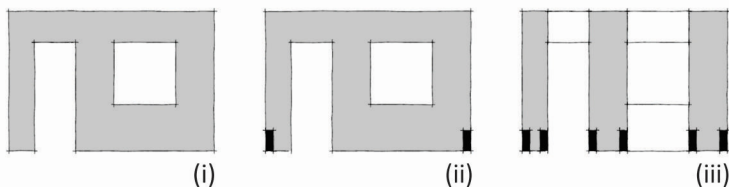
a) Comprimento das paredes

Exerce influência direta na capacidade resistente de uma parede submetida a carregamento lateral. Quanto maior o comprimento, maior será a força suportada pela parede. De acordo com o Eurocode 5 (2003), para que um painel de parede contribua com a rigidez estrutural em seu plano, seu comprimento deve ter no mínimo $\frac{1}{4}$ de sua altura.

b) Fixação e ancoragem dos painéis de parede à fundação

De acordo com Heine (1997, *apud* Dias, 2005), os dispositivos de ancoragem melhoram o desempenho global de paredes estruturais. Existem três níveis de ancoragem da parede lateral, seja à fundação, seja aos componentes do pavimento inferior, segundo Dias (2005): (i) ancoragem convencional; (ii) ancoragem dos montantes extremos da parede; (iii) ancoragem de cada segmento plenamente fechado de parede (FIGURA 8).

Figura 8 – Diferentes níveis de ancoragem e fixação das paredes estruturais.

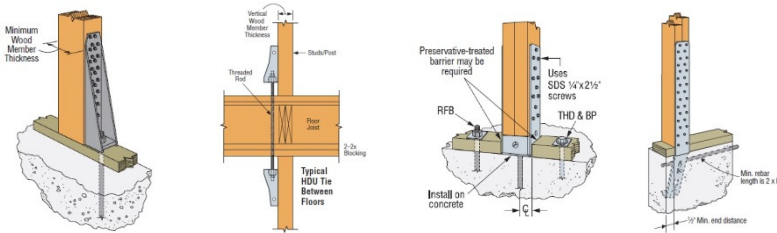


Fonte: Adaptado de Dias, 2005.

O primeiro tipo de ancoragem dispensa o emprego de dispositivos metálicos especiais, embora diversos códigos prescrevam seu uso. Essa prática, bastante recorrente, consiste em fixar os painéis à base por meio de parafusos de fixação ou pregos unindo a travessa inferior da ossatura à fundação ou ao entrepiso.

No tipo (ii), são especificados dispositivos metálicos especiais nos extremos de uma face de parede, como os ilustrados na Figura 9. Devem ser previstos parafusos de fixação ao longo da travessa inferior, para impedir o deslocamento horizontal da parede.

Figura 9 – Dispositivos de ancoragem.



Fonte: Catálogo da *Simpson Strongtie – Wood Construction Connectors*, 2013-2014.

A ancoragem do montante extremo tracionado é especialmente importante em casos de paredes com grande altura ou paredes curtas (valores elevados da relação altura/comprimento).

Já no tipo (iii), além da ancoragem dos montantes extremos, cada segmento fechado de parede – ou como são denominados nesta pesquisa os módulos painéis de parede – é ancorado por meio de dispositivos metálicos. Este tipo é especificado para regiões onde incidem abalos sísmicos ou furacões.

c) Presença de aberturas de portas e janelas

Painéis que possuem aberturas apresentam menor rigidez e resistência que painéis cegos. Ensaios realizados por Heine (1997) *apud* Dias (2005) demonstraram que a presença de dispositivos de ancoragem nos montantes extremos contribuiu significativamente para o aumento da força máxima de paredes com aberturas.

d) Densidade de pregos

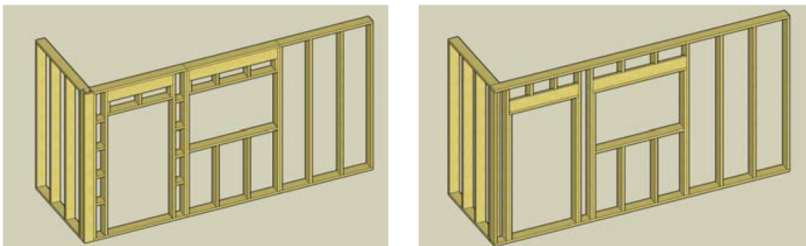
De acordo com Natterer *et al* (2004), a resistência e rigidez do painel de parede estrutural são proporcionais ao espaçamento entre os pregos ou parafusos dispostos para a fixação das chapas OSB à ossatura.

A densidade desses componentes de fixação em uma construção com ossatura em madeira deve prever um espaçamento máximo de 150 mm na periferia das chapas e de 300 mm no centro ou nos montantes intermediários.

Em adição aos critérios de desempenho estrutural elencados até aqui, cita-se, por fim, um artigo publicado por Velloso, Terezo e Szücs (2008), no qual são apresentados resultados de ensaios realizados em escala real no Laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os ensaios permitiram comparar o desempenho face à ação de forças horizontais de uma parede no sistema plataforma executada no sistema panelizado, isto é, na forma de um painel de parede montado inteiramente em fábrica na dimensão final da parede, e uma parede no sistema plataforma constituída de módulos individuais de painéis pré-fabricados e reunidos em obra, para formar a dimensão final da parede.

Ambos os modelos ensaiados por Velloso, Terezo e Szücs (2008) foram configurados por um módulo cego, um módulo com abertura de janela e um com abertura de porta (FIGURA 10), assim definidos por se obter uma condição crítica de resistência e deslocamento, em função de apresentar apenas um único módulo cego para contribuir na resistência e rigidez ao conjunto. O carregamento horizontal foi aplicado no plano do painel, no vértice superior próximo de onde foi posicionado um módulo cego perpendicular para efetuar a ligação de canto e manter a parede na sua posição vertical.

Figura 10 – Configuração módulo por módulo formando a parede (à esquerda) e configuração de parede pré-fabricada no sistema panelizado (à direita).



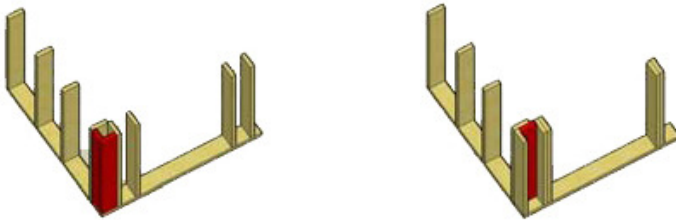
Fonte: Velloso, Terezo e Szücs, 2008.

Os resultados obtidos revelaram que ambas as soluções de composição de parede no sistema plataforma apresentam resistência

semelhante ao carregamento horizontal. No entanto, a parede composta por módulos revelou-se desfavorável em termos de rigidez, apresentando um deslocamento vertical do canto (arrancamento) de 2 mm com uma carga de 7381,50N, ao passo que a parede no sistema panelizado só atingiu o mesmo deslocamento com uma carga de 12146,30N.

Segundo os autores dos ensaios anteriormente relatados, essa diferença de comportamento relaciona-se diretamente à forma de execução dos cantos, em geral melhor concebida no sistema panelizado, conforme se observa na Figura 11.

Figura 11 – Solução de canto na parede composta por módulos (à esquerda) e no sistema panelizado (à direita).



Fonte: Velloso, Terezo e Szücs, 2008.

Conforme Sacco e Stamato (2008), a estrutura no sistema plataforma possui comportamento redundante e hiperestático, o que a diferencia das estruturas convencionais em madeira, como as do tipo pilar-viga que são geralmente isostáticas, podendo ruir se um único elemento falhar. A redundância, ou repetição de elementos de mesma função estrutural, observada no sistema plataforma, assegura a redistribuição de esforços caso um dos elementos deixe de cumprir sua função, possibilitando a redução das seções adotadas e a otimização do consumo de madeira.

Desse modo, para que se assegure a integridade estrutural de uma edificação no sistema plataforma, sujeita à ação de forças distribuídas, deve-se considerar as relações de equilíbrio entre seus elementos, em especial, as ligações entre seus diversos componentes.

2.2.4.3 Subsistemas

Além das paredes portantes e das plataformas de piso, cruciais para o funcionamento estrutural do sistema plataforma, este é composto também por outros subsistemas como: fundação, cobertura e instalações elétricas e hidrossanitárias, descritos na sequência.

a) Fundação

Como em todos os sistemas construtivos, a principal função da fundação é a de transmitir as cargas da edificação ao solo. No sistema plataforma, porém, a fundação ou base em geral não exige soluções complexas e onerosas, pois, segundo Dias (2005), está sujeita a cargas relativamente pequenas resultantes de uma estrutura leve em madeira. No entanto, o autor adverte que caso sua execução não seja cuidadosamente conduzida, de modo que a superfície fique bem nivelada, no esquadro e com medidas precisas, o andamento da obra pode ser comprometido, sendo necessários trabalhos de retificação.

As soluções para as fundações podem ser divididas segundo duas tipologias: edificações com e sem porão (SÁNCHEZ, 1995).

Em virtude de fatores climáticos e culturais, edificações com porão são muito comuns nos Estados Unidos e no Canadá, países em que o sistema plataforma é amplamente difundido, recorrendo-se, nesses casos, à escavação do terreno e à construção de muros laterais de contenção em alvenaria, concreto armado ou em madeira tratada, sobre os quais se ergue a edificação.

Na tipologia habitacional brasileira, o projeto de subsolos não é tão habitual, sendo mais recorrente, assim, a especificação de fundações superficiais. Segundo Dias (2005), as soluções mais empregadas variam conforme as condições específicas de cada terreno, podendo ser:

- (1) Laje do tipo *radier*;
- (2) Fundações com sapatas de pescoço alongado e cintas de amarração;
- (3) Fundações com sapata corrida, com vigas baldrame sob o alinhamento das paredes ou,
- (4) Estacas de concreto ou postes de madeira tratada.

b) Parede

Os painéis de parede conformam-se basicamente a partir de uma ossatura em madeira maciça, chapas estruturais de fechamento, que possuem a função de contraventamento, e dos revestimentos externo e interno. Além disso, podem receber materiais de isolamento térmico e acústico nos vãos entre os componentes da ossatura.

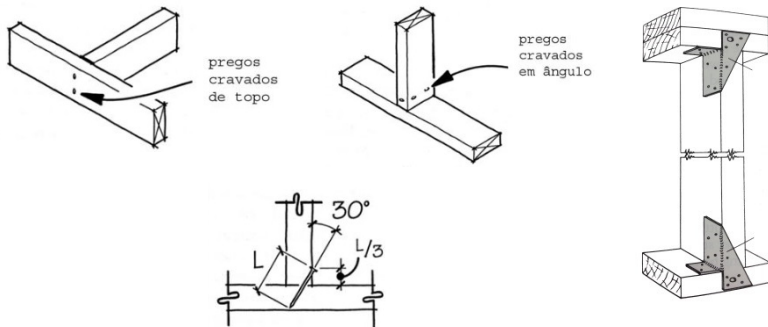
Os montantes e as travessas inferior e superior, empregados com seções padronizadas, formam quando reunidos uma espécie de quadro, configurando a ossatura dos painéis de parede. Esse quadro pode ser produzido em fábrica, recebendo também as chapas de fechamento e, por vezes, até as instalações elétricas e hidrossanitárias, ou montado no próprio canteiro de obras.

As seções dos montantes que constituem a ossatura dos painéis de parede e o espaçamento adotado entre eles devem atender a requisitos de desempenho estrutural, como a carga a que estarão sujeitos na edificação. De acordo com Sánchez (1995), a seção padronizada mais empregada na América do Norte é de 2" x 4", correspondente a 38 cm x 89 mm nas seções comercializadas no Brasil (VELLOSO, 2010). Porém, seções maiores podem ser necessárias em função da carga a que a estrutura estará submetida, como, por exemplo a seção nominal de 2" x 6", ou de 38 cm x 140 mm.

O espaçamento entre montantes pode variar de 30 a 60 cm. Dias (2005) ressalta que é recomendável adotar a mesma modulação para pisos e paredes, de modo a evitar uma eventual excentricidade na transferência das cargas gravitacionais das vigotas de piso para os montantes da ossatura da parede correspondente.

De acordo com Woeste (2001), as ligações entre montantes e travessas inferior e superior podem ser realizadas por meio de pregos cravados de topo ou em ângulo, ou ainda por meio de conectores metálicos (FIGURA 12).

Figura 12 – Tipos de ligações entre montantes e travessas.



Fonte: WOESTE, 2001/ FEIRER; HUTCHINGS; FEIRER, 1993.

No pavimento térreo, as travessas inferiores podem ser fixadas diretamente à fundação ou apoiarem-se sobre uma travessa de base, denominada guia de ancoragem, cuja seção pode ser a mesma dos montantes e das demais travessas. O emprego da guia de ancoragem, que deve ser instalada ao longo de toda a fundação, facilita a execução e aumenta a precisão no nivelamento e alinhamento dos painéis de parede, embora acarrete maior consumo de material. A fixação pode ser feita por meio de ganchos de ancoragem posicionados no concreto antes da cura ou por meio de parafusos auto-atarrachantes – *parabolts* – inseridos no momento da fixação dos painéis (FIGURA 13).

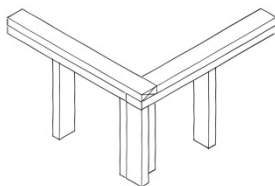
Figura 13 – Tipos de ancoragem: ganchos de ancoragem e parafusos chumbadores.



Fonte: Silva, 2004.

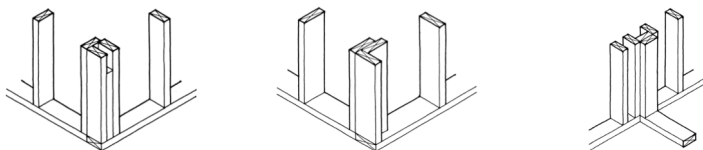
As travessas superiores, por sua vez, devem ser duplas, ou seja, deve-se empregar uma travessa contínua sobre os painéis de parede (FIGURA 14), denominada por alguns autores de frechal, que transpasse as peças nos encontros entre painéis de canto e também nas emendas longitudinais (DIAS, 2005).

Figura 14 – Travessa superior dupla.



Os encontros entre painéis de parede devem apresentar soluções que visem ao reforço da região, uma vez que consistem em pontos de maior tensão, segundo Thallon (2000). Podem ser empregados montantes de seções maiores que o padrão utilizado ou ainda montantes duplos (FIGURA 15), como recomenda a maioria dos códigos norte-americanos (DIAS, 2005).

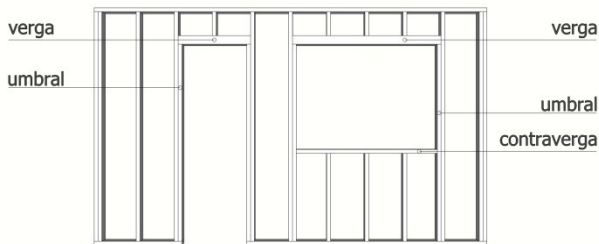
Figura 15 – Soluções para os encontros entre painéis de parede.



Fonte: THALLON, 2000.

Com relação às aberturas de portas e janelas, é preciso dispor de determinados componentes especiais como as vergas, contravergas e umbrais, de modo a estruturar o vão que será liberado. Os componentes descritos estão ilustrados na figura a seguir (FIGURA 16):

Figura 16 – Ossatura de parede com aberturas de porta e janela.



Fonte: a autora, 2012.

As vergas estruturam a porção superior da abertura e apoiam-se sobre os umbrais, peças de mesma seção que os demais montantes, mas com a altura restrita ao nível da verga. Cada umbral deve ser fixado ao montante adjacente. Assim, dependendo da posição da abertura pode ser necessário acrescentar montantes extras ao lado dos umbrais das portas e janelas. A contraverga, peça única de mesma seção dos montantes, é disposta com seu maior eixo de inércia na horizontal e apoia-se sobre os montantes interrompidos na altura do peitoril da janela.

O fechamento dos painéis de parede faz-se a partir de chapas estruturais fixadas apenas à face externa ou em ambas as faces da ossatura de madeira. De acordo com Dias (2005), as chapas podem ser de madeira reconstituída, como compensado estrutural e OSB, de painéis compósitos como os painéis cimento-madeira ou, ainda, de tábuas de madeira dispostas na diagonal. As primeiras são a opção mais empregada, sobretudo no fechamento da face externa da ossatura, por possuírem resistência muito superior às outras opções.

De acordo com Iwakiri (2005), as chapas OSB têm recebido destaque em diversas aplicações, num cenário antes dominado pelo painel compensado de lâminas, em função dos seguintes fatores:

- 1- Redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação;
- 2- O “OSB” pode ser produzido a partir de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial e;

- 3- O comprimento das chapas OSB é definido em função da tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras como no caso de compensados.

Ainda conforme Iwakiri (2005), o princípio de fabricação de painéis aglomerados faz com que esse produto agregue uma série de vantagens em relação aos painéis compensados e à madeira serrada, tais como:

- a) Eliminação de efeitos da anisotropia da madeira, ou seja, as alterações dimensionais e resistência mecânica nas direções longitudinal e transversal do painel são similares;
- b) Eliminação de fatores redutores da resistência da madeira como nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adulto, entre outros;
- c) Menores exigências em termos de matéria-prima como diâmetro, forma do fuste, defeitos, entre outros e;
- d) Menor custo de produção, relacionando principalmente a qualidade da madeira e mão de obra.

Apesar de estáveis dimensionalmente, as chapas de madeira reconstituída podem sofrer variações dimensionais, principalmente nos estágios iniciais de vida da edificação, quando o material está se equilibrando às condições higroscópicas do local. Assim, os códigos de construção norte-americanos, bem como as empresas que comercializam o produto, recomendam prever uma folga entre chapas adjacentes de 3 mm (DIAS, 2005).

A espessura mínima das chapas estruturais é determinada em função do espaçamento adotado entre montantes. Além do espaçamento máximo admitido entre montantes, deve-se considerar também, no caso de paredes externas, o material de revestimento aplicado sobre as chapas para determinar sua espessura mínima, conforme a Tabela 2:

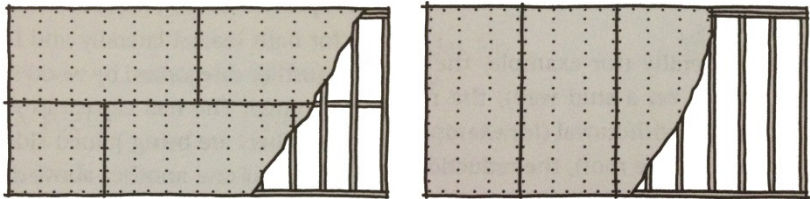
Tabela 2 – Espessuras mínimas para chapas OSB aplicadas a painéis de parede externos.

Descrição do revestimento externo	Espaçamento máximo entre montantes (mm)	Espessuras mínimas das chapas OSB (mm)
Siding fixado na ossatura da parede	400	6
	600	7,5
Siding fixado ao OSB	600	7,5
Chapa cimentícia aplicada ao OSB	600	9,5
Revestimento de madeira vertical ou argamassa aplicados ao OSB	600	12,5

Fonte: *Structural Board Association (SBA), 1998.*

As chapas podem ser empregadas tanto na horizontal quanto na vertical, sendo esta última a posição mais adotada (FIGURA 17). Thallon (2000) defende que o posicionamento vertical das chapas possibilita que todo o seu perímetro seja pregado nos montantes e nas travessas da ossatura. No entanto, quando o pé-direito da edificação excede a altura das chapas ou, ainda, quando estas são posicionadas na horizontal, devem ser dispostos componentes bloqueadores entre montantes de modo a formar uma base para a fixação das chapas.

Figura 17 – Disposição horizontal e vertical das chapas.



Fonte: FEIRER; HUTCHINGS; FEIRER, 1993.

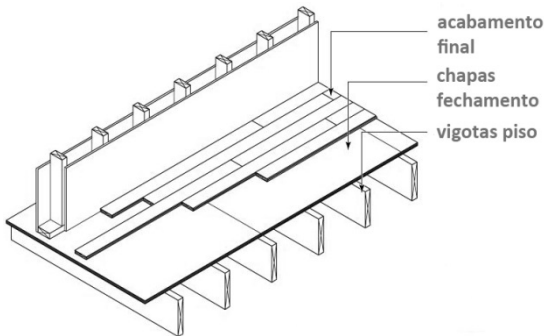
A pregação das chapas aos componentes de ossatura deve se dar de forma bastante criteriosa, de modo a impedir a flambagem dos montantes decorrente das cargas verticais. Além de em todo o contorno, as chapas devem ser pregadas à ossatura também em sua região central, respeitando, segundo Velloso (2010), um espaçamento máximo entre

pregos de 6" ou 15 cm no perímetro e espaçamento médio de 12" ou 30 cm no centro da chapa.

c) Piso

As plataformas de piso são compostas basicamente por uma trama estrutural configurada a partir de vigotas dispostas em paralelo e por uma camada de chapas de fechamento, aplicada sobre a trama estrutural (FIGURA 18).

Figura 18 – Estrutura de piso.



Fonte: Adaptado de SCHL, 2000.

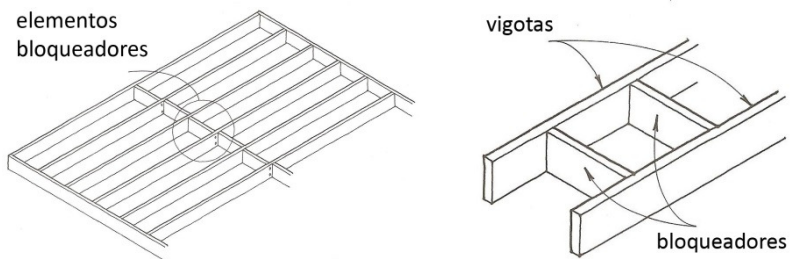
As vigotas, que são fixadas diretamente à fundação, no pavimento térreo, ou apoiadas sobre as travessas superiores dos painéis de parede, no caso de entrepiso, possuem em geral seção retangular e são confeccionadas em madeira maciça. De acordo com Velloso (2010), nos últimos anos as vigotas de seção racional com perfil "I", com flanges em madeira maciça e alma em OSB, têm alcançado bastante aceitação no mercado de componentes industrializados para a construção, por apresentarem melhor relação entre resistência e peso próprio.

O espaçamento entre as vigotas varia de 40 cm a 60 cm para edificações residenciais, segundo Sánchez (1995), e, de preferência, deve seguir a mesma distância adotada previamente para os montantes das paredes, de modo a promover a distribuição adequada das cargas da cobertura até a fundação.

No caso de vãos relativamente grandes a serem vencidos pelas vigotas, Feirer, Hutchings e Feirer, (1993) adverte para a necessidade de

fixação de componentes bloqueadores, ou enrijecedores, transversalmente à trama estrutural do piso, de modo a auxiliar no seu enrijecimento e prevenir uma eventual deflexão das vigotas (FIGURA 19). Além disso, o emprego de bloqueadores pode permitir que as chapas horizontais de fechamento sejam pregadas em todo seu perímetro (SANTOS, 2005). Assim, a disposição desses dispositivos, independentemente do vão a ser vencido, é uma boa prática, pois aumenta a rigidez das plataformas de piso (*blocked diaphragm*).

Figura 19 – Elementos bloqueadores.



Fonte: THALLON, 2000.

Nas extremidades das vigotas são fixadas chapas de fechamento lateral que auxiliam no travamento da estrutura do piso, função que é complementada pela pregação das chapas horizontais de fechamento que formam a superfície plana do piso e pelos bloqueadores entre as vigotas, descritos acima.

As chapas horizontais de fechamento, para as quais a madeira reconstituída também é bastante especificada, são fixadas por meio de pregos ou parafusos às vigotas e aos bloqueadores (quando existentes), após a devida fixação destes componentes à ossatura dos painéis de parede inferiores.

Por fim, o revestimento final do piso no sistema plataforma pode ser executado com diversos materiais de acabamento, como assoalhos e laminados de madeira, pisos cerâmicos, carpete, entre outros, que são assentados diretamente sobre a superfície plana formada pelas chapas de fechamento.

d) Cobertura

A estrutura de cobertura no sistema plataforma pode ser constituída por componentes tradicionais como terças e caibros, por vigas de seção I ou, ainda, por treliças pré-fabricadas com peças de madeira maciça (FEIRER; HUTCHINGS; FEIRER, 1993). Uma vez executada a estrutura, são dispostas as chapas de fechamento no plano da cobertura, que contribuem para o contraventamento da estrutura e sobre as quais devem ser fixados materiais de isolamento térmico e de impermeabilização e, por fim, assentam-se as ripas e telhas.

e) Instalações

As instalações elétricas e hidrossanitárias podem ser executadas no canteiro de obras, devendo os painéis de parede chegar com fechamento em apenas uma das faces, sendo a face restante fechada somente após realizadas as operações de fixação e ligação das instalações.

Os painéis de parede podem também chegar ao canteiro inteiramente acabados, com fechamento em ambos os lados, o que significa que as instalações elétricas e hidrossanitárias são previamente executadas em fábrica. Nesses casos, as tubulações são posicionadas e fixadas entre os elementos da ossatura e são deixadas esperas nas chapas de fechamento para ligação no momento da montagem da edificação.

De acordo com o *International Residential Code – IRC (2003)*, o diâmetro do furo para passagem de tubulação elétrica ou hidrossanitária não deve exceder 60% da largura do montante e deve estar afastado da borda do mesmo em pelo menos 1,6 cm. No caso de entalhes, estes devem possuir largura inferior a 40% da largura total do montante.

2.2.5 Sistema plataforma racionalizado

O sistema plataforma, como foi visto, é tradicionalmente um sistema construtivo para ser executado no canteiro de obras. Uma vez executada a fundação, fixam-se as guias de ancoragem ou as travessas inferiores que irão compor a ossatura das paredes, erguem-se os montantes, que devem receber escoramento provisório, para depois

fixar as travessas superiores e, por último, as chapas de fechamento, responsáveis pelo contraventamento da estrutura. Sobre os painéis de parede do pavimento térreo arma-se o entrepiso, que poderá servir de “plataforma” para a montagem de um pavimento superior, se for esse o caso.

No entanto, com a introdução de novas tecnologias aos processos industriais e o conseqüente aprimoramento do setor verificado nas últimas décadas, o sistema plataforma revelou-se bastante versátil do ponto de vista da industrialização e agregou a possibilidade de ser pré-fabricado em painéis portantes, que chegam ao canteiro com o quadro de ossatura pronto e chapas de fechamento aplicadas a uma das faces⁷, ou ainda em módulos tridimensionais, as chamadas *mobile homes* ou “casas móveis”. A escolha do grau de industrialização vincula-se, conforme Espíndola (2010), à realidade da técnica e da tecnologia construtivas locais e da qualidade da mão-de-obra, devendo-se assegurar o adequado treinamento desta última para evitar problemas de execução e conexão de componentes.

Enquanto sistema construtivo, isto é, considerando a solução estrutural que norteia a concepção da edificação, o sistema plataforma mantém-se essencialmente o mesmo, todavia, sob a ótica dos processos produtivos, recebeu importantes contribuições advindas da tendência mundial de industrialização da construção e da busca por processos mais racionais, cujos objetivos principais são o aumento da produtividade, o controle mais rigoroso da qualidade do produto e a redução de desperdícios e custos.

Em entrevista à revista AU, o arquiteto e professor da FAU-USP Arnaldo Martino afirma que o projeto de arquitetura que vise a uma produção industrial racionalizada “deve dispor de subsistemas coordenados entre si e de sistemas abertos de fabricação que possam gerar inúmeras soluções a partir de coleções restritas de componentes – os catálogos, o que viabiliza a economia de escala” (SAYEGH, 2005). Diante disso, o sistema plataforma desponta como uma alternativa viável, ao possibilitar o emprego de elementos construtivos – como os painéis de parede – produzidos em escala industrial, desde que se trabalhe com uma série de painéis padronizados e tipificados que possa

⁷ A outra face é deixada livre para facilitar a fixação dos painéis à base e aos painéis adjacentes e também para a passagem de tubulações hidráulicas e elétricas.

ser empregada em uma ampla gama de projetos, seguindo diretrizes de coordenação modular. Esta representa uma importante ferramenta de racionalização construtiva, conforme já foi defendido anteriormente, e dada sua relevância ao contexto desta pesquisa será abordada no próximo item.

Antes, contudo, é preciso ressaltar outro aspecto pelo qual a industrialização do sistema plataforma demonstra ser um caminho promissor, não apenas no sentido da racionalização construtiva, como também enquanto prática que favorece a diminuição dos impactos ambientais gerados pela construção civil. Tal aspecto diz respeito ao emprego da madeira como principal material construtivo e se apresenta sob dois enfoques: no primeiro, a opção pela madeira em si já traz vantagens, uma vez que é um material de fonte renovável, energeticamente eficiente e ainda fixador de carbono durante todo seu ciclo de utilização, que pode se prolongar por dezenas e até centenas de anos. Acontece que existem diversos sistemas construtivos, como foi demonstrado aqui mesmo, que igualmente empregam a madeira como material construtivo, e, assim, o segundo enfoque permite justificar o destaque dado ao sistema plataforma: a possibilidade de pré-fabricação de seus componentes, elementos e até subsistemas inteiros em escala industrial, faz com que o uso da madeira seja feito de forma mais racional e todos saem ganhando, fabricantes, empreiteiros, consumidores e o meio ambiente.

Por fim, tendo em vista que esta pesquisa se volta ao mercado brasileiro da construção, em especial das regiões sul e sudeste, a viabilidade das alternativas aqui propostas está vinculada a sua capacidade de adaptação à realidade do país, isto é, que sejam compatíveis com o estágio de desenvolvimento dos setores construtivo e industrial, com a mão-de-obra e os materiais disponíveis e também que possam ser assimiladas pela cultura da população em geral. Desse modo, estabelece-se que o grau de industrialização proposto para o sistema plataforma, nesta pesquisa, é o semi-industrializado, ou processo produtivo racionalizado, conforme Sabbatini (1989), no qual se enquadra a produção de painéis em fábrica e a montagem da edificação segundo um plano pré-determinado.

2.3 COORDENAÇÃO MODULAR

Como foi demonstrada, a tendência atual de industrialização da construção reflete a busca do setor pelo aumento da produtividade, pela redução de custos e eliminação de desperdícios, e pelo controle mais rigoroso da qualidade do produto. Aliado a isso, tem-se um mercado consumidor cada vez mais dinâmico e exigente, que anseia por edificações de qualidade, aptas a absorver as adaptações necessárias face às constantes transformações na vida familiar e, além de tudo, a preços justos.

As soluções para essa demanda têm se voltado à busca do equilíbrio entre a redução da variedade, que interessa particularmente à indústria, e a preservação da flexibilidade, que agrada aos consumidores, por meio da oferta de componentes construtivos dimensionalmente coordenados e com uniões compatíveis que possibilitem uma ampla gama de projetos. Greven e Baldauf (2007) descrevem esse novo cenário:

Edificações projetadas não mais com o paradigma da produção em massa, mas em sintonia com o pensamento atual em sistemas de produção, a customização em massa. Em suma, procura-se permitir que o usuário possa efetivamente escolher o habitat que melhor se aproxima de seus anseios individuais e, ao mesmo tempo, possibilitar um processo de projeto e produção com baixos níveis de perdas (GREVEN e BALDAUF, 2007).

Ainda de acordo com os autores supracitados, para que isso seja possível, é imprescindível que os insumos estejam em conformidade com as normas vigentes, para que haja diálogo entre fornecedores, e que aquelas considerem os princípios da coordenação modular. Além do mais, tais princípios devem se incorporados nas decisões e ações dos demais membros da cadeia produtiva: os projetistas e os construtores.

Infelizmente, no que tange ao nível de tecnologia e aos processos produtivos, a realidade do setor construtivo brasileiro ainda se encontra distante do cenário descrito acima. O que se observa é a aplicação indiscriminada de técnicas já sedimentadas, desenvolvidas no decorrer

do tempo de forma quase empírica. No entender de Sabbatini (1989), tais técnicas, que são em geral resultado de soluções construtivas regionalizadas e denominadas genericamente de “tradicionais”, caracterizam-se por suas condições de produção insatisfatórias para uma grande variedade de aplicações, frequentemente traduzidas por uma baixa produtividade e qualidade de produção e pela exigência de um grande volume de mão-de-obra especializada. Diante disso, Sabbatini (1989) argumenta que o sucesso do desenvolvimento dos meios de produção de edificações está atrelado à adequada estruturação do setor, conduzida por pessoal especializado, como uma atividade de pesquisa tecnológica e abordada segundo uma metodologia apropriada. Em suma, o caminho passa pelo desenvolvimento de novos e aperfeiçoados *métodos, processos e sistemas construtivos*.

O sistema e processo construtivos adotados por esta pesquisa compreendem o sistema plataforma racionalizado, já apresentado, e o método consiste em uma abordagem sistêmica baseada na aplicação dos princípios da coordenação modular.

2.3.1 O que é e para quê

Segundo Mascaró⁸ (1976, apud Greven e Baldauf, 2007), a coordenação modular trata-se de um:

Mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção (ou montagem), com mínimas modificações ou ajustes.

Rosso (1976) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, [1975?]) a definem como uma metodologia sistêmica de industrialização, pela qual se é possível estabelecer uma dependência recíproca entre produtos básicos (componentes), intermediários de série (elementos, como esquadrias e painéis portantes) e produtos finais

⁸ MASCARÓ, L. E. R. de. Coordinación modular? Qué es? Buenos Aires: Summa, n. 103, p. 20-21, ago. 1976.

(edifícios), mediante a adoção de uma unidade de medida padrão, o módulo.

Também para Castelo (2008), é uma metodologia que visa definir uma dimensão padrão, o módulo, que racionalize a concepção, produção e execução de edificações, contribuindo para elevar o grau de industrialização da construção, mantendo, contudo, a liberdade de criação arquitetônica dentro de valores aceitáveis.

Para Lucini (2001), a coordenação modular é um importante instrumento para alcançar os níveis de racionalização e normalização desejados e permite estabelecer também:

Uma linguagem gráfica, descritiva e de especificações, comum a fabricantes, projetistas e construtores, que pode ser aplicada nas diversas etapas do processo de produção, desde a concepção inicial do projeto até a sua execução em canteiro (LUCINI, 2001).

Ainda segundo Lucini (2001), a racionalização construtiva, objetivo buscado por esta pesquisa, aliada à coordenação modular pode responder a um conjunto de necessidades na produção de edificações, dentre elas:

- (1) De redução da variedade de tipo e dimensões de componentes;
- (2) De compatibilidade dimensional e tecnológica entre componentes;
- (3) De intercambialidade de componentes;
- (4) De produção seriada de componentes e de montagem tipificada;
- (5) De autonomia de etapas de execução e da montagem de componentes;
- (6) De detalhamento e especificação técnica sistematizada;
- (7) De controle eficiente de custos e de produção;
- (8) De aumento da produtividade na fabricação e montagem.

A coordenação modular também promove a construtibilidade, isto é, facilita a execução da obra, que passa a compreender uma montagem tipificada (LUCINI, 2001), pois emprega componentes padronizados e intercambiáveis que não necessitam de cortes, contribuindo assim para a redução dos desperdícios.

No âmbito da concepção do projeto arquitetônico, para Patinha (2011), a aplicação de princípios da coordenação modular concorre para a agilização de procedimentos, uma vez que terá como base o recurso a componentes e elementos pré-definidos e pré-calculados, tornando-se, simplificada, numa “definição da disposição dos elementos entre si e no meio que o rodeia, tendo subjacente uma malha quadriculada modular”.

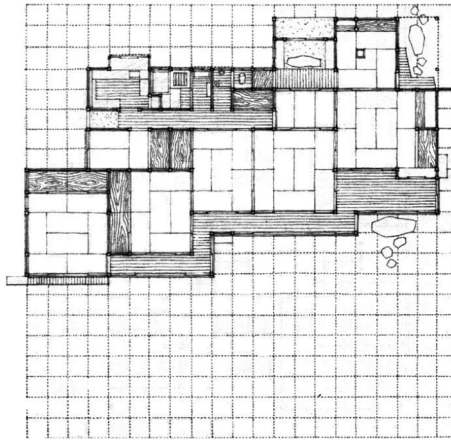
2.3.2 O módulo

O termo módulo é compreendido nesta pesquisa como sendo uma medida reguladora das proporções de uma obra arquitetônica ou, ainda, quantidade que se toma como unidade de qualquer medida (FERREIRA, 2008).

A definição e aplicação de um módulo que orientasse o desenho na arquitetura é uma prática tão antiga quanto a própria construção, ora tendo caráter estético, como na proporção entre os elementos compositivos das diferentes ordens gregas, ora caráter funcional, como no planejamento das cidades romanas ou no dimensionamento de componentes construtivos, como tijolos, telhas e ladrilhos. Ainda, foi empregado pelos japoneses na definição de elementos reguladores da composição espacial arquitetônica de suas edificações, como o *ken* e o *tatame*.

O *tatame* tratava-se de um elemento bidimensional de configuração espacial, de proporção 1:2, e determinava que os espaços deveriam ser dimensionados de forma a poderem receber no piso um número inteiro de tatames, dando à modulação um caráter prático-funcional (FIGURA 20) (ROSSO, 1976).

Figura 20 - Residência típica japonesa, concebida em função da disposição de um número inteiro de tatames no piso.



Fonte: CHING, 2003.

Mas, a utilização do módulo com o intuito de racionalizar o uso de materiais na construção só se manifestou de forma expressiva a partir do século XX, com a intensificação da industrialização do setor construtivo. Esse processo motivou o desenvolvimento de diversos estudos relacionados à pré-fabricação e, por consequência, à coordenação modular, pois ficou evidente que a padronização dos componentes era necessária, haja vista os altos custos e os longos períodos de obras (GREVEN; BALDAUF, 2007).

De acordo com Greven e Baldauf (2007), o industrial de Boston, Alfred Farwell Bemis, foi o primeiro a acenar, de forma mais concreta, com a possibilidade de utilizar um módulo para os propósitos da indústria moderna da construção. A partir de 1930, iniciou os primeiros estudos de uma nova técnica de construção, denominada “método modular cúbico”, e em 1936 publicou *The evolving house* (A transformação da casa), onde expõe os fundamentos de uma teoria da coordenação modular, resumida na seguinte ideia central: “todos os objetos que satisfaçam à condição de possuírem dimensões múltiplas de uma medida comum, são comensuráveis entre si e, portanto, também o são em relação à construção, que integrados passam a formar” (ROSSO, 1976). Bemis indicou o módulo de quatro polegadas (10,16 cm), pois seria o mais racional, proporcionaria uma flexibilidade adequada e

estaria de acordo com a dimensão empregada nos estudos de casas de madeira americanas. Conforme Greven e Baldauf (2007), as ideias defendidas pelo industrial repercutiram nos primeiros estudos sobre coordenação modular na Europa e nos Estados Unidos.

Os estudos que se seguiram aos poucos deram origem a conjuntos de recomendações e diretrizes e, por fim, a normas de caráter nacional, sendo a França o país pioneiro na elaboração de uma norma de coordenação modular, no ano de 1942. A primeira norma alemã pautou-se nos estudos de Ernest Neufert que, durante a Segunda Guerra, previu os desafios futuros da reconstrução e propôs um sistema de coordenação octamétrica (100 cm/8), baseado no módulo de 12,5 cm. Segundo Rosso (1976), até 1965, construiu-se 4400000 habitações na Alemanha utilizando o sistema proposto por Neufert, o que representou mais de 50% de todas as edificações produzidas nesse período. Concomitantemente, avaliava-se na Suécia a possibilidade de utilização do módulo de 10 cm na coordenação modular, enquanto na América do Norte priorizava-se o de 4 polegadas.

O período pós-II Guerra mundial impulsionou um maior foco sobre os trabalhos relacionados à coordenação modular, haja vista que a reversão do déficit habitacional instaurado exigiu o desenvolvimento de novos e eficazes métodos construtivos, revestindo a pesquisa acerca do tema de um caráter global, passando a ser conduzidos em nível de cooperação internacional.

Em 1953, esses esforços levaram à criação da Agência Europeia para a Produtividade (AEP) à qual caberia o encargo de promover um estudo metódico sobre a coordenação modular em âmbito internacional. Assim, o trabalho realizado pela AEP levou à determinação do módulo-base como equivalente à 10 cm ou 4 polegadas, a partir de requisitos vistos como contraditórios por muitos pesquisadores, em função sobretudo do conhecimento restrito da época (GREVEN; BALDAUF, 2007). Além de países europeus, a então URSS, a Polônia, o Japão e alguns países da América do Sul também adotaram o módulo decimétrico.

Afora a pesquisa desenvolvida, os países integrantes da AEP deveriam construir determinado número de edifícios que caracterizariam e atestariam a aplicação prática dos princípios enunciados, complementando a teoria modular com investigações práticas e discussões teóricas, a partir das experiências vivenciadas.

Constituiu-se, em 1960, o *International Modular Group* (IMG), que absorveu os grupos de trabalho da AEP, do COMECON (órgão econômico dos países socialistas da Europa Oriental) e do comitê ISO TC-59, que deram continuidade ao trabalho tratando também de questões como a adaptabilidade dos materiais a um sistema modular único e a teoria das tolerâncias, entre outros problemas de adaptação.

A tabela 3 ilustra, em ordem cronológica, alguns países que publicaram sua primeira norma de coordenação modular e o respectivo módulo adotado. Atualmente, as normas europeias estão centralizadas nas normas da *International Organization for Standardization* (ISO).

Tabela 3 – Países e a publicação de sua primeira norma de coordenação modular.

PAÍS	MÓDULO	ANO
França	10 cm	1942
Estados Unidos	4 polegadas	1945
Bélgica	10 cm	1948
Itália	10 cm	1949
Brasil	10 cm	1950
Alemanha	12,5 cm ou 10 cm	1951
Suécia	10 cm	1952
União Soviética	10 cm	1954
Inglaterra	4 polegadas	1966

Fonte: adaptado de Greven e Baldauf, 2007 (adaptado de TECHNISCHE HOCHSCHULE HANNOVER, 1967).

Como demonstrado na tabela anterior, o Brasil foi um dos primeiros países a aprovar uma norma de coordenação modular, a NB-25R, de 1950. Foram desenvolvidos diversos estudos, sobretudo nas décadas de 70 e 80, promovidos em grande parte pelo Banco Nacional da Habitação (BNH), por universidades brasileiras e pelo Centro Brasileiro da Construção Bouwcentrum (CBC). Contudo, a despeito dos esforços para a implementação e difusão da coordenação modular, Greven e Baldauf (2007) constatam que ela não está sendo aplicada nos dias de hoje, seja pela descontinuidade dos estudos a partir da década de 80 e conseqüente lacuna bibliográfica, seja pelo “caos dimensional de grande parte dos componentes”.

Entre os anos de 1977 e 1982 foram produzidas pelo CB-2, o Comitê Brasileiro de Construção Civil, e pelo CE-2:02.15, a Comissão de

Estudo de Coordenação Modular da Construção, 26 normas técnicas de conteúdo relacionado à coordenação modular. No entanto, foram todas substituídas recentemente pela norma única NBR 15873:2010 – Coordenação Modular para Edificações.

Na visão de Greven e Baldauf (2007), as normas publicadas até então seriam “incipientes, pouco claras e pouco objetivas, provocando dúvidas quanto à sua interpretação e tornando sua viabilidade frágil”, pouco contribuindo para a efetiva aplicação dos princípios da coordenação modular pelos intervenientes da cadeia da construção civil. Soma-se às dificuldades observadas o pouco ou nenhum conhecimento sobre os conceitos que permeiam essa importante ferramenta de racionalização construtiva. Sendo assim, serão apresentados na sequência, os princípios que norteiam a aplicação da coordenação modular na construção.

2.3.3 Instrumentos da coordenação modular

Para que essa metodologia seja adequadamente aplicada, de modo que seus benefícios sejam plenamente desfrutados, é preciso conhecer e aplicar alguns conceitos. As definições que seguem foram baseadas na norma NBR 15873:2010 e principalmente nos autores Amorim, Kapp e Eksterman (2010), Baldauf (2004) e Lucini (2001).

a) Módulo

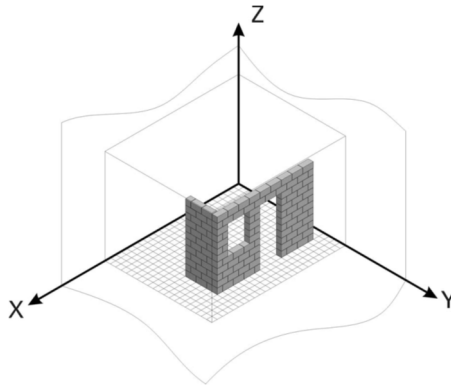
O módulo básico determina a distância entre dois planos consecutivos do “reticulado modular de referência”. Na definição da NBR 15873:2010, é a menor unidade de medida linear da coordenação modular, representado pela letra M, cujo valor normalizado é $M=10$ cm.

b) Reticulado modular espacial de referência

É um reticulado tridimensional configurado pelas linhas de interseção de um sistema de planos ortogonais, distanciados entre si pela medida de um módulo. Segundo Amorim, Kapp e Eksterman (2010), os planos também podem ser espaçados, dependendo do método construtivo adotado, com valores múltiplos do módulo básico. Configura uma malha espacial ou quadricula modular de referência, que baliza o

posicionamento de componentes da construção, juntas e acabamentos (FIGURA 21).

Figura 21 – Reticulado modular espacial de referência.



Fonte: GREVEN e BALDAUF, 2007.

c) *Quadrícula modular de referência*

É a projeção ortogonal do reticulado modular espacial de referência sobre um plano paralelo a um dos três planos ortogonais. É bastante empregado nos projetos, em função deste ser mais usualmente representado por meio das vistas ortográficas, que representam o objeto em duas dimensões (BALDAUF, 2004).

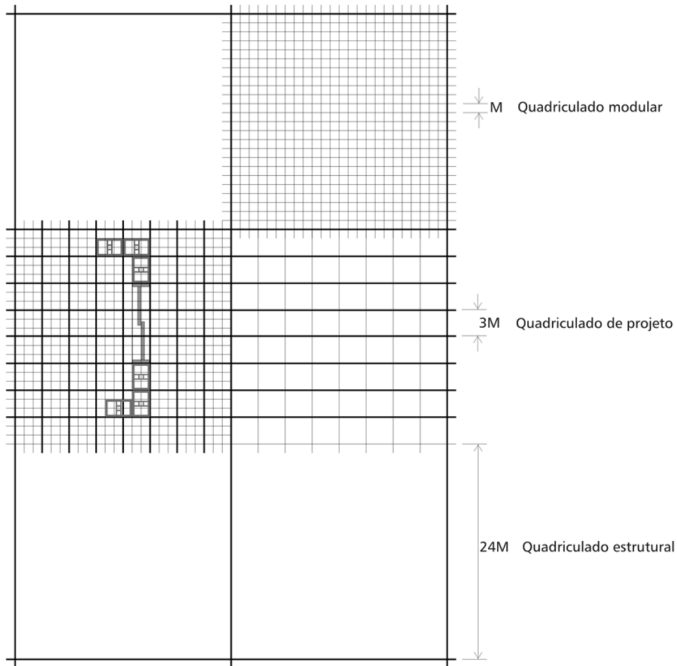
Baldauf (2004) sugere a seguinte subdivisão para as quadrículas, a serem utilizadas nas diversas fases do projeto, com base em Caporioni, Garlatti e Tenca-Montini (1971):

- (1) Quadrícula modular propriamente dita: utilizada no projeto de componentes e detalhes;
- (2) Quadrícula de projeto: utilizada para a elaboração do projeto arquitetônico da edificação;
- (3) Quadrícula estrutural: utilizada para o posicionamento dos elementos estruturais e
- (4) Quadrícula de obra: utilizada para a locação da edificação e dos componentes para a montagem.

As quadrículas também podem ser definidas em função das dimensões dos materiais e componentes construtivos que serão

empregados na edificação e são sempre múltiplas do módulo básico. Na sequência, a Figura 22 apresenta três quadriculas diferentes utilizadas em três diferentes etapas de projeto: as quadriculas M, 3M e 24M.

Figura 22 – Quadriculados modulares M, 3M e 24M.



Fonte: GREVEN e BALDAUF, 2007.

d) O sistema modular de referência

É baseado na unidade de medida básica da Coordenação Modular, o módulo, e em alguns múltiplos inteiros ou fracionários dele. As características do sistema modular de referência, conforme Baldauf (2004) são:

- (1) Conter medidas funcionais e de elementos construtivos típicos;
- (2) Ser aditiva em si mesma (por ser a construção um processo aditivo) e;

- (3) Assegurar a intercambialidade das partes mediante a combinação das medidas múltiplas ou submúltiplas do módulo.

Além do módulo básico, já apresentado, são necessários multimódulos e submódulos.

e) Multimódulos

Sua representação é $n \times M$, onde “n” é um número inteiro positivo, e podem ser: 3M, 6M, 12M, 15M, 30M e 60M, recomendados pelo IMG e 12M, 15M, 30M e 60M, pela ISO (ROSSO, 1976). Rosso (1976) sugere para o Brasil a utilização dos multimódulos 2M para a coordenação altimétrica (elevações) e 3M para a coordenação planimétrica (plantas baixas).

f) Submódulos

Conforme Greven e Baldauf (2007), diante da impossibilidade de fabricação de todos os componentes da construção em dimensões múltiplas do módulo básico, admite-se a adoção de submódulos. Porém, deve-se atentar para a utilização desnecessária de submódulos, o que conduziria a um aumento indesejado de variedade dimensional da gama de produtos industriais, avessa à economia almejada pelo sistema de coordenação modular. Rosso (1976) recomenda os submódulos M/4 (2,5 cm) e M/8 (1,25 cm) para espessura de painéis e de acabamentos e para peças especiais de fechamento.

g) Medida de coordenação

A NBR 15873:2010 define como a medida do espaço de coordenação de um componente ou elemento. Por exemplo: painel de 60 cm x 280 cm x 10 cm.

h) Medida modular

É a medida de coordenação expressa em função do módulo básico ou de um multimódulo. De acordo com Lucini (2001), a medida modular inclui o componente e a folga perimetral necessária para absorver tanto

as tolerâncias de fabricação quanto a colocação em obra, conforme as técnicas construtivas correspondentes. Garante que cada componente disponha de espaço suficiente para sua colocação em obra, sem invadir a medida modular do componente adjacente. Por exemplo: painel de 6M x 28M x M.

i) Medida nominal ou de projeto de componente

Para a NBR 15873:2010, trata-se da medida esperada de um componente ou elemento, definida antes da execução/fabricação. É, segundo Lucini (2001), sempre inferior à medida modular, de modo a possibilitar a inclusão das tolerâncias de fabricação e a colocação em obra dos componentes, sem invadir a medida modular do componente adjacente. Por exemplo: painel de 59 cm x 279 cm x 9 cm.

j) Medida real

Compreende a medida verificada diretamente no componente ou elemento, após sua execução/fabricação. Será menor ou maior que a medida nominal, conforme as tolerâncias previstas na produção do componente/ elemento. Por exemplo: painel de 58,82 cm x 279,10 cm x 8,93 cm.

k) Tolerância de fabricação

Trata-se da diferença admissível entre uma medida real e a medida nominal correspondente, de acordo com a NBR 15873:2010.

l) Junta nominal ou modular

É a distância prevista no *projeto* arquitetônico entre os extremos adjacentes de dois componentes, considerando suas medidas nominais.

m) Junta real

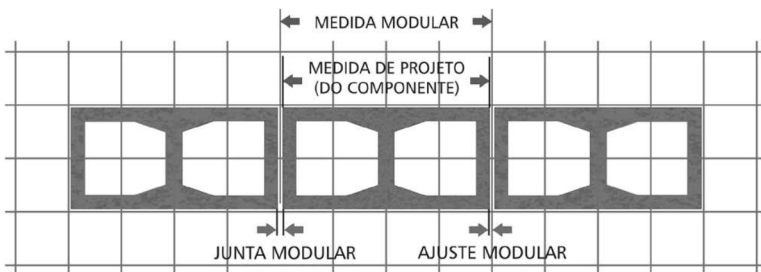
Distância real, medida em obra, entre os extremos adjacentes de dois componentes (LUCINI, 2001).

n) Ajuste modular

Relaciona a medida de projeto do componente com a medida modular (FIGURA 23). Ainda, conforme Greven e Baldauf (2007), faz a correspondência entre os componentes e elementos da construção com o sistema de referência. Permite definir com precisão os limites dimensionais dos componentes em função das exigências de associação ou montagem. Pode variar tanto em função do processo de produção do componente quanto do processo de montagem da edificação.

É importante ressaltar que os estudos sobre a coordenação modular na construção civil têm se voltado, prioritariamente, aos componentes de concreto ou de cerâmica, como os blocos estruturais para vedação vertical, ilustrados na Figura 23. Sendo assim, a literatura técnica frequentemente se refere à junta modular como equivalente a 1 cm, medida que prevê, além da folga para tolerâncias de fabricação, deformações e falhas de execução, a aplicação de argamassa de assentamento.

Figura 23 – Medida modular, medida nominal, junta modular e ajuste modular para blocos cerâmicos.



Fonte: GREVEN e BALDAUF, 2007.

Os sistemas construtivos leves em madeira, por outro lado, são executados a partir de ligações pregadas ou parafusadas, dispensando o uso de argamassas de assentamento entre componentes. Cabe ao projetista, nesse caso, prever o ajuste necessário entre peças de madeira serrada para cada projeto específico. Isso porque a madeira é um material higroscópico, que reage às condições de temperatura e umidade do ambiente, buscando manter seu teor de umidade em equilíbrio com aquelas condições. Assim sendo, deve-se prever uma

folga para absorver possíveis variações dimensionais no material, decorrentes de eventuais alterações em seu teor de umidade. Também se deve levar em conta aspectos como a espécie de madeira adotada e respectivas taxas de retração e inchamento e densidade, as condições de secagem e armazenagem, bem como o grau de precisão das ferramentas empregadas no corte.

o) Zona neutra

Região não modular compreendida entre reticulados modulares espaciais de referência, destinada a absorver partes da construção de difícil modulação, por seus aspectos técnicos ou funcionais.

Por fim, destaca-se a proposta de Lucini (2001) de divisão de um sistema construtivo de referência em dois conjuntos horizontais fundamentais em um andar-tipo: o conjunto laje-piso e o conjunto vedação. Para esse autor, o conjunto laje-piso não deve necessariamente atender às dimensões verticais moduladas, podendo ser entendido com uma zona neutra entre dois conjuntos modulados (conjuntos vedação), porém o conjunto vedação deve obrigatoriamente atender ao sistema modular adotado, “pois é nele que se combinam o maior número de elementos e componentes, de maior dificuldade de modulação e compatibilização” (LUCINI, 2001).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de alcançar os objetivos traçados para esta dissertação, foram adotados procedimentos metodológicos que serviram de guia para o desenvolvimento da atividade de pesquisa, divididos nas cinco etapas: revisão de literatura (3.1); coleta de dados (3.2); pesquisa aplicada (3.3); análise comparativa (3.4); recomendações (3.5).

3.1 ETAPA 1 – REVISÃO DE LITERATURA

Tendo em vista a familiarização da pesquisadora com o tema estudado e a formação do aporte teórico necessário ao adequado desenvolvimento da dissertação, foi realizada uma investigação exploratória, conduzida por meio de levantamento bibliográfico, coletado principalmente em livros, artigos científicos, teses e dissertações, manuais e normas técnicas. O levantamento voltou-se às seguintes temáticas:

1- Racionalização construtiva, buscando em um primeiro momento conceituar os principais termos relacionados, como racionalização, industrialização, pré-fabricação e sistemas abertos e fechados; investigando o processo de industrialização da construção e a evolução dos paradigmas da produção industrial, de modo a delinear o cenário atual e as tendências da construção industrializada; investigando o princípio da construtibilidade e quais são suas implicações práticas no projeto de edificações;

2- Sistemas construtivos em madeira e a industrialização, apresentando os principais sistemas construtivos em madeira, classificando-os segundo critérios estruturais e produtivos; estudando o sistema plataforma, seus requisitos construtivos e de desempenho estrutural, sobretudo os que condicionam a elaboração do projeto arquitetônico das edificações;

3- Coordenação modular, fazendo uma breve retrospectiva dos estudos sobre a coordenação modular e sobre o emprego do módulo na arquitetura; apresentando os instrumentos para a sua aplicação no projeto de edificações, desde o projeto de componentes construtivos aos projetos arquitetônico e executivo.

O produto desta etapa será o capítulo sobre fundamentação teórica.

3.2 ETAPA 2 – COLETA DE DADOS

Entre os objetivos específicos a serem alcançados por esta dissertação estão a proposição de um catálogo de painéis verticais e a revisão do projeto de uma residência executada no sistema plataforma em madeira, a partir da aplicação dos elementos de parede projetados.

A definição da residência a ser estudada, bem como a coleta e análise de dados referentes a seu projeto, sua produção e execução, foram procedimentos que antecederam a elaboração da proposta de painéis verticais. Isso com o intuito de identificar, seja no projeto da edificação, seja na produção e na execução do subsistema parede, aspectos que poderiam ser racionalizados na etapa de projeto dos elementos construtivos.

O processo de escolha da edificação de referência, conduzido em três empresas do ramo – duas paranaenses e uma catarinense, foi norteado pelos seguintes critérios:

- (a) Público alvo: contemplar a população cuja renda salarial estivesse compreendida na faixa estabelecida para a proposta de painéis verticais;
- (b) Área da edificação: apresentar área total construída entre 150 e 300 m²;
- (c) Sistema plataforma em madeira: ser executada nesse sistema construtivo;
- (d) Projeto arquitetônico: ser elaborado sem considerar os princípios da coordenação modular;
- (e) Apresentar até dois pavimentos e não possuir porão, nem sótão.

Desse modo, definiu-se como edificação de referência a residência de 240,67 m², executada pela empresa paranaense EcosHaus, cuja sede situa-se na cidade de Curitiba.

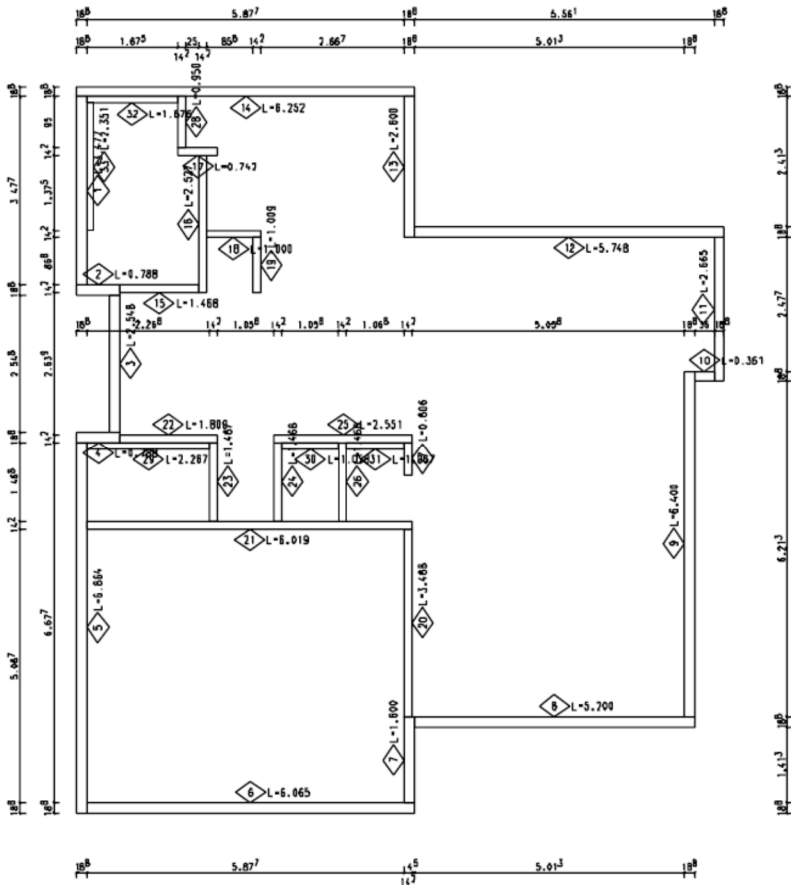
Na sequência, procedeu-se à coleta de dados necessários ao desenvolvimento da atividade de pesquisa proposta. Uma vez que o estudo foi centrado no subsistema parede, a coleta de dados priorizou os registros de projeto arquitetônico, envolvendo plantas, cortes e elevações, que apresentassem a configuração espacial da edificação e a disposição das aberturas de portas e de janelas.

Também foram reunidos, nesta etapa, os desenhos técnicos de produção dos painéis verticais que configuram o subsistema parede da

residência estudada, tendo em vista conhecer as características construtivas desses elementos produzidos pela empresa. Esta se utiliza de um programa computacional para gerar o projeto de produção dos painéis, a partir do projeto arquitetônico previamente elaborado e de parâmetros como as dimensões das peças de madeira empregadas e o espaçamento máximo admitido entre montantes.

Os painéis de parede são produzidos pela empresa no comprimento total do ambiente – segundo o sistema panelizado de construção industrializada, recebem numeração em uma planta esquemática, como a apresentada na Figura 24, e são detalhados em pranchas individuais. Cada prancha individual contém as seguintes informações sobre o painel detalhado: planta baixa cotada do painel; corte longitudinal da ossatura indicando as alturas dos componentes de madeira serrada e a disposição das aberturas, quando existentes; desenhos de paginação das chapas OSB para as faces interna e externa do painel; desenho de paginação das chapas de gesso acartonado aplicadas à face interna e das placas de isopor que fazem o isolamento.

Figura 24 – Planta esquemática do pavimento térreo para produção dos painéis de parede.

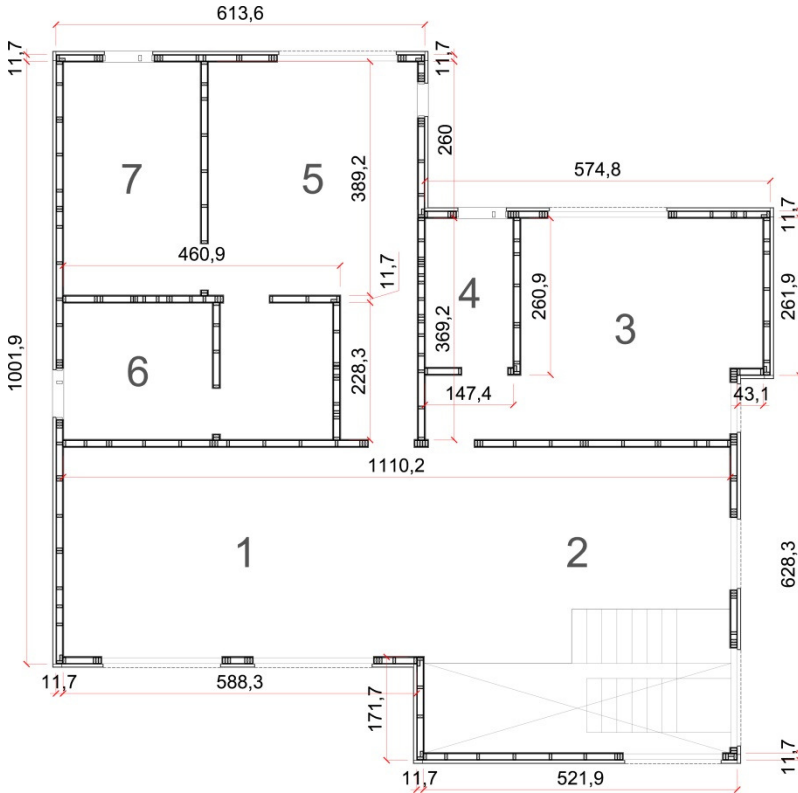


Fonte: EcosHaus, 2010.

A empresa responsável pela execução da residência forneceu o suporte documental necessário, anteriormente descrito.

Ao confrontar o projeto arquitetônico com o projeto de produção dos painéis, contudo, constatou-se que apresentavam entre si divergências nas medidas dos ambientes. Diante disso, foi preciso efetuar a compatibilização dos projetos – a partir das medidas de cada painel obtidas nas pranchas individuais de produção, de modo a obter

Figura 26 – Planta compatibilizada do pavimento superior. Dimensões em cm, sem escala.



Foram realizadas, ainda, visitas à fábrica e ao escritório da empresa EcosHaus, com o intuito de obter, por meio de entrevistas não estruturadas e observação assistemática, dados relativos ao funcionamento da fábrica, aos processos de projeto, produção e execução, à especificação e aquisição de materiais, entre outros, de forma a identificar condicionantes, potencialidades e deficiências a serem consideradas nas etapas subsequentes da pesquisa.

As entrevistas não estruturadas, realizadas com o diretor de produção da empresa, embora não tenham seguido um roteiro pré-definido de arguição, buscaram respostas para as seguintes questões:

No que tange ao processo de projeto:

Na elaboração do projeto arquitetônico, foram considerados os requisitos construtivos do sistema plataforma?

Na elaboração do projeto arquitetônico, foram considerados os princípios da coordenação modular, tais como malha modular de referência e ajuste modular?

Na elaboração do projeto arquitetônico, foram consideradas as dimensões dos insumos empregados?

Como é gerado o projeto de produção dos painéis de parede?

No que tange ao processo de produção:

Em que estágio de montagem os painéis de parede saem da fábrica? Ambas as faces do painel saem fechadas? Instalações? Isolamento?

Quais são as dimensões das chapas empregadas? São utilizadas as medidas comerciais padrão ou o fabricante fornece em dimensões especiais para a empresa?

Qual é o grau de automação na produção dos elementos? As peças são cortadas pelos operários a partir de gabaritos e sobre mesas de montagem? Ou são empregadas máquinas?

O comprimento total dos painéis de parede é limitado por alguma condicionante como peso, transporte, logística, etc.?

Qual é a espécie de madeira utilizada para as peças de madeira serrada e qual o tratamento preventivo que recebem?

No que tange ao processo de montagem da edificação (etapa de execução):

Como é feita a fixação dos painéis à base e dos painéis entre si no canteiro?

Além das perguntas dirigidas ao diretor de produção, as observações assistemáticas, conduzidas na planta da fábrica, contribuíram também para a avaliação do grau de industrialização do processo construtivo apresentado pela empresa, segundo a classificação proposta no capítulo de fundamentação teórica.

A execução da residência se deu anteriormente ao início das atividades de pesquisa desta dissertação, não sendo possível, portanto, acompanhar o processo. No entanto, conforme se constatou nas entrevistas realizadas com o diretor de produção, a execução nem sempre obedeceu ao que foi definido em projeto. Diante disso, foi necessário arbitrar sobre alguns dados, com base nos conhecimentos adquiridos sobre a técnica construtiva no sistema plataforma, conforme será demonstrado mais à frente.

As informações reunidas durante a coleta de dados são apresentadas no próximo capítulo – Apresentação do projeto original – e no item em que se discorre sobre a análise comparativa realizada.

3.3 ETAPA 3 – PESQUISA APLICADA

A etapa de pesquisa aplicada compreende a elaboração do catálogo de painéis verticais, que deve servir de modelo para a pré-fabricação parcial de painéis na indústria para a composição do subsistema parede de edificações produzidas no sistema plataforma em madeira. Por terem contemplado princípios da coordenação modular em seu projeto, os painéis verticais serão denominados também painéis verticais modulares neste trabalho.

A partir da revisão de literatura realizada, foram selecionados critérios de projeto fundamentais para o adequado desenvolvimento da proposta. Os critérios destacados foram: **público alvo, material, grau de industrialização, sistema construtivo e coordenação modular**. Cada critério é detalhado no item 5.1 Critérios de projeto para a concepção do catálogo de painéis verticais modulares.

Além dos critérios de projeto, foram consideradas no desenho dos painéis de parede as dimensões de mercado dos principais insumos utilizados, como os componentes de madeira serrada que compõem a ossatura e as chapas estruturais de contraventamento e fechamento, por exemplo. Também se buscou identificar, no subsistema parede, o

componente empregado em maior escala e que representasse um item de relevância na composição dos custos totais de vedação vertical, tendo em vista a otimização do seu uso e consequente redução de custos e desperdícios da obra como um todo. Esse componente foi definido como componente-base.

A identificação do componente-base e a consideração de suas dimensões de mercado, amparadas pelos princípios da coordenação modular, levaram à definição da malha modular de projeto dos elementos e da malha modular de projeto da edificação. Esta última guiou o posicionamento dos painéis verticais no reprojeto da residência estudada.

Como produto desta etapa obteve-se um catálogo de 13 tipos de painéis verticais modulares, entre tipos cegos e tipos com abertura de porta ou de janela. Vale lembrar que a proposta apresentada buscou atender aos requisitos construtivos prescritos nas normas e nos códigos vigentes para o sistema plataforma, contudo, não foi realizada a verificação da segurança estrutural para os painéis projetados, nem para a composição da edificação a partir destes elementos. Também não foram contempladas, na proposta, a descrição das sequências executivas do subsistema parede, as especificações técnicas relativas a instalações elétricas e hidrossanitárias, isolamento e impermeabilização dos painéis, bem como interferências do subsistema parede com os demais subsistemas da edificação.

O processo de projeto dos elementos de parede propostos, bem como o detalhamento do resultado obtido, são apresentados em capítulo à parte.

3.4 ETAPA 4 – ANÁLISE COMPARATIVA

O projeto de painéis verticais para edificações em madeira no sistema plataforma teve como meta contribuir para uma maior racionalização do processo produtivo como um todo, abrangendo as etapas de projeto, de produção e de execução.

A aplicação dos elementos propostos em um projeto de residência executada no sistema plataforma teve como objetivos:

- (a) Avaliar o consumo de material (madeira serrada, chapas estruturais e chapas de gesso acartonado) em ambas as situações de projeto;

- (b) Avaliar a taxa de desperdício das chapas estruturais em ambas as situações de projeto;
- (c) Avaliar a capacidade de composição arquitetônica (formar arranjos variados) no reprojeto;
- (d) Propor alternativas para eliminar ou atenuar aspectos que, com o projeto original, resultaram em retrabalho nas etapas de projeto, produção ou execução da obra.

A análise comparativa partiu do projeto de uma residência executada no sistema plataforma, que foi elaborado sem considerar os princípios da coordenação modular. Observou-se, em visitas preliminares a sedes de empresas que produzem edificações nesse sistema construtivo, na região sul do país, que o projeto arquitetônico é quase sempre elaborado sem levar em conta os requisitos construtivos do sistema adotado. Não consideram, por exemplo, as dimensões de mercado dos componentes que serão empregados na execução, o que acarreta desperdício de material no decorrer da obra. Além disso, perde-se tempo e há muito retrabalho, pois o projeto arquitetônico da edificação deve ser “convertido” para o sistema plataforma na elaboração dos projetos de produção e executivo. Os detalhes construtivos também precisam ser resolvidos para cada novo projeto, uma vez que este possui características individualizadas, exigindo maior tempo dos projetistas e gerando, por vezes, soluções inadequadas e pouco eficazes, reflexo da falta de troca de experiência entre projeto e obra.

Com relação à edificação de referência, observou-se que o projeto arquitetônico, por negligenciar os requisitos construtivos do sistema plataforma em sua concepção, apresentou discrepâncias em relação ao projeto executivo, conforme já relatado. Assim, foi preciso elaborar novas plantas para os pavimentos térreo e superior da residência, que contemplassem as medidas finais dos painéis produzidos, conforme indicadas no projeto de produção. Essa tarefa foi importante para que o reprojeto da residência com a aplicação dos painéis verticais projetados se aproximasse o máximo possível da configuração espacial proposta no projeto original.

Após a aplicação dos painéis verticais propostos no projeto da residência, foi feita a quantificação do consumo de madeira serrada – material que constitui a ossatura, de chapas estruturais OSB –

contraventamento e fechamento, e de gesso acartonado – acabamento interno, tanto para o reprojeto quanto para o projeto original.

Para a quantificação dos itens acima descritos no projeto original, cada painel foi analisado individualmente em um primeiro momento, na ordem em que foram numerados nas plantas esquemáticas de produção dos painéis (vide FIGURAS 25 e 26). Os materiais foram divididos em três tabelas distintas, em uma mesma planilha de cálculo: madeira serrada; OSB e gesso acartonado. Os dados lançados na planilha foram obtidos com base no projeto de produção fornecido pela empresa.

Na tabela de consumo de volume de madeira serrada (Tabela 4), os componentes foram divididos em:

- (a) Ossatura básica: compreendem os montantes e as travessas empregados em todos os painéis;
- (b) Umbral: componentes verticais especiais empregados em determinados painéis com aberturas de portas ou de janelas;
- (c) Janela: discriminando os componentes especiais quando existir esse tipo de abertura no painel;
- (d) Porta: discriminando os componentes especiais quando existir esse tipo de abertura no painel;
- (e) Montante transversal: especificado apenas em determinados painéis, para promover a adequada fixação entre dois painéis.

Para o cálculo da área de chapas OSB demandada pelo projeto original, as faces interna e externa de cada painel foram analisadas separadamente e, após, obteve-se a área total por painel a partir do somatório dos valores obtidos para as duas faces. O cálculo foi feito considerando-se a superfície total a ser coberta pelas chapas no painel analisado e descontando-se a área de aberturas de portas e/ou de janelas existentes, bem como de eventuais rasgos para a fixação dos painéis. A área de chapas de gesso acartonado foi obtida de forma semelhante, porém, estes componentes foram aplicados apenas à face interna do painel. Adotou-se o mesmo modelo de tabela para o quantitativo de chapas OSB e de gesso acartonado, representado na Tabela 5.

Tabela 4 – Modelo de tabela para quantificação de madeira serrada no projeto original, para cada painel.

Componente/Descrição		Dimensões (cm)			Volume unitário (cm³)	Quantidade	Volume total (cm³)
		Comprimento	Largura	Altura			
Painel externo/interno – ambiente_		X	Y	Z			
Ossatura básica		9,5	4,4	266,8			
Travessa		9,5	4,4	X			
Umbral		9,5	4,4				
Verga superior (peça de pé)		Variável	9,5				
Verga inferior (peça deitada)		9,5	4,4				
Montante curto verga		9,5	4,4				
Contraverga		9,5	4,4				
Montante curto contraverga		9,5	4,4				
Verga superior (peça de pé)		Variável	9,5				
Verga inferior (peça deitada)		9,5	4,4				
Montante curto verga		9,5	4,4				
Montante transversal		9,5	4,4	266,8			
Total MADEIRA SERRADA							

Tabela 5 – Modelo de tabela para quantificação de chapas estruturais e de gesso acartonado, para cada painel.

Face	Dimensões superfície total de chapa (cm)		Superfície total coberta (cm²)	Tipo de abertura	Dimensões abertura		Área por abertura (cm²)	Quantidade	Área total abertura (cm²)	Área total OSB (cm²)
	Largura	Altura			Largura	Altura				
Interna	Variável	280		Porta Janela Rasgo fixação						
Externa	Variável	277,8		Porta Janela						
Total área OSB ou GESSO ACARTONADO										

Ao final do cálculo de consumo de material por painel dos pavimentos térreo e superior, os valores individuais obtidos foram somados e reunidos em uma tabela síntese que apresentou o consumo total para os seguintes itens: quantidade de componentes de ossatura; volume total de madeira serrada (convertido para m³); área total de chapas OSB (convertida para m²) e área total de gesso acartonado (convertida para m²), conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Quantitativo final do consumo de material para o projeto original.

Pavimento	Quantidade componentes	Volume madeira serrada (m³)	Área chapas OSB (m²)	Área chapas gesso acartonado (m²)
Térreo				
Superior				
Total				

A quantificação do consumo de material foi realizada também para o reprojeto da residência a partir dos painéis verticais propostos. Para isso, os 13 tipos de elementos de parede gerados foram analisados individualmente, em um primeiro momento, obtendo-se uma tabela de quantitativo para cada painel-tipo. O modelo de tabela utilizado segue representado na Tabela 7.

Tabela 7 – Modelo de tabela para quantificação de material aplicado ao reprojeto, para cada painel-tipo.

Elemento	Material	Componente/Descrição	Dimensões (cm)			Volume unitário (cm³)	Quantidade	Volume total (cm³)	Densidade (g/cm³)	Peso (kg)	Área total (cm²)	
			Comprimento	Largura	Altura							
Painel: CEGO/JANELA/ PORTA- JANELA/PORTA	Madeira serrada – Pinus taeda	Cego/Janela/Porta X – Esquadria	X	15	270							
		Montante	12	4	262				0,645			
		Travessa	12	4	X				0,645			
		Umbral	12	4					0,645			
		Verga superior (peça de pé)	12	4					0,645			
		Verga inferior (peça deitada)	12	4					0,645			
		Montante curto verga	12	4					0,645			
		Contraverga	12	4					0,645			
		Montante curto contraverga	12	4					0,645			
		Montante arremate vão esquadria	12	4					0,645			
		Total MADEIRA SERRADA										
		OSB	Chapa Y	Y	1,11	270				0,650		
			Chapa verga esquadria Z	Z	1,11	45				0,650		
Chapa contraverga esquadria Z	Z		1,11	Variável				0,650				
Total OSB								0,650	W	W		
Peso chapas em uma face (kg)						Peso chapas em uma face (kg)					W/2	
Peso total do painel com chapas em uma face (kg)						Peso total do painel com chapas em uma face (kg)					W/2	

Para o cálculo do consumo total de material para o reprojeto, os painéis empregados na composição da edificação foram discriminados, identificando-se quantos painéis de cada tipo foram necessários e obtendo-se valores parciais para as quantidades de componentes, volume de madeira serrada e área de chapas (TABELA 8). Com o somatório dos valores parciais foi possível determinar o consumo total de madeira serrada e de área de chapas OSB para o reprojeto, conforme demonstra a Tabela 9.

Tabela 8 – Quantitativo parcial para o reprojeto.

Painel-tipo	Pavimento	Quantidade painéis	Quantidade componentes	Volume madeira serrada (cm³)	Área chapas OSB (cm²)
Cego 240	T				
	S				
Cego 120	T				
	S				
Cego 90	T				
	S				
Cego 80	T				
	S				
Cego 60	T				
	S				
Cego 40	T				
	S				
Cego 30	T				
	S				
Jan 240	T				
	S				
Jan 120	T				
	S				
Jan 90	T				
	S				
Por-Jan 240	T				
	S				
Por 120	T				
	S				
Por 120	T				
	S				

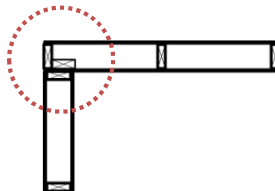
Tabela 9 – Quantitativo final do consumo de madeira serrada e de chapas OSB para o reprojeto.

	Térreo	Superior	Total pavimentos
Quantidade total de painéis			
Volume total de madeira serrada (m³)			
Quantidade total de componentes			
Área de chapas OSB (m²)			

Após o quantitativo de consumo de material para os painéis verticais utilizados no reprojeto, foi necessário computar ainda dois itens que, embora não façam parte da configuração dos painéis-tipo, são indispensáveis na montagem da edificação. São eles:

- (a) Montantes transversais: montante disposto transversalmente ao montante extremo de um dado painel que serve de apoio para a pregação de outro painel perpendicular (FIGURA 27).
- (b) Travessa superior contínua: travessa disposta sobre a travessa superior do painel-tipo, que deve transpassar o encontro de dois painéis adjacentes após a fixação destes em obra. Tem a função de proporcionar maior rigidez ao conjunto dos painéis montados.

Figura 27 – Detalhe montante transversal na união de dois painéis perpendiculares.



Assim, somou-se ao volume de madeira serrada obtido anteriormente, bem como à quantidade de componentes, os valores de volume e de quantidade referentes aos itens descritos acima.

Por fim, calculou-se a área de gesso acartonado necessária para o reprojeto. Esse quantitativo foi feito de forma separada uma vez que as chapas de gesso não integram a configuração básica dos painéis-tipo propostos. Tal decisão foi tomada em função da aplicação deste material de acabamento variar conforme a disposição do painel na obra: painéis que configuram as paredes externas da edificação apresentam gesso apenas em sua face interna e painéis dispostos no interior recebem aplicação de gesso em ambas as faces. Assim sendo, foi computada a metragem linear de gesso acartonado demandada pelo projeto nos dois pavimentos, sendo esta multiplicada pelo pé-direito a ser preenchido e descontadas as áreas de aberturas de portas e de janelas.

Os resultados obtidos para o consumo de material no projeto original e no reprojeto foram reunidos em uma tabela-síntese (TABELA 10), que apresentou a comparação dos valores para as duas situações de projeto.

Tabela 10 – Tabela-síntese da comparação de consumo de material.

		Componentes			
		Madeira serrada (ossatura)		OSB (11,1 mm)	Gesso acartonado
		Número de componentes	Volume (m ³)	Área total (m ²)	Área total (m ²)
Pavimento térreo	Projeto original				
	Proposta				
Pavimento superior	Projeto original				
	Proposta				
Total pavimentos	Projeto original				
	Proposta				

A etapa de análise comparativa também buscou avaliar o consumo bruto de material, ou seja, a quantidade que precisa ser adquirida, em relação à quantidade desperdiçada, ou não aproveitada na obra. Essa avaliação foi feita para as chapas OSB, identificadas

previamente como componente-base, de acordo com o explicado no item 3.3. do presente capítulo.

Diante disso, foi feita a quantificação do desperdício das chapas estruturais em ambas as situações de projeto. O consumo bruto de chapas OSB na execução do projeto original não era conhecido. Para estimar a quantidade, foi adotado o seguinte critério. O diretor de produção da fábrica da EcosHaus informou que foram empregadas chapas OSB no padrão comercial de 1,20 x 2,40 m. Porém, os desenhos de paginação das chapas, gerados pelo programa computacional que auxilia na elaboração do projeto de produção dos painéis, indicam as medidas totais necessárias para configurar o painel. Por exemplo, a altura do pé-direito da edificação equivale a 2,80 m e, portanto, as chapas são indicadas no desenho com essa altura total. Esse fato não interferiu no cálculo da área total de chapas utilizadas, contudo, para a avaliação de desperdício do material foi preciso revisar a paginação das chapas, considerando as medidas reais dos componentes empregados (1,20 x 2,40 m) e arbitrando sua disposição na configuração dos painéis. Essa disposição foi realizada de modo a obter o melhor aproveitamento possível das chapas.

Conforme se elaborou o novo desenho de paginação das chapas OSB para cada painel, do projeto original, realizou-se também a distribuição dos trechos de chapas utilizados em chapas inteiras, no padrão comercial 1,20 x 2,40 m, conforme indicado na Figura 28. Desse modo, foi possível calcular a área de chapas não aproveitada na confecção do painel individual. Da relação entre a área total de chapas adquiridas (chapas inteiras) e a área de chapas não aproveitada, para cada painel, obteve-se a taxa de desperdício individual ($Tx_{\text{desp}(Ti)}$) (TABELA 11).

Figura 28 – Exemplo de novo desenho de paginação feito para o painel 03 do pavimento térreo e distribuição dos trechos utilizados em chapas inteiras.

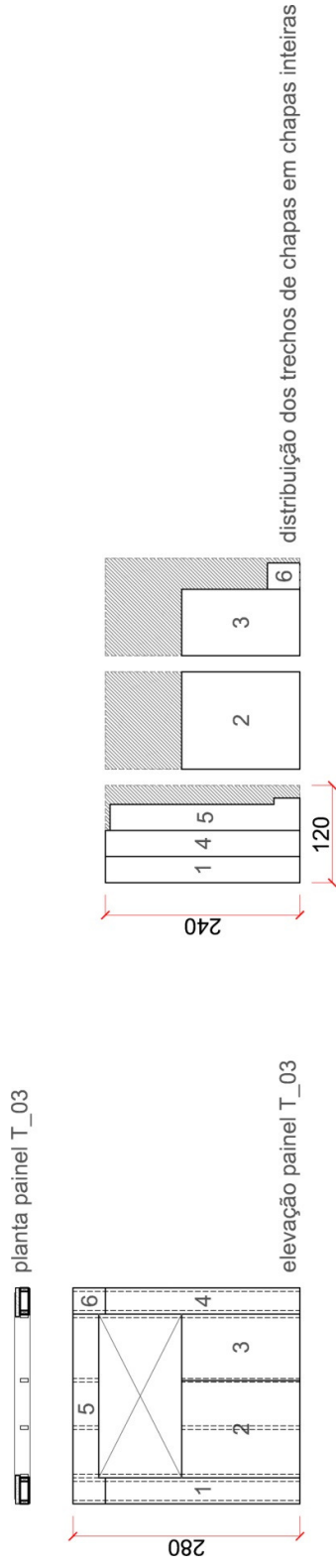


Tabela 11 – Modelo de tabela para o cálculo da taxa de desperdício individual de chapas estruturais para o projeto original (com dados referentes ao painel T_03).

Ref. painel	Chapas OSB padrão	Largura	Comprimento	Área (m ²)	Quantidade de chapas adquiridas	Área total de OSB (consumo bruto) (m ²)	Taxa de desperdício individual		
							Área de chapas não aproveitada (m ²)	Taxa desperdício individual (%)	Taxa desperdício por chapa (%)
T_03	Área total chapa padrão (m ²)	1,2	2,4	2,88	3	8,64			
	Chapa inteira	Chapa inteira		Área das chapas utilizadas na composição do painel (área por chapa em m ²)		Área de chapas utilizadas (m ²)	Área de chapas não aproveitada (m ²)	Taxa desperdício por chapa (%)	
	2,88	Chapa 1	0,773	0,773	0,775	2,321	0,559	19,40972222	
	2,88	Chapa 2	1,752	-	-	1,752	1,128	39,16666667	
	2,88	Chapa 3	1,197	0,129	-	1,326	1,554	53,95833333	
						5,399	3,241	37,51157407	

Ao final do cálculo da taxa de desperdício individual, $Tx_{desp,(Ti)}$, dos 37 painéis considerados (indicados nas FIGURAS 25 e 26), foi calculada a taxa de desperdício global, $Tx_{desp,Global}$, a partir da média ponderada das taxas individuais obtidas, levando em conta a área total de chapas utilizadas e a taxa de desperdício de cada painel, conforme demonstrado na Equação 01.

Eq.01

$$Tx_{desp,Global} = \sum_{i=1}^{37} (A_{util(Ti)} \times Tx_{desp(Ti)}) \div \sum_{i=1}^{37} A_{util(Ti)}$$

Sendo,

$Tx_{desp,Global}$ – taxa de desperdício global ponderada;

$A_{util(Ti)}$ – área útil do painel Ti , com “ i ” variando de 01 até 37;

$Tx_{desp(Ti)}$ – taxa de desperdício do painel Ti , com “ i ” variando de 01 até 37.

De modo a contrapor o desperdício global de chapas OSB obtido para o projeto original com o reprojeto, foram identificadas quantas chapas inteiras deveriam ser adquiridas para a produção de todos painéis verticais modulares empregados na composição da edificação de referência.

Na proposta de painéis verticais apresentada nesta dissertação, partiu-se do pressuposto de que as chapas OSB seriam adquiridas nas dimensões especiais de 1,20 x 2,70 m. Segundo informações obtidas com a empresa que produz esses componentes, as chapas podem ser fornecidas no comprimento desejado pelo construtor, desde que o pedido seja feito em grande escala. Por se tratar de proposta voltada a um processo construtivo semi-industrializado, com existência de catálogo e estoque mínimo, atende-se, desse modo, os requisitos de escala estabelecidos pelo fabricante.

Assim, considerando que serão produzidos em fábrica apenas os painéis utilizados nesse projeto (para fins de análise, pois o ideal é que a fábrica trabalhe com um estoque mínimo de painéis), as chapas que os compõem foram distribuídas em chapas inteiras, buscando sempre o melhor aproveitamento da superfície. O cálculo da taxa de desperdício global para o reprojeto foi então feito tal qual o cálculo de desperdício individual no projeto original, ou seja, a partir da relação da área de chapas adquirida e a área de chapas não aproveitada.

O intuito dessa análise foi avaliar se, com a aplicação dos princípios da coordenação modular no projeto de painéis verticais elaborado, foi possível promover o melhor aproveitamento dos materiais e, assim, contribuir para a racionalização construtiva.

3.5 ETAPA 5 – RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO RACIONALIZADO DE EDIFICAÇÕES EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA SEMI-INDUSTRIALIZADO

Aqui se espera apresentar considerações sobre a análise comparativa realizada, revelando se foi de fato atestada vantajosa, do ponto de vista da flexibilidade e da racionalização construtiva, a aplicação dos princípios da coordenação modular no projeto de edificações no sistema plataforma semi-industrializado.

Além disso, serão reunidas recomendações, voltadas à prática projetual, que favoreçam a racionalização da etapa de projeto, refletindo na etapa de execução de edificações no sistema construtivo em questão.

4 APRESENTAÇÃO DO PROJETO ORIGINAL

O projeto utilizado para a comparação apresentada neste trabalho refere-se a uma residência unifamiliar de dois pavimentos, sem porão ou sótão, com área total construída de 240,67 m². A elaboração do projeto e a produção e execução da obra foram realizadas pelo escritório de arquitetura *InOS* e pela empresa *EcosHaus*, respectivamente, que atuam em parceria na produção de edificações no sistema plataforma em madeira, ambas com sede na cidade de Curitiba-PR.

4.1 PROCESSO DE PROJETO X PROCESSO DE PRODUÇÃO

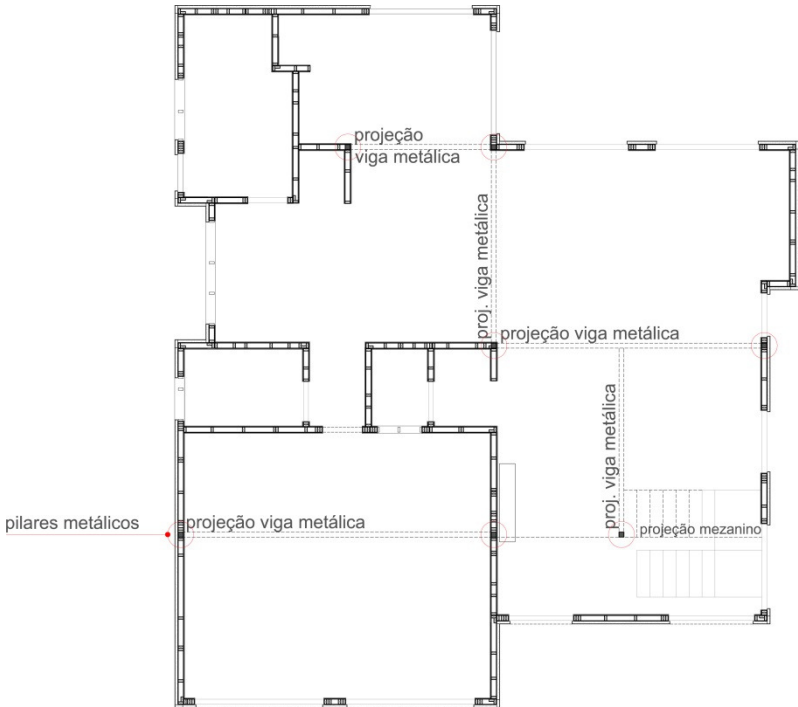
Por ser tratar de um sistema construtivo considerado inovador para os padrões brasileiros, ainda é limitado o conhecimento que o público em geral, e até mesmo os próprios profissionais da área, possuem acerca das características, possibilidades e limitações construtivas do sistema plataforma em madeira. Os aspectos que mais se costuma ressaltar são a sustentabilidade do tipo de construção – entre outras razões, por empregar a madeira enquanto material construtivo de fonte renovável – e a rapidez com que a obra pode ser executada. Esse último tem sido o fator decisivo na opção dos clientes pelo sistema plataforma para a concretização de seus projetos, conforme foi relatado pelos gerentes das duas grandes empresas do ramo na cidade de Curitiba-PR – a Tecverde e a EcosHaus.

Apesar da oferta de elaboração de projetos personalizados e também de projetos já prontos – com possibilidade de personalização pela adição de módulos de ambientes, grande parte dos consumidores procura as empresas citadas com projetos arquitetônicos previamente resolvidos, para que sejam executados no sistema plataforma em madeira. Conforme exposto, motivados, sobretudo, pela agilidade na execução. Decorre disso que, por terem sido concebidos para sistemas construtivos convencionais, como a alvenaria e o concreto armado, apresentam muitas vezes soluções arquitetônicas impróprias para a execução no sistema em questão. Não obstante possam ser realizadas, acabam por representar gastos excessivos de material e mão de obra, refletindo no custo final da edificação. Além disso, tal prática vai à contramão do que preconiza o conceito de racionalização construtiva, já

apresentado e tomado como fundamental para o desenvolvimento do setor e a consolidação de tecnologias construtivas inovadoras.

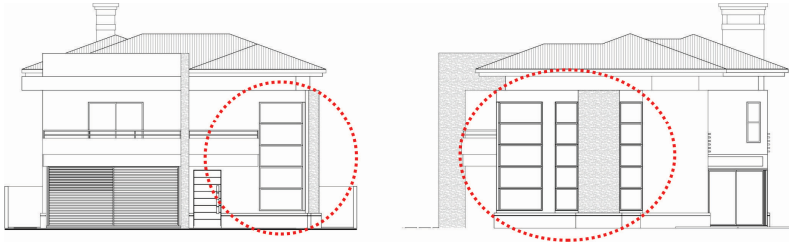
O projeto em estudo integra o quadro relatado acima, ou seja, sua concepção deu-se antecipadamente à decisão de executá-lo no sistema plataforma em madeira. Decisões projetuais como criar um amplo espaço livre no térreo, que integra sala de estar e jantar, cozinha e churrasqueira, gerou a necessidade de prever no projeto executivo grandes vigas capazes de vencer com segurança os vãos livres (FIGURA 29). Diante da inviabilidade de se obter vigas de madeira maciça em seções de maiores dimensões e do custo ainda elevado de produção de vigas de madeira laminada colada (MLC), no país, a solução adotada recorreu a vigas metálicas apoiadas sobre pilares também metálicos, que, por sua vez, ficaram embutidos nos painéis de parede.

Figura 29 – Planta do térreo com disposição de vigas e pilares metálicos.



O partido arquitetônico da residência levou também à proposição de grandes painéis de vidro, de pé-direito duplo, situados nos ambientes de estar e mezanino (FIGURA 30). Como explicado em capítulo à parte, a concepção estrutural do sistema plataforma baseia-se na execução de paredes portantes, sobre as quais se apoiam as plataformas de piso e, por sua vez, as paredes do pavimento superior. Diante do especificado no projeto, a medida tomada na execução foi a interrupção das travessas e vigas dos painéis de parede e das plataformas de piso, respectivamente, no trecho correspondente à abertura da janela, para que se desse sua adequada instalação. Tal medida representou retrabalho para a equipe de montagem e desperdício de material, pois as peças de madeira cortadas acabaram descartadas.

Figura 30 - Elevações frontal e lateral direita da residência com indicação das janelas de pé-direito duplo.



Fonte: Adaptado de EcosHaus, 2011.

Em contraponto à prática descrita, a coordenadoria de projetos de ambas as empresas informou que, quando fica a cargo do próprio escritório a elaboração do projeto arquitetônico da edificação, desde os estudos iniciais, os profissionais atuantes no processo são orientados a tomar decisões projetuais condizentes com o método construtivo empregado, buscando equilíbrio entre os requisitos técnicos de funcionamento do sistema e as necessidades e os anseios do cliente.

A empresa EcosHaus, encarregada da produção e montagem do projeto original, faz uso de programa computacional específico que auxilia no desenvolvimento do projeto executivo de edificações no sistema plataforma. Por meio dessa ferramenta, que se constitui em vínculo entre projeto e produção, os painéis de parede e as plataformas de piso que irão compor a edificação têm seus componentes detalhados. O programa recebe os dados relativos aos insumos que serão empregados, como dimensões de chapas, seções de componentes de madeira serrada e espessura de material isolante, por exemplo, e faz a correspondência com o projeto arquitetônico fornecido, aplicando as diretrizes construtivas do sistema plataforma. Os dados do projeto executivo gerado são lidos pelo programa de controle do maquinário de produção e os elementos construtivos são produzidos de forma automatizada.

As paredes da edificação são produzidas no comprimento total do ambiente, segundo o sistema panelizado de construção industrializada. Os painéis de parede são numerados em planta e detalhados em pranchas individuais. Cada prancha contém informações como a quantidade e disposição dos montantes e travessas, das aberturas como portas e janelas, das chapas OSB e de gesso acartonado e do material de isolamento.

4.2 GRAU DE INDUSTRIALIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

A empresa EcosHaus produz edificações, residências em sua maioria, no sistema plataforma em madeira em parceria com o escritório de arquitetura Inos desde 2010. A fábrica, com sede na capital paranaense, dispõe de maquinário fornecido pela empresa alemã *Weinmann* para produção automatizada dos painéis de parede, das plataformas de piso e da estrutura da cobertura, com agilidade e elevado grau de precisão (FIGURA 31). Os principais subsistemas da edificação podem ser obtidos nesse processo: os painéis de parede, por exemplo, podem deixar a fábrica com ossatura, fechamentos e, inclusive, instalações, e recebem o acabamento final em obra.

Figura 31 – Interior da fábrica EcosHaus: produção de painel de parede (esquerda) e maquinário de produção (direita).



Os elementos produzidos já preveem furações para receberem os ganchos de suspensão na ocasião do carregamento do caminhão para transporte ao canteiro e da montagem propriamente dita, em que são empregadas guas. Estima-se que o processo de produção dos elementos construtivos em fábrica dure em torno de seis semanas e a montagem em canteiro, três meses, aproximadamente.

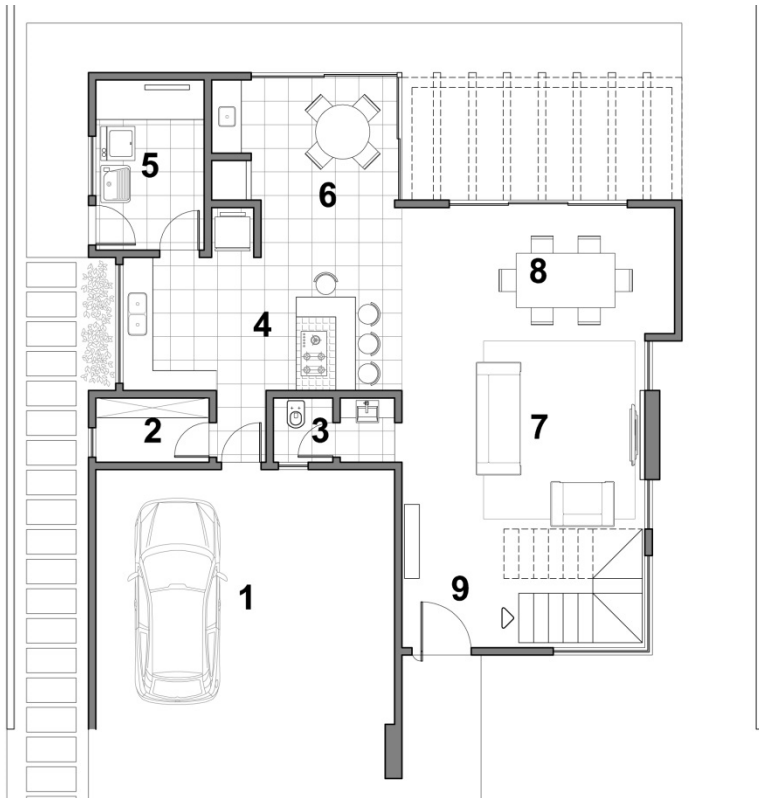
Diante disso, o processo construtivo observado na empresa EcosHaus foi avaliado em industrializado, dentro da classificação proposta na fundamentação teórica.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO

4.3.1 Descrição dos ambientes

O projeto da residência estudada acomoda no pavimento térreo (FIGURA 32): garagem para dois carros; uma entrada social e duas entradas de serviço; sala de estar, sala de jantar e cozinha integradas; lavabo; churrasqueira; lavanderia e depósito. No pavimento superior (FIGURA 33), tem-se: suíte e suíte máster, com closet; mezanino, com espaço para sala de estar íntimo e escritório, e terraço.

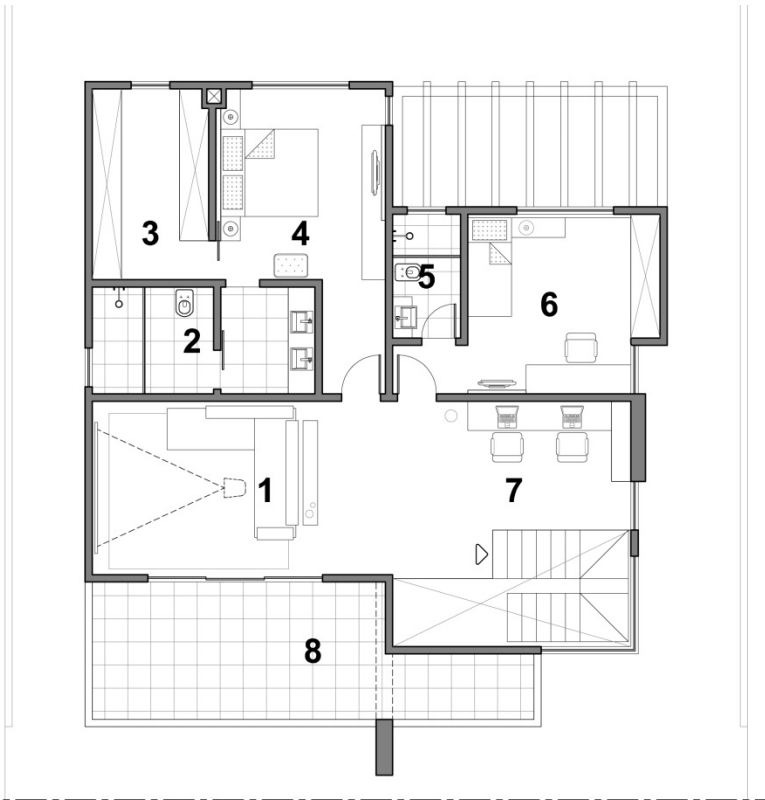
Figura 32 – Planta do pavimento térreo, sem escala.



Fonte: Adaptado de EcosHaus, 2011.

Legenda: 1-garagem; 2-despensa; 3-lavabo; 4-copa/cozinha; 5-lavanderia; 6-churrasqueira; 7-estar; 8-jantar; 9-hall.

Figura 33 – Planta do pavimento superior, sem escala.



Fonte: Adaptado de EcosHaus, 2011.

Legenda: 1-estar íntimo; 2-banheiro; 3-closet; 4-suíte-master; 5- banheiro; 6-suíte; 7-mezanino; 8-terraço.

4.3.2 Soluções construtivas

Conforme apresentado no item 4.3.1, para atender a exigências do projeto arquitetônico, que previu um amplo espaço interno livre de pilares no pavimento térreo, a execução da residência estudada lançou mão de vigas e pilares metálicos, em pontos específicos, para compor o arranjo estrutural da edificação. Assim sendo, tal edificação não pode ser considerada uma construção em sistema plataforma puro.

Contudo, é importante esclarecer que a introdução desses elementos metálicos não interfere na comparação realizada nesta pesquisa, conforme explicação que segue:

- 1- O subsistema piso não será objeto de avaliação e, portanto, o material empregado na estrutura do piso não é relevante para a comparação realizada e;
- 2- Os pilares metálicos foram posicionados no interior dos painéis de parede, entre os componentes da ossatura, e, desse modo, não influenciam na configuração dos painéis de parede.

Posto isso, segue breve descrição dos subsistemas que compõem a edificação estudada.

4.3.2.1 Subsistema fundação

A solução adotada para o subsistema fundação foi a laje tipo radier. Não são empregadas guias de ancoragem para a fixação dos painéis do pavimento térreo à laje de concreto, sendo essa fixação realizada por meio de cantoneiras metálicas e parafusos de ancoragem que ligam a travessa inferior dos painéis diretamente ao radier. Os conectores (FIGURA 34) são produzidos sob encomenda por uma siderúrgica nacional.

Figura 34 – Exemplo de cantoneira metálica utilizada na fixação dos painéis de parede à fundação.



4.3.2.2 Subsistema parede

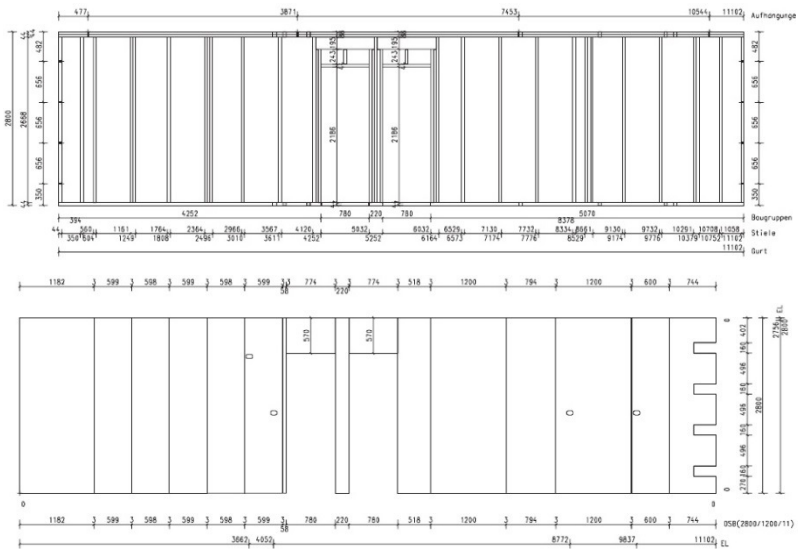
Os painéis de parede podem ser integralmente produzidos em fábrica e são constituídos pelos seguintes componentes (para paredes

externas, da face interna para a externa): acabamento; chapas de gesso acartonado de 12,5 mm; chapas OSB 11,1 mm; ossatura contendo as instalações elétricas e hidrossanitárias nos espaços vazios, quando especificado; chapas OSB 11,1 mm; camada de isopor de 5 mm, para isolamento térmico-acústico; camada de reboco e acabamento final. No caso da residência estudada, optou-se por aplicar o reboco e acabamento final em obra.

As peças de madeira serrada que constituem a ossatura são de *Pinus taeda*, fornecidas pela empresa catarinense Battistella Florestal. As peças recebem tratamento em processo industrial de vácuo-pressão-vácuo em autoclave, com o produto preservativo Borato de Cobre Cromatado (CCB). As seções adotadas para os componentes de ossatura, como montantes e travessas, são de 44 x 95 mm.

O comprimento de cada painel equivale à medida total do ambiente que irá delimitar, o que pode resultar em elementos construtivos de grandes dimensões, como o painel ilustrado na Figura 35 e que possui comprimento total de 11 m, situado no pavimento superior. Painéis de grandes dimensões exigem cuidados adicionais no manuseio e transporte, exigindo equipamentos especiais e estudos de logística.

Figura 35 – Elevação de painel do pavimento superior – ossatura e paginação das chapas OSB internas.



Fonte: EcosHaus, 2011.

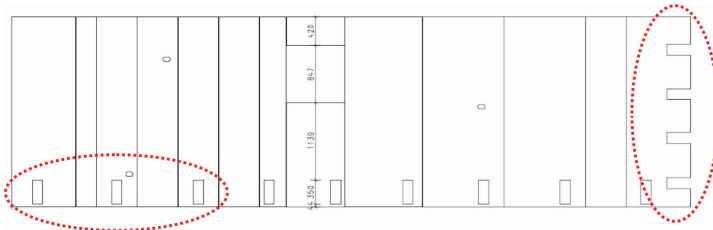
Os painéis que possuem aberturas de portas chegam ao canteiro com as travessas inferiores contínuas, de modo a assegurar a integridade do painel no transporte e na montagem. Após instalar o painel em seu local definitivo, as travessas são cortadas no trecho da soleira da porta, em caso de painéis internos. Nas portas externas, as travessas são mantidas intactas. As esquadrias de portas e janelas são instaladas em obra.

A fixação dos painéis à estrutura de piso é feita no pavimento térreo com o auxílio de cantoneiras metálicas, conforme explicado no item 4.3.2.1 – Subsistema fundação. Os painéis do pavimento superior, por sua vez, são fixados ao entrepiso por meio de parafusos auto-atarraxantes posicionados nas travessas inferiores. Para isso, as chapas OSB que fecham os painéis em sua face interna recebem rasgos retangulares (350 x 160 mm, em geral) na porção inferior para que os painéis possam ser fixados em obra (FIGURA 30).

A união entre painéis perpendiculares é realizada por meio de parafusos que ligam os montantes extremos da interface entre os painéis. Essa ligação em obra é permitida também pela disposição de

rasgos retangulares na chapa OSB mais extrema de um dos painéis, conforme demonstrado também na Figura 36. As chapas de gesso acartonado, que chegam à obra já aplicadas aos painéis, são removidas no trecho de pregação no momento da fixação dos painéis e depois instaladas novamente, gerando retrabalho na execução.

Figura 36 – Disposição de rasgos nas chapas OSB da face interna do painel para acesso à fixação no piso e entre painéis.



Fonte: EcosHaus, 2011.

A furação das travessas para passagem dos eletrodutos do sistema elétrico é prevista no projeto de produção dos painéis e realizada ainda em fábrica, bem como os rasgos nas chapas para as esperas de interruptores e tomadas. Para as paredes hidráulicas são previstos painéis de montantes duplos, em função da necessidade de uma espessura maior para passagem das tubulações, resultando, assim, em uma parede de espessura final de 190 mm.

4.3.2.3 Subsistema piso

O entrepiso acabado da edificação possui aproximadamente 300 mm de espessura e é composto pelos seguintes componentes (do forro do pavimento inferior à superfície final do piso no pavimento superior): chapas de gesso acartonado de 12,5 mm, para o forro; ripas de 25 mm para sustentação do forro; vigas de madeira maciça de 190 mm de altura; chapas de OSB de 18,3 mm com encaixe do tipo macho e fêmea; camada de isopor de 30 mm, contrapiso de concreto de 40 mm e acabamento final com piso cerâmico, laminado, etc..

4.3.2.4 Subsistema cobertura

São utilizadas treliças pré-fabricadas de madeira serrada, produzidas na própria fábrica da empresa, a partir de peças de mesma seção dos componentes dos painéis (44 x 95 mm) e pregadas por meio de conectores metálicos estampados. Sobre as treliças fixam-se, já em obra, chapas OSB de 18,3 mm para contraventamento da estrutura, manta de isolamento, ripas e, por fim, as telhas.

Finalmente, as respostas para as questões levantadas durante o processo de coleta de dados, apresentadas no capítulo 3, foram inseridas e explicadas mais detalhadamente ao longo do texto, conforme se julgou apropriado. No entanto, optou-se por reuni-las na sequência de modo a auxiliar na compreensão do desenvolvimento da pesquisa:

No que tange ao processo de projeto:

Na elaboração do projeto arquitetônico, foram considerados os requisitos construtivos do sistema plataforma?

Não, o projeto arquitetônico foi definido antes mesmo da decisão de executar a residência no sistema plataforma em madeira, o que gerou a demanda por soluções construtivas diferenciadas para viabilizar a execução do especificado em projeto.

Na elaboração do projeto arquitetônico, foram considerados os princípios da coordenação modular, tais como malha modular de referência e ajuste modular?

Não foi proposta em projeto uma malha modular que contemplasse as medidas dos componentes construtivos empregados na construção.

Na elaboração do projeto arquitetônico, foram consideradas as dimensões dos insumos empregados?

Não, o que levou ao mau aproveitamento dos componentes construtivos, resultando em desperdício de material e mão de obra

(maior tempo de produção e execução em função da grande quantidade de cortes e ajustes a serem realizados).

Como é gerado o projeto de produção dos painéis de parede?

É gerado com o auxílio de programa computacional específico, que elabora o projeto de produção a partir do projeto arquitetônico previamente definido (dimensões dos ambientes e do pé-direito da edificação) e de parâmetros como as dimensões dos componentes empregados e os requisitos construtivos como espaçamento máximo admitido entre peças estruturais.

No que tange ao processo de produção:

Em que estágio de montagem os painéis de parede saem da fábrica? Ambas as faces do painel saem fechadas? Instalações? Isolamento?

Os painéis saem de fábrica com as chapas estruturais aplicadas em ambas as faces, com as chapas de gesso aplicadas na face interna e placas de isolamento na face externa. São posicionadas também as esperas para as tubulações de hidráulica e os eletrodutos de elétrica. Os painéis também recebem furação para a acoplagem do mecanismo que irá realizar o levantamento dos painéis no momento do transporte e da montagem da edificação.

Quais são as dimensões das chapas empregadas? São utilizadas as medidas comerciais padrão ou o fabricante fornece em dimensões especiais para a empresa?

1,20 x 2,40m, são utilizadas as medidas padrão de fábrica.

Qual é o grau de automação na produção dos elementos? As peças são cortadas pelos operários a partir de gabaritos e sobre mesas de montagem? Ou são empregadas máquinas?

Elevado grau de automatização, o maquinário faz a leitura do projeto de produção e realiza os cortes das peças nas medidas estabelecidas e a montagem final do painel.

O comprimento total dos painéis de parede é limitado por alguma condicionante como peso, transporte, logística, etc.?

O comprimento é limitado pelas dimensões de carga do caminhão de transporte e pela acessibilidade do caminhão ao terreno de implantação do edifício.

Qual é a espécie de madeira utilizada para as peças de madeira serrada e qual o tratamento preventivo que recebem?

Pinus taeda tratado em autoclave com o produto preservativo CCB.

No que tange ao processo de montagem da edificação (etapa de execução):

Como é feita a fixação dos painéis à base e dos painéis entre si no canteiro?

Os painéis, que saem de fábrica com as chapas aplicadas a ambas as faces, devem ter as chapas de gesso acartonado (acabamento interno) removidas no momento da montagem, no trecho em que será feita a fixação. Por exemplo, em caso de fixação do painel ao piso é removido o trecho de chapa na porção inferior do painel, previamente identificado. Após a remoção, os painéis são parafusados ao piso, ou a outro painel lateralmente. Para evitar que sejam removidas também as chapas estruturais que já se encontram fixadas ao painel, são dispostos pequenos rasgos nas chapas de modo a possibilitar o trabalho de fixação. Uma vez parafusados os painéis, as chapas de gesso são novamente aplicadas.

5 PROCESSO DE PROJETO DOS PAINÉIS VERTICAIS MODULARES, APRESENTAÇÃO E COMPARAÇÃO

5.1 CRITÉRIOS DE PROJETO PARA A CONCEPÇÃO DO CATÁLOGO DE PAINÉIS VERTICAIS MODULARES

O processo de projeto dos painéis verticais modulares foi norteado pelo referencial teórico reunido preliminarmente, que serviu de base para a seleção de critérios aos quais o projeto deveria atender de modo a atingir os objetivos propostos para esta dissertação. Os critérios traçados foram: público alvo, material, grau de industrialização, sistema construtivo e coordenação modular.

5.1.1 Público alvo

O cumprimento do escopo deste trabalho – de contribuir para a divulgação do sistema plataforma em madeira neste país e, desse modo, promover a ampliação de seu uso enquanto sistema construtivo – requer que se assuma, antes de tudo, o compromisso de atuar a favor da dissolução do conceito negativo que a madeira como material construtivo carrega na cultura brasileira. A geração atual, que vivencia uma espécie de culto às estruturas de concreto armado e de aço, frequentemente enxerga na madeira um material frágil e provisório para se usar em construções, associando-a ora às escoras e aos tapumes muito vistos nos canteiros de obras, ora às favelas e palafitas, moradias improvisadas de baixo custo.

Sem deixar de reconhecer a relevância das pesquisas que propõem a utilização de madeira de floresta plantada em habitações de interesse social, visando reduzir o déficit de moradias brasileiro, este trabalho tem o intuito de incentivar o uso da madeira como material construtivo também nas parcelas da sociedade cuja situação econômica seja mais favorecida. Isso significa que, uma vez dissipado o preconceito que paira sobre o “construir com madeira”, os indivíduos possam deliberadamente optar por esse material em seus projetos, não porque seja mais barato ou apenas porque seja ecologicamente mais correto e, sim, porque proporciona edificações duráveis, seguras e de qualidade.

Diante do exposto, a proposta de painéis verticais modulares, semi-industrializados, que se apresenta aqui, visa atender ao público das

classes C2 a A, isto é, de renda familiar média que varia de R\$ 1147 a R\$9263, de acordo com a última atualização no Critério de Classificação Econômica Brasil – CCEB (ABEP, 2013).

Os painéis de parede propostos têm como premissa o acabamento de qualidade e o bom desempenho estrutural e térmico, refletidos na especificação dos componentes empregados, que são: chapas OSB de 11,1 mm aplicadas a ambas as faces do painel, opção por lâ de rocha em seu interior para isolamento térmico e acabamento interno com gesso acartonado, por exemplo. Isso para que a construção no sistema plataforma em madeira possa competir diretamente com os demais sistemas construtivos, com foco na produção de residências, e consolidar-se como uma alternativa viável no mercado da construção nacional.

Além disso, a existência de um catálogo de painéis modulares favorece a agilidade na produção e montagem, tornando esta proposta uma solução também para construções emergenciais, em períodos pós-catástrofes em que se faz necessária a reposição de um grande número de edifícios com rapidez e praticidade.

5.1.2 Material

A concepção estrutural do sistema plataforma permite o emprego de madeira de baixa densidade e resistência mecânica média, como é o caso das espécies plantadas de *Pinus* e *Eucalyptus*. Essas espécies, de alta densidade em seus países de origem, quando introduzidas no Brasil, apresentam taxas de crescimento bastante elevadas e resultam em madeiras pouco densas. A introdução dessas espécies no sistema construtivo em questão contribui para o progresso do setor florestal, pois estimula a produção de madeira industrial e de madeira sólida, na forma de chapas de madeira reconstituída e de componentes construtivos, respectivamente, e do setor da construção civil, uma vez que impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias construtivas mais racionais. Além disso, diminui a pressão sobre a extração de madeiras nativas.

De acordo com Nahuz (2007), a maior parte da produção de pinus concentra-se atualmente nos estados da região sul do país, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e o eucalipto é obtido principalmente em plantios nos estados de São Paulo e Minas Gerais,

segundo a mesma fonte. Haja vista a concentração de empresas com foco no sistema plataforma em madeira para a produção de edificações nos estados citados do sul e a disponibilidade de madeira de pinus na região em destaque, optou-se por priorizar a especificação dessa espécie para as peças de madeira serrada empregadas nos painéis de parede propostos por este trabalho.

Para que os componentes construtivos de pinus, especificados nesta pesquisa, possam contribuir com a segurança estrutural dos painéis propostos e do conjunto da edificação⁹, as peças de madeira empregadas devem ser classificadas como de primeira categoria, conforme propõe a NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 1997). De acordo com essa norma, as peças de madeira somente poderão ser consideradas de primeira categoria se passarem por uma classificação visual, que as atestem isentas de defeitos, e também forem submetidas a uma classificação mecânica para enquadramento nas classes de resistência especificadas na Tabela 12. A definição de classes de resistência tem como objetivo padronizar as propriedades das espécies de madeira empregadas em um projeto. Diante disso, recomenda-se que sejam utilizadas na composição dos painéis propostos peças de pinus com classificação C20 ou superior, com valores de resistência à compressão paralela às fibras de, no mínimo, 20 MPa.

Tabela 12 – Classes de resistência das coníferas.

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U=12%)					
Classes	f_{c0k} MPa	f_{vk} MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C20	20	4	3500	400	500
C25	25	5	8500	450	550
C30	30	6	14500	500	600

Fonte: adaptado de Tabela 8, ABNT, 1997.

Por ser um material orgânico, porém, a madeira pode ter seu processo de biodeterioração desencadeado por agentes climáticos, como o intemperismo, e por organismos xilófagos, como cupins e

⁹ Vale ressaltar, mais uma vez, que a proposta de painéis verticais modulares apresentada nesta pesquisa não passou por uma verificação de sua segurança estrutural, embora atenda aos critérios construtivos prescritos nos códigos e normas relativos ao sistema plataforma.

brocas. Em relação aos primeiros, detalhes construtivos como beirais e pingadeiras e componentes como membranas hidrófugas e barreiras de vapor na vedação são indicados para manter a água longe da madeira. Tratamentos químicos preservativos também são recomendados, sobretudo em regiões de clima tropical e subtropical. Os produtos preservativos mais utilizados são o Borato de Cobre Cromatado (CCB), eficaz, porém, lixiviável, e o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), que apresenta elevada resistência à lixiviação. O processo de impregnação do produto na madeira é feito em autoclave por vácuo-pressão. Apesar de sua reconhecida eficácia, é importante ressaltar que os tratamentos assinalados acima podem apresentar toxicidade para o ser humano, sobretudo o CCA.

Ainda, em função de suas propriedades higroscópicas, a madeira tende a trocar umidade com o ambiente, de modo a buscar uma condição de equilíbrio. Essas oscilações no teor de umidade da madeira podem acarretar variações dimensionais nos componentes estruturais, sendo mais evidentes na direção tangencial aos anéis de crescimento. Assim sendo, a especificação da madeira de pinus para as peças que compõem os painéis verticais, nesta pesquisa, deve considerar a taxa de contração tangencial apresentada pela espécie, que, segundo dados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2013), corresponde a 6,3%. Tal ação tem o intuito de prever uma possível variação dimensional nos painéis e assim estimar a folga necessária entre peças capaz de absorver tal movimentação sem prejuízo à integridade dos elementos estruturais propostos.

Com relação às chapas estruturais – que devem aliar as funções de fechamento e de contraventamento dos painéis no sistema plataforma, foram especificadas chapas de madeira aglomerada do tipo OSB (ou de partículas orientadas).

5.1.3 Grau de industrialização

O grau de industrialização indicado para a produção dos painéis verticais modulares é o semi-industrializado, com pré-fabricação parcial dos elementos. Nesse processo produtivo, há um maior número de tarefas realizadas na unidade industrial em comparação com os processos tradicionais, contudo, ainda são requeridas operações de

montagem no canteiro, que podem ser desempenhadas pelos próprios operários.

Em fábrica, os painéis de parede têm o quadro de sua ossatura montado e as chapas OSB aplicadas apenas à face externa, configurando os denominados painéis abertos. Tal critério de produção tem como objetivo facilitar a fixação dos painéis entre si e à base na montagem da edificação em canteiro. Além disso, os módulos de painéis propostos tiveram seu comprimento total limitado a 240 cm, com o intuito de permitir o seu manuseio pelos próprios operários.

A chegada dos painéis em obra sem as chapas internas fixadas favorece também a execução das instalações e do isolamento, logo após a fixação dos painéis em sua posição final. As furações para passagem de tubulações e eletrodutos devem ser realizadas previamente em fábrica. O material indicado para o isolamento térmico-acústico é a lã de rocha, aplicada nos vazios entre os componentes de ossatura do painel. Em regiões de inverno não muito rigoroso, a lã de rocha pode ser dispensada, pois os próprios espaços vazios deixados pela ossatura criam uma camada de ar, contribuindo para a redução das trocas de calor da edificação.

Apesar do elevado grau de industrialização apresentado pela empresa que executou o projeto original nesta pesquisa, observa-se que essa não corresponde à realidade de grande parte das empresas que atuam no setor de construção com madeira na região sul do país. Diante disso, busca-se adequar a proposta aqui apresentada ao cenário regional e promover a produção dos painéis por serrarias locais, que não dispõem do maquinário necessário à produção automatizada desses elementos.

Por fim, a execução da obra no sistema plataforma em módulos de painéis agiliza a montagem, diminui a ocorrência de falhas e dispensa a necessidade de escoramentos provisórios (FIGURA 37), o que representa um custo extra com material.

Figura 37 – Execução do protótipo Stella-UFSC: os painéis de parede chegaram ao canteiro sem os montantes internos e as chapas de fechamento, o que implicou na disposição de um grande número de escoras.



Fonte: Krambeck, 2006.

5.1.4 Sistema construtivo

O projeto dos painéis verticais modulares atende aos critérios estruturais dispostos nas normas e códigos americanos, canadenses e europeus, aplicáveis ao sistema plataforma em madeira, descritos no item 2.2.4.2 desta pesquisa.

Na elaboração do projeto dos painéis de parede, partiu-se da premissa de que o pavimento térreo seja capaz de suportar uma carga relativa a um pavimento e à cobertura. Posto isso, adotou-se o valor de 600 mm para o espaçamento máximo entre montantes, visando à simplicidade construtiva (princípio da construtibilidade): um painel de 1200 mm de comprimento requer quatro montantes para atender a um espaçamento de 400 mm, ao passo que se o mesmo painel fosse atender a um espaçamento de 600 mm, o faria com apenas três montantes. Para isso, a seção adotada para os montantes e travessas foi a de 40 x 120 mm.

A opção pela seção de 40 x 120 mm, e não as de 65 x 90 ou 40 x 140, aplicáveis ao mesmo espaçamento de 600 mm, pautou-se na necessidade de tornar os painéis de parede elementos de coordenação modular decimétrica. Assim, suas medidas finais deveriam ser múltiplas ou submúltiplas do módulo básico de 10 cm. A profundidade de 120 mm do montante, somada à espessura de duas chapas OSB de 11,1 mm e respeitadas as tolerâncias dimensionais do material, gerou elementos

construtivos de 150 mm de profundidade, equivalente a um multimódulo 3/2M (1,5 x 10 cm).

Além do exposto acima, a escolha da seção para os montantes utilizados na proposta foi balizada pela ideia de racionalização do uso dos materiais, optando pela menor seção que assegurasse o desempenho estrutural esperado. Por se tratar de medidas especiais, fora dos padrões comerciais disponíveis no mercado de varejo de madeiras serradas, propõe-se adquirir diretamente de serrarias, processadas sob encomenda, evitando, assim, perdas no reprocessamento para dimensionamento final das peças. A proposta justifica-se pelo fato do projeto ser em escala semi-industrial e demandar um volume significativo de madeira para fabricação dos componentes construtivos.

As travessas superiores e inferiores dos painéis propostos são peças simples, constituídas por componente único. Porém, recomenda-se que em obra, após a fixação dos painéis à base, seja adicionada uma segunda travessa superior contínua, que transpasse os encontros entre painéis. Essa medida visa aumentar a rigidez das ligações entre painéis e a resistência da parede face às forças horizontais.

A determinação da espessura das chapas estruturais empregadas baseou-se nos critérios reunidos no capítulo de fundamentação teórica, definidos principalmente em função do espaçamento adotado entre montantes. No Brasil, a *LP Building Products*, empresa que produz e comercializa as chapas OSB no país, disponibiliza o produto nas seguintes dimensões (TABELA 13):

Tabela 13 – Dimensões das chapas OSB comercializadas pela LP.

Dimensões	
Formato (m)	Espessura (mm)
1,20 x 2,40	9,5/ 11,1/ 18,3
1,20 x 3,00	9,5/ 11,1

Fonte: *LP Building Products* – OSB Home Estrutural, 2010.

Destaca-se que as medidas apresentadas acima correspondem a dimensões comerciais e que, na realidade, as chapas são produzidas com uma diferença de 3 mm a menos em comprimento e largura. Isso se dá em função da necessidade de prever uma junta entre chapas, para acomodar eventuais variações dimensionais no material decorrentes de

mudanças em seu teor de umidade, conforme informação obtida com a gerência de produção da LP. Assim, as medidas nominais das chapas resultam em 1,197 x 2,397 m e 1,197 x 2,997 m.

Diante do exposto, foram especificadas no projeto dos painéis verticais modulares chapas OSB de 11,1 mm de espessura.

No atendimento ao disposto no Eurocode 5 (2003), que define a relação entre comprimento e altura que deve apresentar uma parede para ter função estrutural, dividiu-se o catálogo de painéis de parede propostos nesta dissertação em painéis estruturais e não-estruturais. Assim, o catálogo dispõe de quatro painéis-cego estruturais, nos comprimentos de 80, 90, 120 e 240 cm (a altura do painel equivale a 270 cm e, portanto, $270/4 = 67,5$ cm – comprimento mínimo do painel estrutural) e três painéis-cego sem função estrutural, nos comprimentos de 30, 40 e 60 cm.

Com relação ao nível de ancoragem dos painéis à base, propõe-se a fixação de dispositivos de ancoragem nos montantes extremos da parede total (conjunto de módulos de painéis que formam uma mesma face) e também a cada quebra de continuidade de uma parede estrutural, isto é, antes de iniciar uma parede não estrutural. Além disso, recomenda-se o uso desse recurso também nos painéis que possuem aberturas de portas e janelas.

Por fim, a solução adotada para os encontros de canto entre os painéis de parede propostos buscou aproximar-se da empregada no sistema panelizado, ou seja, a fixação é feita entre os próprios painéis que se encontram perpendicularmente, e não por meio de um elemento especial de canto. Tal opção justifica-se pela solução adotada no sistema panelizado proporcionar maior rigidez ao carregamento lateral, conforme foi demonstrado no item 2.2.4.1 desta dissertação.

5.1.5 Coordenação modular

Para o projeto dos painéis verticais modulares foi utilizado o quadriculado de projeto M, ou quadriculado modular propriamente dito, em que M é o módulo base e definido pela NBR 15873:2010 – Coordenação modular para edificações (ABNT, 2010) como equivalente a 10 cm. A espessura total dos painéis, que compreende montantes e chapas OSB de 11,1 mm nas duas faces, corresponde a 15 cm, ou 1,5 M.

O comprimento dos diferentes painéis modulares foi definido em função das dimensões de mercado do componente empregado em maior escala no sistema construtivo adotado, isto é, das chapas OSB. As chapas são fornecidas nas medidas 120 x 240 cm ou 120 x 300 cm. Desse modo, a malha de projeto adotada para a composição arquitetônica a partir dos painéis projetados, foi de 12 M (equivalente a 120 cm).

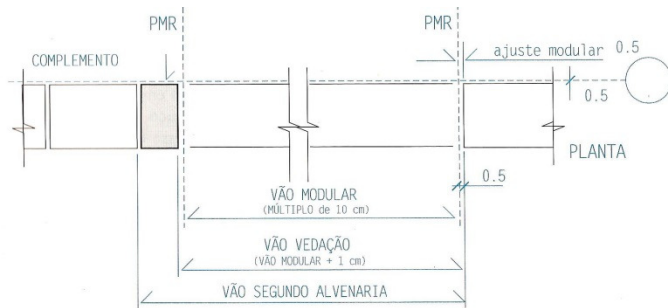
Uma vez que o foco desta pesquisa é o subsistema parede, o subsistema piso será tratado como uma zona neutra compreendida entre dois conjuntos vedação modulados (correspondentes às paredes dos pavimentos térreo e superior), conforme sugestão de Lucini (2001) apresentada no item 2.3.

Os painéis que comportam aberturas de janelas e portas foram projetados com base na proposta de modulação de vãos de esquadrias, apresentada por Lucini (2001). Em sua proposta, esse autor caracteriza o vão modular, no qual ficará compreendida a esquadria, como múltiplo de 10 cm (coordenação modular decimétrica). O vão vedação diz respeito ao vão modular mais uma junta de 1 cm, relativa à espessura da argamassa de assentamento para construção com blocos estruturais de concreto, componentes do sistema construtivo de referência adotado pelo autor supracitado (FIGURA 38).

Na proposta de painéis apresentada nesta dissertação, porém, será utilizada madeira serrada na composição da ossatura da parede, executada por meio de ligações pregadas, e, portanto, não será considerada a junta de 1 cm para encaixe das esquadrias. O ajuste modular, ou seja, a folga que deve ser deixada de cada lado da esquadria, deve ser de 1,25 mm (junta modular total de 2,5 mm), medida que permite acomodar eventuais variações dimensionais na madeira em função de oscilações em seu teor de umidade. Obteve-se o valor de 2,5 mm a partir da taxa de contração tangencial para a espécie de pinus (6,3%), apresentada no item 5.1.2 do presente capítulo, calculada sobre a medida de 40 mm. Esta equivale à menor dimensão da seção da peça de madeira empregada como montante na composição dos painéis propostos.

Os vãos modulares adotados foram então definidos a partir do quadro de vãos modulares preferidos, apresentado no Manual Técnico de Modulação de Vãos de Esquadrias, de Lucini (2001).

Figura 38 – Esquema demonstrando vão modular e vão vedação.



Fonte: Lucini (2001).

5.2 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE PAINÉIS VERTICAIS MODULARES

Neste item, apresenta-se a proposta de painéis verticais modulares, que compreende 13 soluções diferentes para composição da vedação vertical do sistema plataforma, entre tipos cegos e com aberturas de portas e janelas.

Em um primeiro momento, buscou-se identificar, no subsistema parede, o componente empregado em maior escala e que representasse um item de relevância na composição dos custos totais de vedação vertical, tendo em vista a otimização de seu uso e conseqüente redução de custos e desperdícios da obra como um todo.

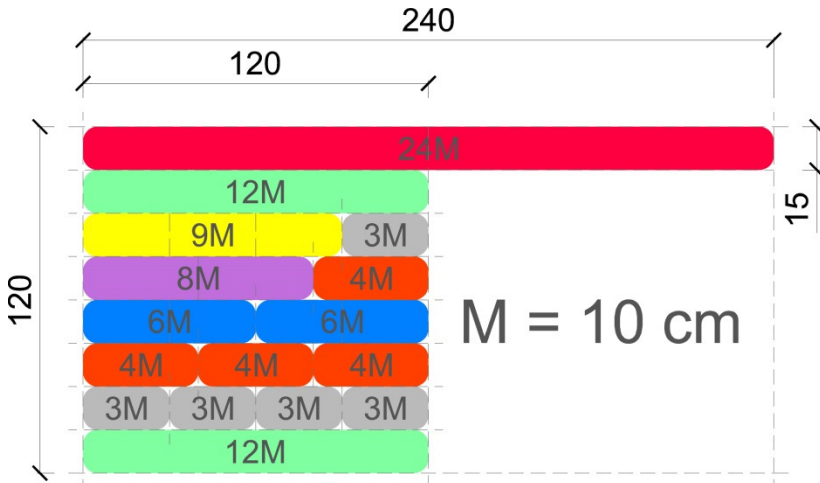
Os componentes empregados em maior volume no subsistema avaliado foram, em primeiro lugar, as peças de madeira serrada que compõem a ossatura dos painéis, seguidas pelas chapas estruturais de OSB, utilizadas no fechamento de ambas as faces, conforme revelou quantitativo de materiais realizado em etapa preliminar.

Embora tenham liderado o consumo de material, as peças de madeira serrada, uma vez determinadas suas seções mínimas em função dos requisitos de desempenho estrutural do sistema plataforma, chegam ao canteiro em suas dimensões pré-determinadas e são geralmente empregadas sem a necessidade de cortes para ajustes, gerando um bom aproveitamento do material. A aplicação das chapas OSB, no entanto, é condicionada a uma definição prévia do quadro da ossatura que, por sua vez, deve atender à configuração dos ambientes

definida pelo projeto arquitetônico, desconsiderando quase sempre as dimensões dos insumos empregados e um sistema de coordenação modular que relacione todas as medidas da construção.

Diante disso, na proposição de uma modulação para os painéis, foram consideradas as dimensões de mercado da chapa estrutural – 1,20 x 2,40 m e 1,20 x 3,00 m. Como se empregou as chapas posicionadas na vertical, a medida-chave para o projeto dos elementos foi a de 1,20 m. Considerando a coordenação modular decimétrica, a medida total da chapa foi segmentada em partes inteiras, múltiplas do módulo-base (10 cm), para gerar os módulos menores de painéis de parede. Assim, o módulo 12M foi dividido em submódulos 3M e 4M, gerando as seguintes variações: três módulos 3M formam o painel de 90 cm (9M), dois módulos 3M o painel de 60 cm (6M) e dois módulos 4M formam o painel de 80 cm (8M). O módulo de 12M duplicado forma o painel maior de 240 cm (24M) e os submódulos 3M e 4M também podem por si só configurar painéis curtos que, embora não tenham função estrutural, são importantes para a composição dos ambientes, possibilitando mais variações em suas dimensões e aumentando, assim, a flexibilidade de arranjo arquitetônico da proposta (FIGURA 39).

Figura 39 – Esquema de modulação dos painéis de parede.



Seguindo os critérios de projeto apresentados até aqui, elaborou-se o catálogo de painéis verticais modulares, compreendido por: sete

painéis cegos, nos comprimentos expostos anteriormente; um painel porta-janela no comprimento 240 cm; três painéis-janela de 240, 120 e 90 cm de comprimento e dois painéis-porta, ambos de 120 cm, com variação dos vãos modulares para a porta.

A altura adotada para os painéis foi de 2,70 m, definida em função das exigências dos códigos de obras e edificações dos municípios de Curitiba e Florianópolis. De acordo com o Decreto nº 212/2007, do município de Curitiba, a altura mínima livre de pé-direito para habitações unifamiliares é de 2,40 m e a Lei Complementar de nº 60/2000, do município de Florianópolis, por sua vez, exige um pé-direito mínimo de 2,60 m para compartimentos destinados a repouso, estar e estudo em edificações de uso residencial.

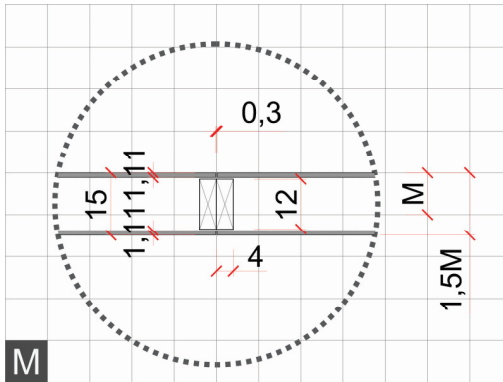
Diante disso, foram especificadas chapas estruturais no comprimento especial de 2,70 m. Conforme já mencionado, as chapas estruturais são comercializadas nas dimensões padrão de 1,20 x 2,40 m e de 1,20 x 3,00 m. No entanto, a especificação destes componentes em dimensões especiais é viabilizada em função da escala de produção a que esta proposta se volta.

A ossatura básica dos painéis configura-se a partir de montantes de seção 40 x 120 mm, espaçados em no máximo 600 mm, e de travessa inferior e superior, componentes horizontais de seção equivalente a dos montantes. O quadro formado recebe chapas estruturais de OSB em ambas as faces, de modo a aumentar a rigidez do painel. As chapas possuem espessura de 11,1 mm e deve-se respeitar uma junta de 3 mm entre chapas¹⁰, conforme recomendação do fabricante (FIGURA 40).

Embora o projeto do painel modular considere as duas faces de chapas OSB, a face interna deve ser pregada em obra, após a fixação do painel à base. Essa medida visa facilitar a fixação dos painéis entre si e à base, no momento da montagem, e possibilitar a execução das instalações e do isolamento (caso seja especificado).

¹⁰ Conforme entrevista realizada com a gerência de produção da empresa LP *Building Products*, fornecedora das chapas OSB no Brasil, as chapas são produzidas com medida nominal equivalente a 1197 x 2397 mm, isto é, já consideram o valor de junta (**Fonte:** Entrevista realizada no escritório da LP na cidade de Curitiba-PR em 18/07/2012).

Figura 40 – Detalhe da espessura do painel modular. Medidas em cm.



De modo a prever uma possível variação dimensional nas peças de madeira serrada que formam o quadro de ossatura e evitar que, ao inchar, um painel ocupe o espaço modular do painel adjacente, deve-se adotar uma junta de 2,5 mm entre os montantes extremos de dois painéis contíguos. Obteve-se esse valor a partir da taxa de contração para a espécie de pinus – 6,3% (vide item 5.1.2) – e considerando a largura de 40 mm adotada para a seção dos montantes.

As chapas de gesso acartonado não foram adicionadas ao painel modular, pois sua aplicação depende do ambiente que o painel irá delimitar e se é parede externa ou interna. Desse modo, a instalação dessas chapas de acabamento deve ser realizada em obra, após a fixação dos painéis de parede à base e aplicação da face interna de OSB.

Na elaboração do projeto dos painéis aqui apresentados não foi feita a diferenciação entre painéis para ambientes secos de painéis para ambientes úmidos, tais como banheiros, cozinhas e lavanderias. No entanto, tal preocupação não deve ser negligenciada em um projeto para produção voltado à efetiva execução do subsistema parede, devendo-se, por exemplo, ter o cuidado de prever uma espessura tal para os painéis que permita a passagem das tubulações hidráulicas devidamente dimensionadas.

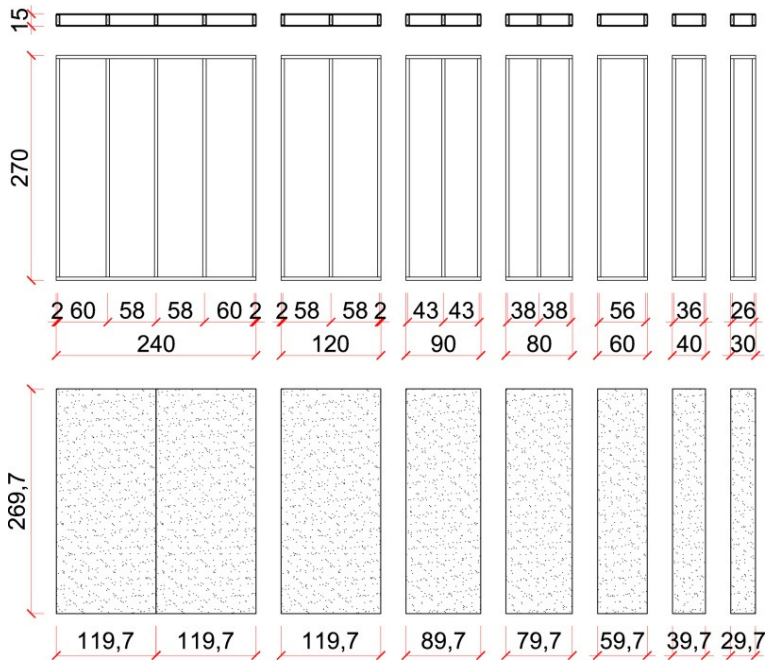
Na sequência, apresenta-se o detalhamento dos painéis propostos.

5.2.1 Painéis cegos

Os painéis cegos (FIGURA 41) são bastante simples de executar, por possuir menor número e variedade de componentes em sua composição. As chapas de fechamento recebem apenas um corte longitudinal, quando não são empregadas inteiras, como nos painéis 12M, e são fixadas à ossatura por meio de ligações pregadas simples, com espaçamento entre pregos de 150 mm nos montantes extremos e de 300 mm nos montantes internos.

As larguras das chapas indicadas nos desenhos são menores que a sua largura nominal (120, 90, 80 cm, por exemplo), porque contemplam o ajuste modular de 3 mm entre chapas exigido pelo fabricante. Segundo o mesmo, as chapas inteiras já são produzidas com sua largura reduzida, denominada medida real. Nas chapas que devem ser cortadas para compor os painéis, essa medida real é obtida com a própria espessura de corte da serra, que, se corretamente ajustada, gera uma perda de cerca de 3 mm da chapa.

Figura 41 – Painéis cegos. Ossatura e chapas OSB. Medidas em cm.



O peso de cada painel foi calculado adotando-se como parâmetros a densidade de $0,645 \text{ g/cm}^3$ para a espécie de *Pinus taeda* e a densidade de $0,650 \text{ g/cm}^3$ para o OSB Home Estrutural da LP, de 11,1 mm de espessura. Além disso, foi considerada a aplicação de chapas OSB apenas à face externa do painel, conforme no item anterior.

De acordo com o Art. 198 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT, 1943), o peso máximo que um operário pode remover individualmente é de 60 kg. Contudo, a Norma Regulamentadora NR-17 estabelece que não se deve exigir, nem admitir, o transporte manual por um trabalhador de cargas cujo peso seja suscetível de comprometer sua saúde ou sua segurança. Em adição a isso, o Manual sobre Ergonomia, publicado pelo Serviço Especializado em Segurança e Medicina do Trabalho da Universidade Estadual de Campinas (FERREIRA *et al*, 2001), recomenda que para um operário adulto, com idade entre 18 e 35 anos, o limite de peso que pode ser levantado sem causar danos a sua saúde é de 40 kg. Desse modo, adotou-se o limite de 40 kg/operário para elaboração da tabela que segue (Tabela 14).

Tabela 14 – Quantitativo de material e peso total de cada painel cego da proposta.

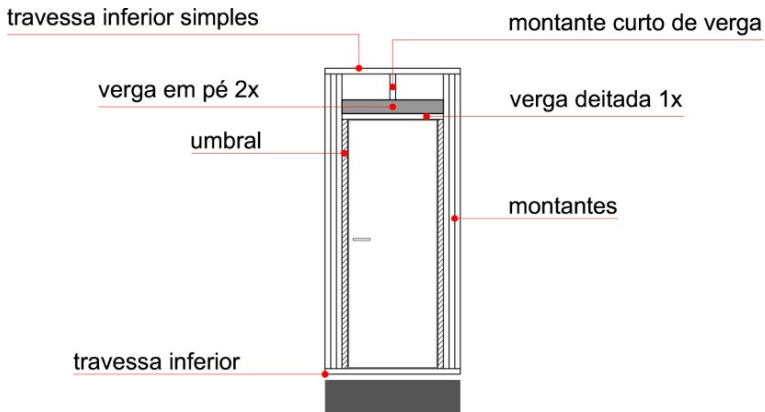
Painel	Material	Volume total (cm ³)	Densidade (g/cm ³)	Peso (kg)	Peso total (kg)	Nº de operários
Cego 240	Madeira serrada	85920	0,645	55,42	102,17	3
	OSB	71928	0,650	46,75		
Cego 120	Madeira serrada	49248	0,645	31,76	55,14	2
	OSB	35964	0,650	23,38		
Cego 90	Madeira serrada	46368	0,645	29,91	47,44	2
	OSB	26973	0,650	17,53		
Cego 80	Madeira serrada	45408	0,645	29,29	44,87	2
	OSB	23976	0,650	15,58		
Cego 60	Madeira serrada	30912	0,645	19,93	31,63	1
	OSB	17982	0,650	11,69		
Cego 40	Madeira serrada	28992	0,645	18,7	26,49	1
	OSB	11988	0,650	7,79		
Cego 30	Madeira serrada	28032	0,645	18,08	23,92	1
	OSB	8991	0,650	5,84		

5.2.2 Painéis porta e painel porta-janela

Além dos montantes e das travessas que constituem os painéis cegos, os painéis com aberturas são compostos por componentes especiais, projetados para estruturar o vão que irá receber a esquadria. Nas aberturas de portas, são especificados umbrais, vergas e montantes intermediários mais curtos, com a mesma seção padrão de 40 x 120 mm. As vergas compreendem três peças: uma é posicionada na horizontal como as travessas, logo acima do vão da esquadria, e se apoia sobre os umbrais e as outras duas apoiam-se sobre a primeira verga e são posicionadas de pé. Sobre essas duas vergas são dispostos os montantes intermediários, sobre os quais se assenta a travessa superior. Os umbrais

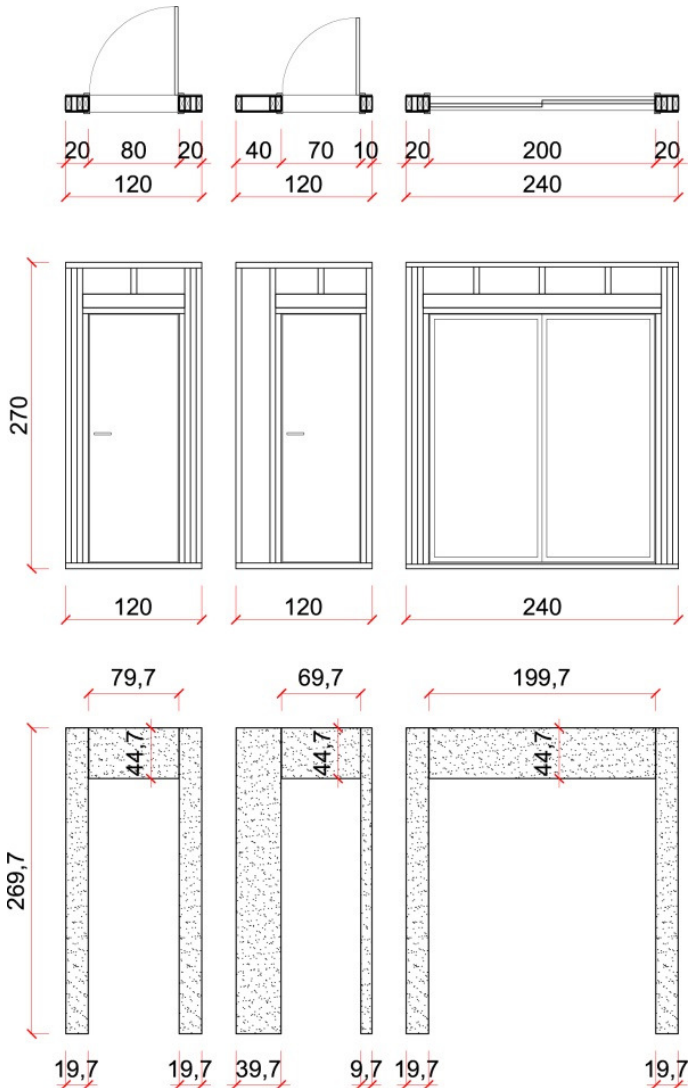
devem estar pregados lateralmente aos seus montantes adjacentes (FIGURA 42).

Figura 42 – Ossatura painel-porta.



Foram projetados dois tipos de painéis-porta, ambos de comprimento igual a 120 cm, um atendendo ao vão modular de 80 cm e outro ao de 70 cm. O painel porta-janela possui comprimento total de 240 cm e vão modular de 200 cm (FIGURA 43).

Figura 43 – Painéis-porta e painel porta-janela. Ossatura e chapas OSB.
Medidas em cm.



O peso de cada painel-porta foi determinado a partir dos mesmos parâmetros adotados para o cálculo do peso dos painéis cegos, conforme Tabela 15.

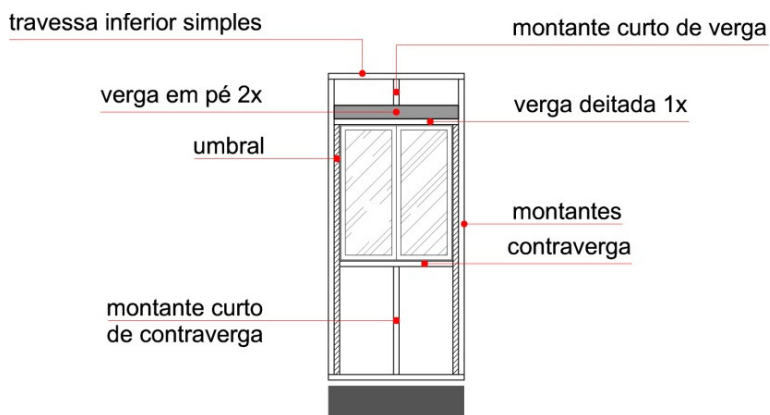
Tabela 15 – Quantitativo de material e peso total de cada painel-porta da proposta.

Painel	Material	Volume total (cm³)	Densidade (g/cm³)	Peso (kg)	Peso total (kg)	Nº de operários
Porta 120/ esquadria 80	Madeira serrada	97056	0,645	62,6	72,99	2
	OSB	15984	0,650	10,39		
Porta 120/ esquadria 70	Madeira serrada	82560	0,645	53,25	65,59	2
	OSB	18981	0,650	12,34		
Porta-janela 240	Madeira serrada	128160	0,645	82,66	96,95	3
	OSB	21978	0,650	14,28		

5.2.3 Painéis-janela

A composição da ossatura de um painel-janela requer ainda mais componentes especiais que a de um painel-porta, pois além dos montantes, travessas, umbrais, vergas e montantes intermediários curtos de verga já empregados, são necessários ainda a disposição de uma contraverga, para estruturar o peitoril da janela, e montantes intermediários curtos para a sustentação da contraverga (FIGURA 44).

Figura 44 – Ossatura do painel-porta.



São propostos três tipos de painéis-janela, conforme Figura 45.

Figura 45 – Painéis-janela. Ossatura e chapas OSB. Medidas em cm.

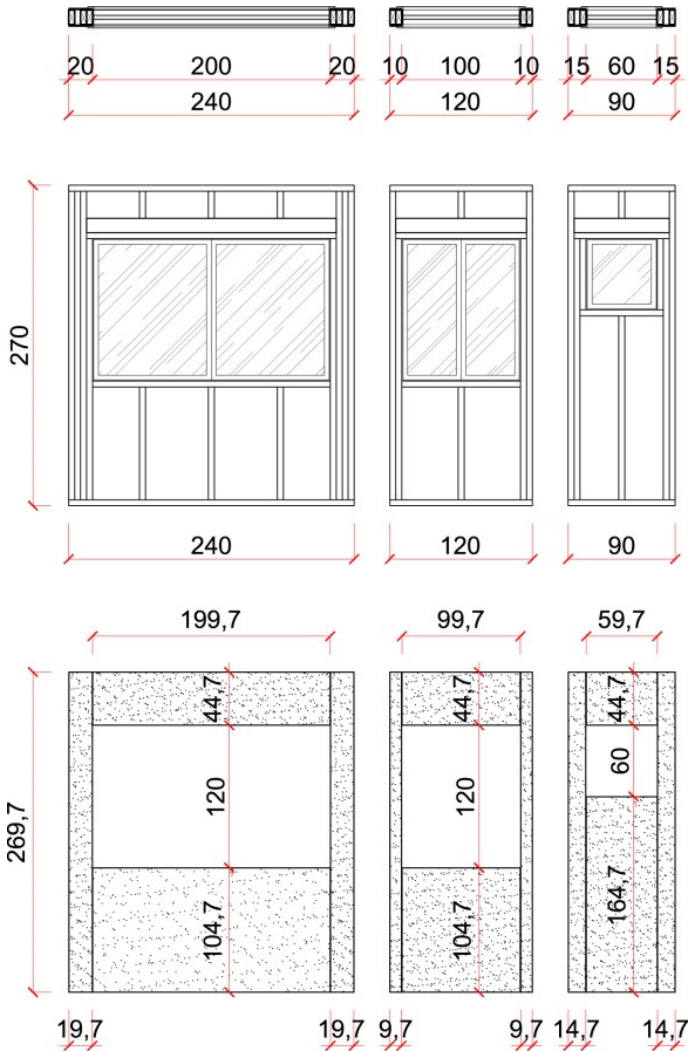
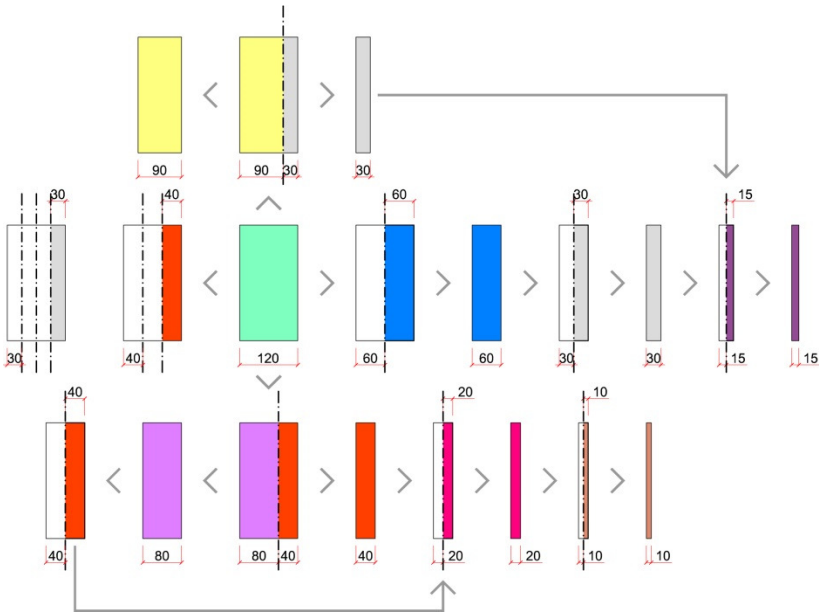


Tabela 16 – Quantitativo de material e peso total de cada painel-janela da proposta.

Painel	Materia l	Volum e total (cm ³)	Densidad e (g/cm ³)	Peso (kg)	Peso total (kg)	Nº de operário s
Janela 240/ esquadri a 200	Madeira serrada	151584	0,645	97,7 7	127,2 1	4
	OSB	45288	0,650	29,4 4		
Janela 120/ esquadri a 100	Madeira serrada	84192	0,645	54,3	69,02	2
	OSB	22644	0,650	14,7 2		
Janela 90/ esquadri a 60	Madeira serrada	84192	0,645	54,3	69,24	2
	OSB	22977	0,650	14,9 3		

O projeto dos 13 painéis de parede apresentados anteriormente foi baseado também no requisito de redução da variedade, não só entre os painéis gerados, mas também dos componentes empregados e do processo de produção. Assim, a segmentação da medida-chave das chapas OSB (120 cm) sempre em medidas inteiras, múltiplas do módulo básico (10 cm), resultou em apenas oito medidas de cortes nas chapas: 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 e 90 cm (FIGURA 46). Tal decisão de projeto possibilitou o melhor o melhor aproveitamento do material, pois um corte em uma chapa inteira de 120 cm, dentro das larguras estabelecidas, jamais irá resultar em um trecho de chapa cuja medida não atenda prontamente à configuração de um dos painéis compreendidos no catálogo. Além disso, uma vez padronizadas as operações de corte, a produção dos elementos finais é realizada com maior rapidez e domínio sobre o processo.

Figura 46 – Padronização no corte das chapas, levando à redução da variedade.



5.3 COMPARAÇÃO

Nesta etapa da pesquisa, procedeu-se à avaliação do projeto original em termos quantitativos, buscando-se determinar o consumo de madeira serrada, chapas OSB e gesso acartonado no subsistema parede, de modo a contrapor com a aplicação da proposta de painéis verticais modulares a esse mesmo projeto. A madeira serrada, material dos componentes de ossatura, e as chapas estruturais de OSB correspondem aos insumos empregados em maior volume no subsistema parede, contribuindo significativamente para a composição de custos de vedação vertical e globais da edificação.

5.3.1 Projeto EcosHaus

Para o cálculo do quantitativo do consumo de madeira serrada, chapas OSB e gesso acartonado no subsistema parede do projeto original, cada painel foi analisado separadamente, lançando seus dados em planilha de cálculo específica (disponível para consulta no CD em anexo). Para cada pavimento, os dados foram lançados seguindo a sequência em que o painel foi numerado no projeto de produção fornecido pela empresa, conforme as Figuras 47 e 48). Os dados relativos à configuração da ossatura do painel – tamanho e disposição dos montantes e travessas e, em caso de painéis com aberturas, de vergas, contravergas e umbrais – bem como à paginação das chapas estruturais e de gesso acartonado foram coletados a partir dos desenhos técnicos disponibilizados pela EcosHaus.

Figura 47 – Planta do térreo com identificação dos painéis executados pela EcosHaus. Sem escala.

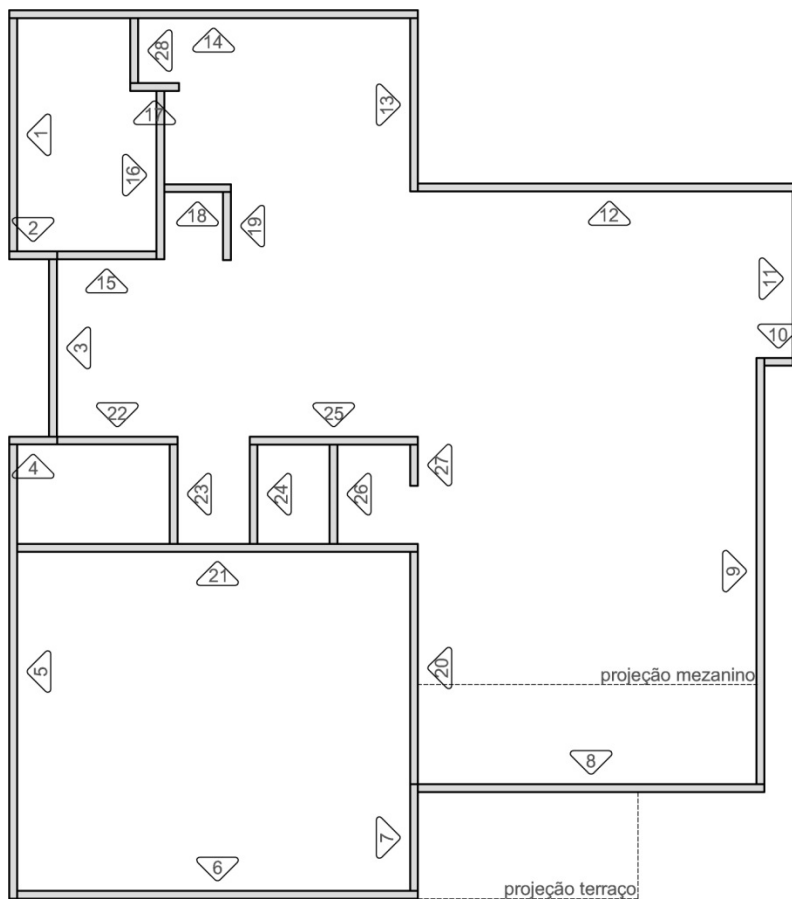
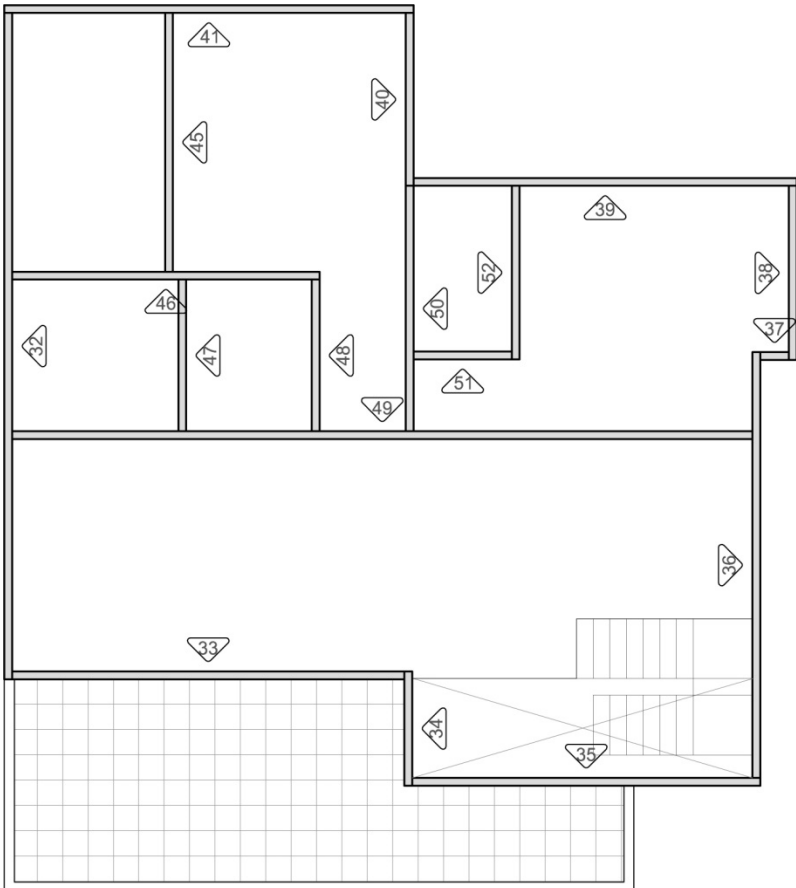
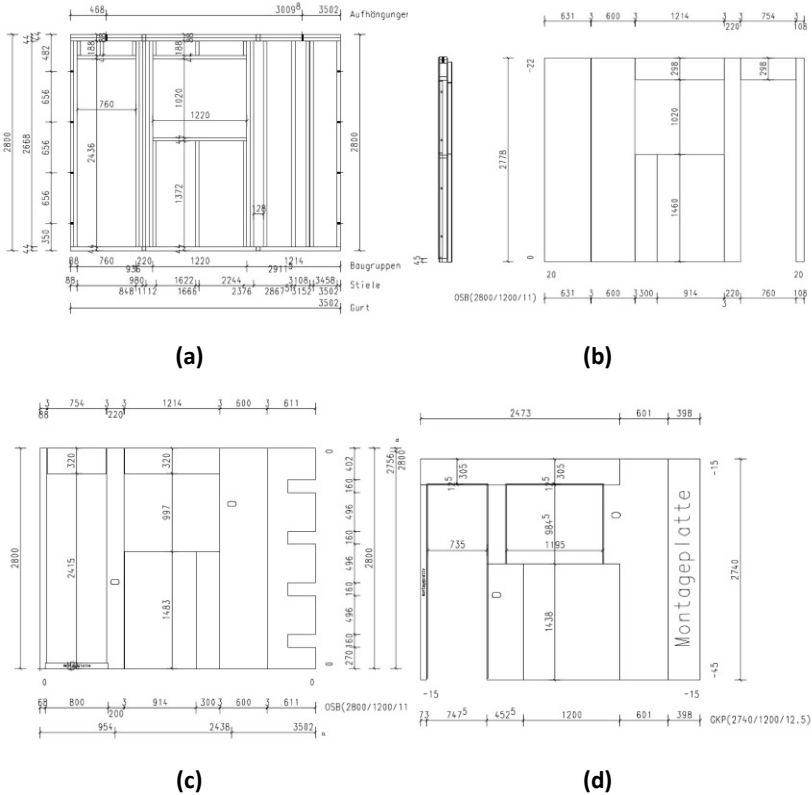


Figura 48 – Planta do superior com identificação dos painéis executados pela EcosHaus. Sem escala.



A Figura 49 apresenta os desenhos relativos à ossatura, paginação das faces externa e interna de chapas OSB e paginação das chapas de gesso acartonado para o painel térreo de número 1 (vide FIGURA 47). Em se tratando de parede externa, o gesso é aplicado apenas à face interna do painel.

Figura 49 – (a) Ossatura; (b) Corte transversal do painel e paginação face externa de OSB; (c) Paginação face interna de OSB e (d) Paginação gesso acartonado.



Fonte: EcosHaus, 2011.

Foi quantificado um total de 41 painéis do projeto original da residência, excluindo-se da análise os painéis que contêm as janelas de pé-direito duplo (painéis 08, 09, 35 e 36) e o painel de fechamento da garagem (painel 06), por apresentarem soluções construtivas que divergem da concepção estrutural do sistema plataforma. Desse modo, as faces da edificação definidas por esses painéis foram conservadas da maneira original no projeto final, não sendo aplicados nesses trechos os painéis modulares projetados.

O lançamento das dimensões dos componentes de cada um dos painéis em planilha de cálculo resultou na quantificação do consumo no pavimento térreo de um total de 3,55 m³ de volume de madeira serrada, de 264,36 m² de área de chapas OSB de 11,1 mm e de 189,18 m² de área de gesso acartonado. O pavimento superior, por sua vez, demandou um volume de 3,43 m³ de madeira serrada e área de chapas OSB de 283,28 m² e de gesso acartonado de 200,59 m².

5.3.2 Aplicação da proposta de painéis verticais modulares

A partir dos 13 painéis-tipo apresentados no item 5.2 (sete painéis cegos, dois painéis-porta, um painel porta-janela e três painéis-janela), o subsistema parede do projeto original foi revisado, empregando-se os novos elementos desenhados e adaptando as medidas iniciais dos ambientes à coordenação modular decimétrica. As dimensões de cada ambiente no projeto original foram consideradas na proposta de aplicação dos painéis verticais modulares, de forma que o reprojeto da residência a partir desses painéis se aproximasse ao máximo do projeto inicial em termos de composição arquitetônica.

Vale ressaltar que as dimensões finais dos ambientes, após o reprojeto, não podem ser exatamente as mesmas do projeto original, uma vez que este não foi elaborado considerando o conceito de racionalização construtiva e suas implicações práticas no processo de projeto, como, por exemplo, a aplicação da coordenação modular.

Na sequência, apresentam-se as plantas da residência após aplicação da proposta de painéis verticais modulares (FIGURAS 50, 51, 52 e 53).

Figura 50 – Planta do pavimento térreo com a proposta de painéis verticais modulares. Dimensões em cm, sem escala.

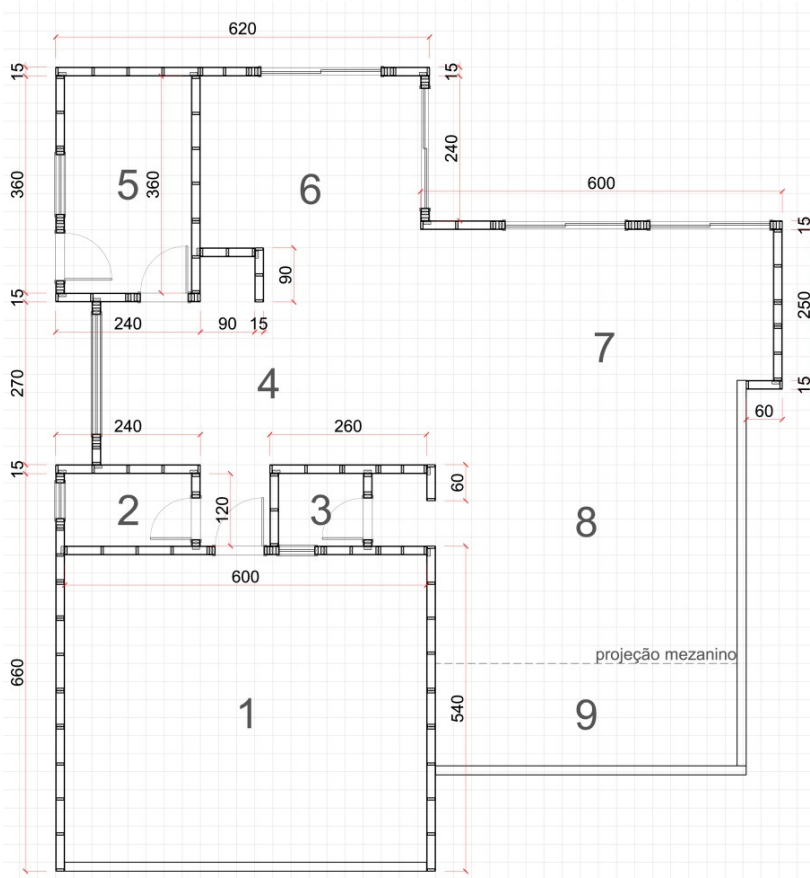


Figura 51 – Planta do pavimento superior com a proposta de painéis verticais modulares. Dimensões em cm, sem escala.

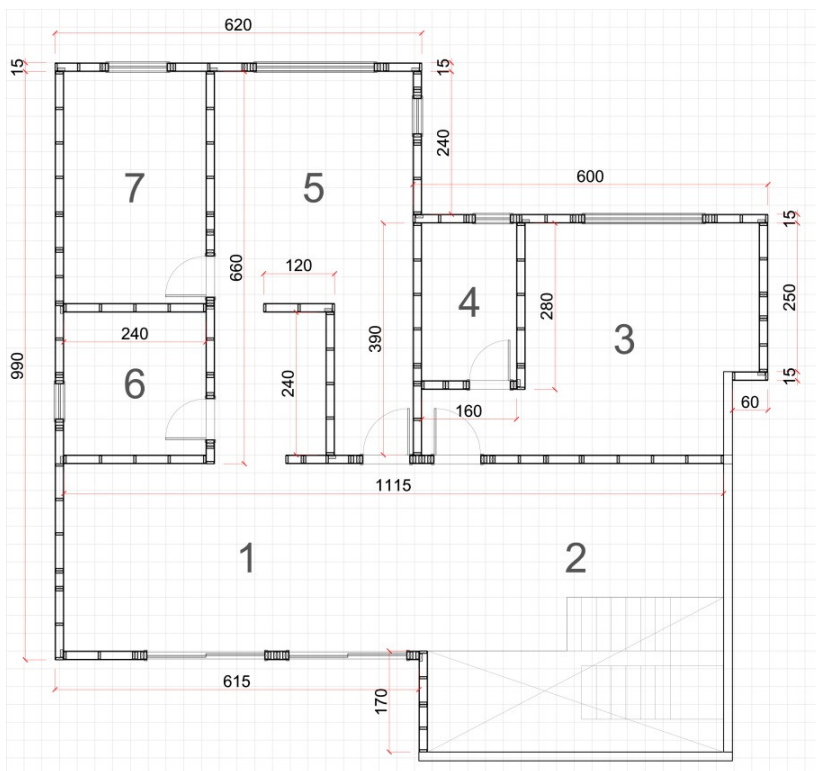


Figura 52 – Identificação dos painéis tipo utilizados no pavimento térreo. Sem escala.

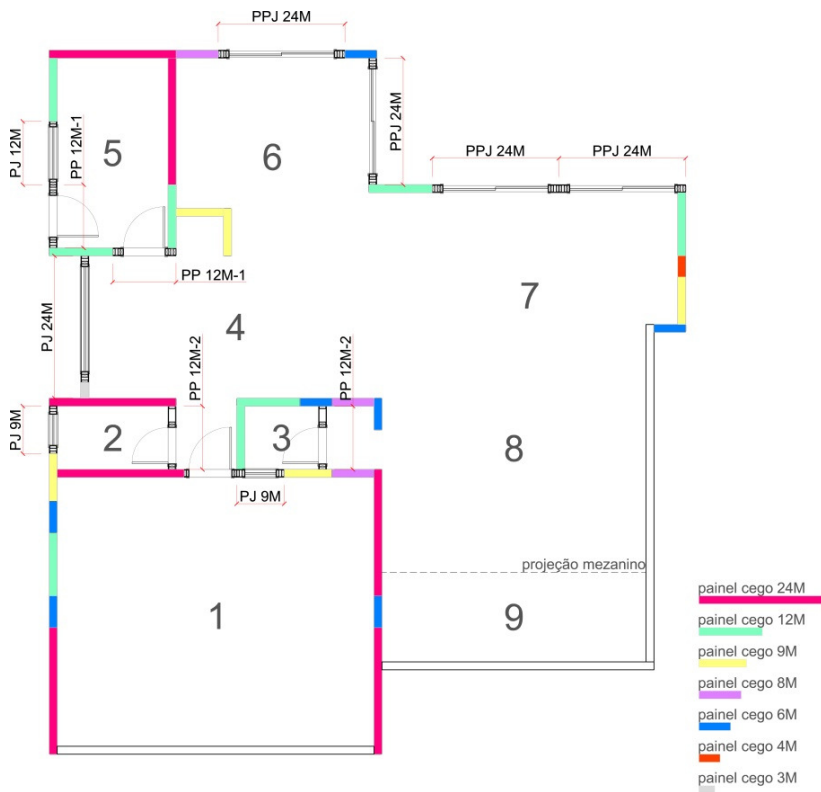
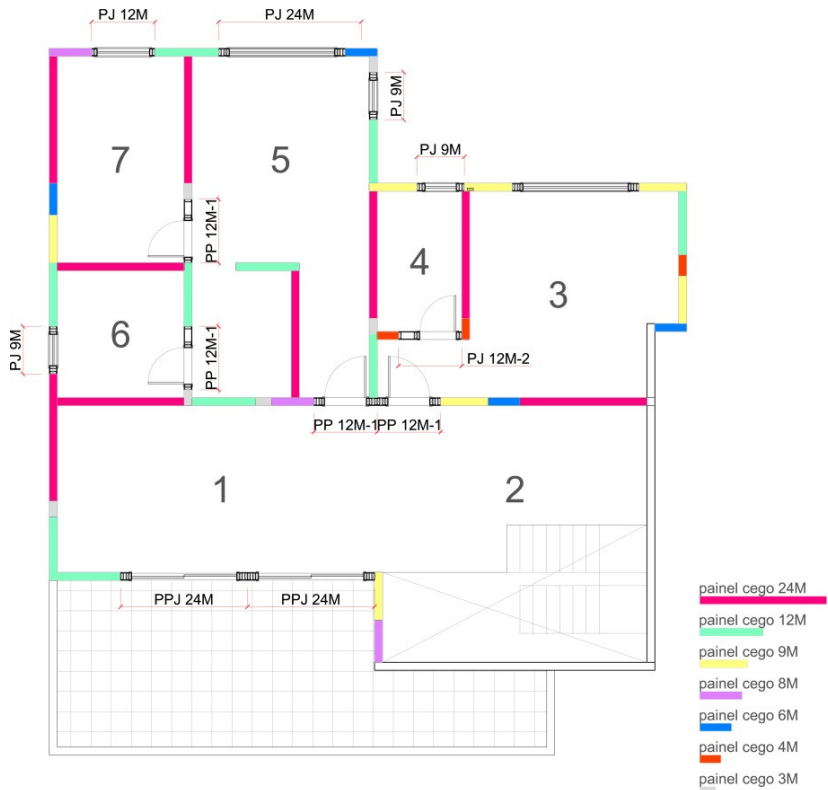


Figura 53 – Identificação dos painéis tipo utilizados no pavimento superior. Sem escala.



As dimensões dos componentes de cada um dos painéis de parede empregados no projeto foram lançadas em planilha de cálculo, resultando na quantificação do consumo de um volume de $3,6 \text{ m}^3$ de madeira serrada, de $258,12 \text{ m}^2$ de área de chapas OSB de $11,1 \text{ mm}$ e de $191,88 \text{ m}^2$ de área de gesso acartonado, no pavimento térreo. Para o pavimento superior, o consumo de madeira serrada correspondeu a $3,85 \text{ m}^3$, de chapas OSB de $293,28 \text{ m}^2$ e de gesso acartonado de $238,71 \text{ m}^2$.

A composição com os painéis modulares, apresentada anteriormente para configuração do projeto da residência, foi baseada no critério de desempenho estrutural, priorizando-se, sempre que possível, os painéis estruturais (80, 90, 120 e 240 cm), de modo a aumentar a resistência do conjunto da edificação face a ação de forças

horizontais. No entanto, outras composições podem ser propostas, substituindo-se os painéis maiores pelos de menor comprimento, desde que sejam respeitados os critérios de ancoragem dos painéis à base especificados no item 5.1.4.

A possibilidade de permuta entre os painéis do catálogo agrega intercambialidade ao projeto, considerada um requisito de construtibilidade e, portanto, ferramenta de aprimoramento da racionalização construtiva, obtida graças à aplicação dos princípios da coordenação modular.

5.3.3 Resultados

Para comparação entre o projeto original e o novo projeto com os painéis propostos, foram adotados como parâmetros o quantitativo de consumo de material, a área da edificação e a taxa de desperdício das chapas OSB.

No projeto original, o pavimento térreo, com área de 129,25 m², consumiu um volume de madeira serrada de 3,55 m³ e uma área total de chapas OSB (11,1 mm) de 264,36 m² e de gesso acartonado de 189,18 m². O pavimento superior, por sua vez, com área de 111,42 m², demandou um volume de 3,43 m³ de madeira serrada e área de chapas OSB (11,1 mm) de 283,28 m² e de gesso acartonado de 200,59 m².

Com a aplicação dos painéis verticais modulares, propostos por esta dissertação, foi computado para o pavimento térreo – que resultou em área total de 131,29 m² - um volume de madeira serrada equivalente a 3,6 m³, considerando os montantes extras necessários nos encontros entre painéis e a disposição de travessas superiores duplas. Com relação à área total de chapas OSB para esse mesmo pavimento, o valor calculado foi de 258,12 m², e a área total de chapas de gesso correspondeu a 191,88 m². A configuração do pavimento superior – de 112,38 m² de área, a partir dos painéis modulares, exigiu um volume total de 3,85 m³ madeira serrada e uma área total de 293,28 m² de chapas estruturais e de 238,71 m² de chapas de gesso.

A Tabela 17 apresenta a síntese da comparação de consumo de material realizada.

Tabela 17 – Tabela-síntese da comparação de consumo de material.

		Componentes			
		Madeira serrada (ossatura)		OSB (11,1 mm)	Gesso acartonado
		Número de componentes	Volume (m ³)	Área total (m ²)	Área total (m ²)
Pavimento térreo	Projeto original A=129,25 m ²	357	3,55	264,35	189,18
	Proposta A=131,29 m ²	384	3,6	258,12	191,88
Pavimento superior	Projeto original A=111,42 m ²	329	3,43	283,28	200,59
	Proposta A=112,38 m ²	417	3,85	293,28	238,71
Total pavimentos	Projeto original A=240,67 m ²	686	6,98	547,63	389,77
	Proposta A=243,67 m ²	801	7,45	551,4	430,59

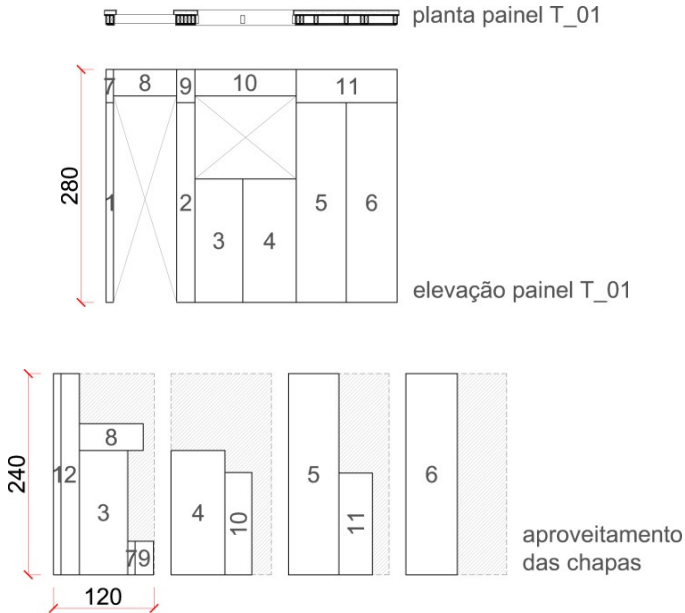
Os resultados apresentados até aqui indicam que a aplicação da proposta de painéis verticais modulares na residência estudada demandou maior volume de madeira serrada. Todavia, a comparação deve também avaliar o consumo bruto de material, ou seja, a quantidade que precisa ser adquirida, em relação à quantificação do desperdício.

Diante disso, foi feita a quantificação do desperdício de chapas estruturais em ambas as situações de projeto. O consumo bruto de chapas OSB na execução do projeto original não era conhecido. Para estimar a quantidade, foi adotado o seguinte critério. A partir de

informações obtidas com o diretor de produção da fábrica da EcosHaus, foram empregadas chapas OSB no padrão comercial de 1,20 x 2,40 m. Porém, os desenhos de paginação das chapas, gerados pelo programa computacional que auxilia na elaboração do projeto executivo, indicam as medidas totais necessárias para configurar o painel. Por exemplo, a altura do pé-direito da edificação equivale a 2,80 m e, portanto, as chapas são indicadas no desenho com essa altura total. Esse fato não interferiu no cálculo da área total de chapas utilizadas, contudo, para a avaliação de desperdício do material foi preciso revisar a paginação das chapas, considerando as medidas reais dos componentes empregados (1,20 x 2,40 m) e arbitrando sua disposição na configuração dos painéis. Essa disposição foi realizada de modo a obter o melhor aproveitamento possível das chapas.

Para o painel de número 01 do pavimento térreo, a revisão da paginação das chapas OSB resultou na seguinte disposição (FIGURA 54):

Figura 54 – Revisão da paginação das chapas OSB para o painel #01 do pavimento térreo. Dimensões em cm, sem escala.



Em razão do dimensionamento dos ambientes no projeto original da residência não ter seguido uma modulação decimétrica, o posicionamento dos montantes resultou em medidas bastante quebradas, o que torna a montagem do painel mais complexa e demanda um grande número de cortes nas chapas. Os trechos constituídos pelos painéis de número 3 e 4 e 5 e 6 (vide Figura 50), por exemplo, possuem comprimento equivalente a 122 cm por trecho e, portanto, necessitam de dois painéis com pouco mais de 60 cm cada para fazer o fechamento. Se os trechos fossem dimensionados considerando as medidas de fábrica das chapas, com apenas 2 cm a menos em cada um, poderia se utilizar uma chapa inteira de fechamento, gerando melhor aproveitamento do material e evitando cortes.

Após o desenho da paginação das chapas OSB do projeto original (uma vez que a empresa não apresentou essas informações), foi calculada a taxa de desperdício de chapas OSB para cada painel,

considerando o número de chapas inteiras necessárias e a área utilizada na composição do elemento.

A taxa de desperdício obtida para o painel 01 da Figura 50 foi de 41,81% da área total de chapas inteiras utilizadas. É preciso ressaltar que a área remanescente de chapas da composição deste painel pode ser aproveitada para compor outros painéis, porém, não se pode prever que as dimensões dos trechos descartados serão necessariamente adequadas à composição dos demais painéis, ou seja, não há um aproveitamento racional do material.

Ao final do cálculo da taxa de desperdício individual, $Tx_{desp,(Ti)}$, dos 37 painéis considerados (indicados nas Figuras 43 e 44), foi calculada a taxa de desperdício global, $Tx_{desp,Global}$, a partir da média ponderada das taxas individuais obtidas, levando em conta a área total de chapas utilizadas e a taxa de desperdício de cada painel, conforme demonstrado na Equação 01.

Eq.01

$$Tx_{desp,Global} = \frac{\sum_{i=1}^{37} (A_{util(Ti)} \times Tx_{desp(Ti)})}{\sum_{i=1}^{37} A_{util(Ti)}}$$

Sendo,

$Tx_{desp,Global}$ – taxa de desperdício global ponderada;

$A_{util(Ti)}$ – área útil do painel Ti , com “ i ” variando de 01 até 37;

$Tx_{desp(Ti)}$ – taxa de desperdício do painel Ti , com “ i ” variando de 01 até 37.

O resultado obtido com a Equação 01 foi uma taxa média de 20,96% de desperdício de chapas estruturais no projeto original, a partir da paginação feita neste trabalho.

Com o catálogo de painéis verticais modulares proposto, trabalha-se com uma taxa de desperdício de chapas menor, pois as medidas de corte das chapas, necessárias à configuração dos painéis, são sempre medidas inteiras múltiplas do módulo básico (10 cm). As medidas de corte para as chapas na composição dos painéis compreendem: 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 ou 90 cm. Se uma chapa de 120 cm deve ser cortada para obter uma menor de 80 cm, por exemplo, os 40 cm restantes podem ser empregados na confecção de um painel cego 4M, de parte de um painel-porta (PP 120-2), ou mesmo subdivididos em

duas chapas menores de 20 cm ou em quatro de 10 cm para serem empregadas nos outros painéis do catálogo.

Para a confecção dos 96 painéis verticais modulares utilizados no reprojeto da residência estudada, é necessária a aquisição de 172 chapas OSB de 1,20 x 2,70 m, sem prever perdas adicionais durante o processamento. Partindo do pressuposto que serão produzidos em fábrica apenas os painéis utilizados nesse projeto (apenas para fins de análise, pois o ideal é que a fábrica trabalhe com um estoque mínimo de painéis), as chapas que os compõem foram distribuídas em chapas inteiras, buscando sempre o melhor aproveitamento da superfície, como demonstra a Figura 55¹¹.

O cálculo da taxa de desperdício global para o reprojeto foi então feito tal qual o cálculo de desperdício individual no projeto original, ou seja, a partir da relação da área de chapas adquirida e a área de chapas não aproveitada.

Desse modo, a taxa desperdício de chapas para o reprojeto foi de 1,58% em comparação com a taxa global média ponderada de 19,97% no estudo do projeto original (TABELA 18). Esses valores comprovam que, para o projeto estudado, a adoção de painéis de parede projetados com a aplicação de princípios de industrialização da construção, de construtibilidade e de coordenação modular conduzem ao melhor aproveitamento dos insumos, no caso as chapas de OSB.

¹¹ Não foram representados na Figura 52 as chapas que foram empregadas inteiras para formar os painéis cegos 12M e 24M, porém foram consideradas no cálculo da taxa de desperdício da proposta.

Figura 55 – Aproveitamento das chapas OSB na proposta.

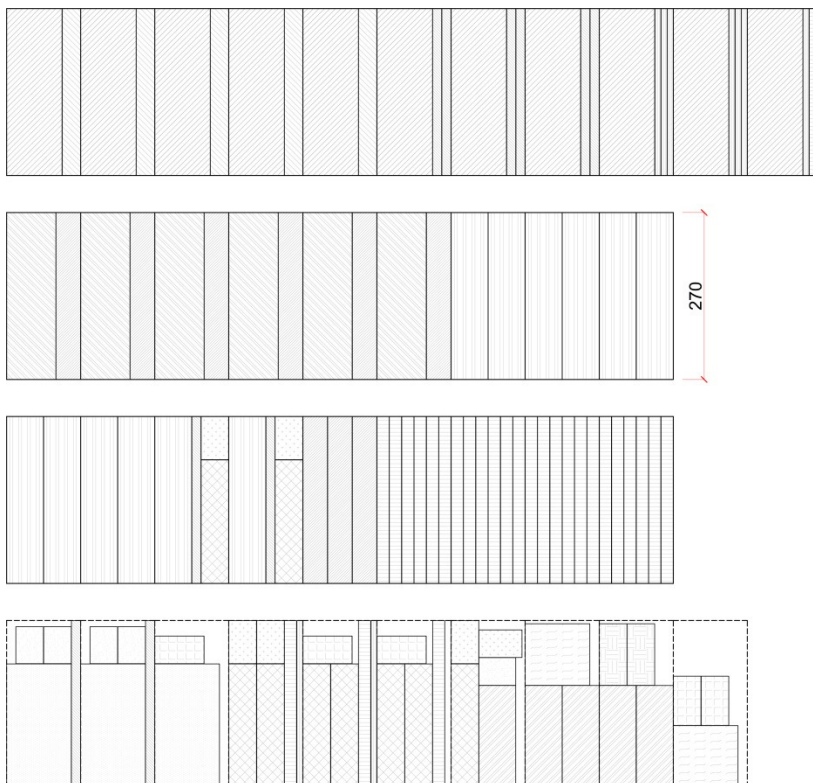


Tabela 18 – Comparação de desperdício de chapas OSB entre o projeto original e o projeto proposto.

	Taxa de desperdício de chapas (%)
Projeto original	20,96 (média ponderada)
Reprojeto	1,58

6 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO RACIONALIZADO DE EDIFICAÇÕES EM MADEIRA NO SISTEMA PLATAFORMA SEMI-INDUSTRIALIZADO

O objetivo geral desta dissertação foi reunir recomendações para o projeto racionalizado de edificações em madeira no sistema plataforma semi-industrializado.

Para estudar a implementação de metas de racionalização no projeto, adotaram-se duas frentes de trabalho, o projeto de elementos de vedação vertical e o projeto da edificação propriamente dita. Essas frentes de trabalho foram conduzidas com base em conceitos extraídos da revisão de literatura, conceitos que permeiam a noção de racionalização construtiva e são fundamentais na implementação e alcance de suas metas. Os conceitos norteadores foram a industrialização da construção, a construtibilidade e a coordenação modular.

A aplicação dos conceitos estudados tanto no projeto dos elementos quanto da edificação propriamente dita deu origem às recomendações gerais apresentadas na sequência.

6.1 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

No que tange à industrialização da construção, esta deve ser tomada como um modelo para o desenvolvimento racional da indústria da construção civil. A indústria da construção divide-se em dois setores principais: o de edificações (que envolve diretamente arquitetos, engenheiros civis e empreiteiros) e o de materiais de construção. O desafio para a racionalização é integrar esses dois setores, de modo que o produto final – edificação e suas partes – seja visto desde as etapas iniciais de concepção como reflexo de um amplo processo, que envolve desde a escolha de materiais, métodos e processos construtivos, passando pelo projeto e produção de componentes até a articulação de todas essas variáveis para se obter o resultado final desejado pelo cliente. Só assim será possível otimizar, no plano qualitativo e econômico, o bem a ser produzido, conduzindo finalmente à racionalização construtiva.

Com essa mentalidade, buscou-se converter o projeto da edificação no sistema plataforma em um instrumento ordenador e

articulador das diversas variáveis da construção, transformando, conforme sugere Rosso (1980), os materiais de construção em componentes ou elementos construtivos de catálogo. Bruna (2002) também defende que essa otimização requer que sejam observadas três exigências básicas:

- (1) De redução de tipos a serem produzidos;
- (2) De existência de catálogo e estoque, sendo as peças produzidas independentemente do fator encomenda, atendendo a critérios de produtividade industrial ótima, a critérios econômicos e financeiros e a critérios de estocagem realista e;
- (3) De previsão de tolerâncias de fabricação e montagem inseridas em um sistema de coordenação dimensional rigorosa e universal, isto é, aceita por fabricantes, construtores e consumidores.

Defende-se que com a formulação de um catálogo de elementos construtivos – painéis de parede, nesta dissertação – é possível ir ao encontro dos requisitos de produção industrial ótima descritos acima e, ao mesmo tempo, de flexibilidade, importante para a oferta de edificações personalizáveis e adaptáveis.

Diante disso, reafirma-se que a proposta de painéis verticais modulares deve estar inserida num processo semi-industrializado de produção, de modo a assegurar a viabilidade econômica da manutenção de um estoque mínimo dos elementos do catálogo.

6.2 SOBRE A CONSTRUTIBILIDADE

As diretrizes de construtibilidade apresentadas na fundamentação teórica são relacionadas abaixo como recomendações aplicadas ao projeto de edificações no sistema plataforma semi-industrializado.

a) Buscar o equilíbrio de objetivos que harmonize as necessidades de concepção do produto e do processo/ Formular o empreendimento dentro de uma mentalidade industrial/ Redução de componentes x flexibilidade;

O sistema plataforma, executado do modo tradicional, apresenta pouca racionalização em seu processo construtivo, pois as tarefas realizadas fora do canteiro limitam-se ao corte das peças de madeira serrada nas dimensões de uso e a montagem da edificação é integralmente executada na obra. Com a pré-fabricação parcial do subsistema parede na fábrica, proposta nesta pesquisa, mais etapas são concluídas fora do canteiro de obras, sendo possível maior controle sobre a qualidade do processo e do produto. A existência de um catálogo de elementos também contribui para a racionalização, pois, na medida em que se padronizam as operações de produção dos painéis é possível aumentar o domínio sobre o processo, tornando-o mais eficaz.

Quanto à flexibilidade, o sistema plataforma tradicionalmente executado apresenta certa rigidez na configuração dos ambientes, limitando, desse modo, a flexibilidade do projeto do edifício. Segmentar o subsistema parede em partes ou elementos, mantendo o princípio estrutural do sistema plataforma, foi a alternativa explorada neste trabalho. As partes resultantes compreendem os painéis verticais modulares, capazes de atender, de um lado, a demanda da indústria por padronização e continuidade de produção e, de outro, a manutenção da flexibilidade, a partir de uma gama reduzida de tipos que possibilitem uma variedade ótima de combinações diferentes.

A proposta de painéis verticais modulares também visa promover a flexibilidade inicial ou de projeto, cuja definição dada por Sebestyen (1978) foi apresentada no item 2.1.3. A flexibilidade inicial pode ser resumida como a oferta de certas opções, propiciadas pelo sistema ou processo construtivo adotado, que permita ao arquiteto, futuro usuário ou empreendedor, interferir na concepção do edifício.

b) Reflexionar, desde os estudos iniciais de projeto, sobre os métodos construtivos mais apropriados para o tipo de obra que se quer executar, optando por aquele que mais favoreça a eficiência na execução;

Nesse sentido, a proposição de um catálogo de painéis verticais modulares conduz a uma maior integração entre projeto e execução. O projetista é levado a considerar na elaboração da proposta arquitetônica os elementos que serão empregados em obra, fazendo a correspondência entre suas dimensões e características de montagem e as demandas de composição arquitetônica. Para isso, a malha modular

de projeto, definida com base nos princípios da coordenação modular, deve ser empregada como guia para o posicionamento dos elementos e a definição do arranjo espacial.

A escolha dos elementos construtivos que serão utilizados em obra ainda na fase de projeto arquitetônico agiliza o processo de projeto como um todo, pois elimina a necessidade de compatibilização entre projeto arquitetônico e executivo. Além disso, os principais detalhes construtivos já se encontram previamente resolvidos, evitando possíveis dúvidas de execução em obra decorrentes da falta de detalhamento adequado ou de sua má compreensão.

c) Promover a comunicação adequada entre projeto e execução/ Buscar a exposição mais precisa e eficaz das intenções contidas no projeto;

O sistema plataforma, como grande parte dos sistemas construtivos em madeira, exige níveis de precisão e rigor construtivo maiores que sistemas convencionais no contexto brasileiro, como a alvenaria e o concreto armado. Falhas mínimas no lançamento de medidas em canteiro e no alinhamento de paredes, por exemplo, podem comprometer a integração do conjunto da edificação, sendo necessários retrabalhos para consertar os erros e prejudicando a sequência da execução (BITTENCOURT, 1995). Assim sendo, requer que sejam especificados em projeto critérios de execução com um alto nível de precisão, amparados por um conjunto preciso de detalhamentos.

A proposta de uso de painéis verticais modulares gera o aprimoramento de um importante vínculo entre projeto, produção e execução em canteiro, aproximando a atuação do projetista à realidade de construção no sistema plataforma em madeira. A antecipação do projeto dos painéis à etapa de concepção arquitetônica faz com que esta se desenvolva condicionada àquela, no sentido de contar com os detalhes construtivos previamente definidos, e agilizar o desenvolvimento do processo de projeto. Porém, é de extrema importância a elaboração de um manual de diretrizes que forneça subsídio à adequada utilização dos painéis em projeto pelos profissionais atuantes na área.

Após a definição do projeto arquitetônico, também se deve realizar a identificação dos painéis que serão utilizados, para que a

fábrica possa verificar a existência dos elementos em estoque ou providenciar sua produção, se for o caso. Por fim, os painéis produzidos devem deixar a fábrica já codificados para sua posterior identificação e correta disposição e montagem em canteiro.

d) Simplificação do projeto, levando à execução mais fácil em canteiro/ Detalhes simples e precisos/ Adequação do nível de complexidade técnica do detalhamento do projeto (detalhes simples e inteligentes);

O sistema plataforma revela aptidão à simplicidade construtiva, pois emprega componentes básicos (peças de madeira maciça, chapas de compensado estrutural ou OSB) e as ligações são simples e podem ser feitas por meio de pregos ou parafusos comuns. Krambeck (2006) ressalta que as ligações entre componentes, elementos e as demais partes do edifício devem ser simples, priorizando ligações parafusadas e encaixes, os quais devem ser detalhados em projeto e executados na fase de pré-fabricação.

A planta da edificação contendo a indicação da sequência e disposição dos painéis empregados deve servir de guia à montagem do edifício no canteiro. Sugere-se que sejam utilizadas pranchas em tamanho A4 ou A3 para facilitar o manuseio pelos operários.

Tendo em vista trabalhar com um pequeno número de variações de painéis-tipo – todos configurados com componentes padronizados e por esquema de montagem semelhante –, uma mesma equipe encarregada da montagem é capaz de adquirir, após execução de algumas poucas unidades habitacionais, experiência construtiva suficiente para a execução eficaz e segura das obras, minimizando os retrabalhos e as perdas decorrentes de falhas da mão-de-obra.

e) Especificar, sempre que possível, componentes pré-moldados, modulares ou pré-montados, tendo em vista facilitar a fabricação, o transporte e a montagem e reduzir os custos e prazos/ Adequação do peso dos elementos construtivos às possibilidades de montagem;

A madeira adapta-se bem a processos de pré-fabricação industrial e possibilita obras secas e de montagem rápida. O sistema plataforma, por sua vez, permite a produção na unidade industrial de elementos e

até subsistemas inteiros, como as paredes, os pisos e a cobertura, agilizando o tempo de execução da obra.

A proposta de painéis de parede apresentada nesta dissertação atende a este requisito de construtibilidade na medida em que viabiliza a produção parcial de elementos em fábrica, mais apropriada ao grau de industrialização observado na região de aplicação do estudo. A pré-fabricação parcial dos painéis significa que devem sair de fábrica abertos, isto é, sem a fixação das chapas estruturais em sua face interna. Essa medida visa facilitar a montagem dos elementos em obra – fixação à base e entre módulos de painéis – e permitir a execução do isolamento e das instalações em momento programado da obra. Além disso, os painéis abertos são menos pesados e favorecem seu levantamento e deslocamento pelos próprios operários, sem o uso de equipamentos especiais como guas e guindastes. O projeto dos painéis limitou o comprimento máximo a 2,40 m, decisão que também contribuiu para a adequação do peso dos elementos às possibilidades de montagem. Berriel (2009) defende que a adoção de sistemas modulares pré-fabricados leves, que não exijam guas e outros equipamentos pesados de apoio à construção, pode conduzir a uma significativa redução dos impactos ambientais.

Mesmo sem as chapas estruturais aplicadas a uma das faces, o painel de parede proposto permite a montagem em obra sem a necessidade de escoramentos provisórios e, desse modo, economiza-se o tempo necessário para o posicionamento das escoras e evita-se o consumo de madeira específico para essa finalidade.

f) Buscar a especificação de componentes normalizados, de modo a promover a padronização de informações/ Adotar a coordenação modular;

A normalização é um dos requisitos da indústria e visa à redução de formas e tamanhos de componentes produzidos industrialmente. Neste trabalho, a normalização foi considerada nos seguintes aspectos:

De **tipificação e padronização das partes**, ou seja, adotou-se a mesma seção para todos os componentes de madeira serrada empregados na ossatura dos painéis, variando apenas seu comprimento. As chapas estruturais de OSB foram empregadas em sua largura inteira de fábrica (120 cm) ou cortadas em larguras menores, sempre múltiplas

do módulo-base decimétrico (10 cm). Buscou-se uma composição tal de painéis que, ao ser preciso cortar uma chapa inteira em uma largura menor, os trechos restantes pudessem ser prontamente aplicados no fechamento de outros painéis do catálogo. É importante ressaltar que essa padronização das partes não leva à padronização do produto final edificação, pelo contrário, as variadas combinações entre as partes dá origem a diversos edifícios distintos entre si.

De **intercambialidade**. A consideração no projeto dos painéis de parede das dimensões de mercado dos insumos utilizados, amparada pelos princípios da coordenação modular, favorece a utilização de insumos de fornecedores diferentes, a reposição de componentes produzidos por outras empresas, bem como a substituição dos painéis por outro material construtivo que siga a coordenação modular. A intercambialidade também é alcançada dentro do próprio catálogo proposto: na ausência de estoque de um ou mais painéis de um determinado tipo, pode-se valer de outros tipos para configurar a mesma parede. Por exemplo: uma parede cujo comprimento total seja de 3,00 m, pode ser composta por um painel de 2,40 m mais um de 0,60 m, por dois de 1,20 m mais um de 0,60 ou, ainda, por dois painéis de 0,90 m com um de 1,20 m e assim por diante (Figura 56).

Figura 56 – Exemplo de intercambialidade na proposta de catálogo de painéis de parede.



6.3 SOBRE A COORDENAÇÃO MODULAR

A coordenação dimensional é requisito fundamental para que não haja a necessidade de ajustes, arremates ou improvisações que sempre correspondem a situações de desperdício e diminuição da produtividade na execução dos serviços (FRANCO, 1998).

A coordenação modular deve ser o instrumento de articulação e compatibilização dos elementos produzidos em fábrica e o projeto arquitetônico. Para que sua aplicação seja efetiva, há que se considerar seus princípios e suas implicações práticas desde os estudos iniciais de projeto, isso significa que a implementação da coordenação modular em um empreendimento envolve não apenas fabricantes de componentes e construtores, mas, principalmente, os profissionais de projeto.

Ao se trabalhar com o catálogo de painéis verticais modulares proposto, o projetista deve partir da adoção da malha modular sobre a qual a composição arquitetônica irá se desenvolver. Neste trabalho, recomenda-se a malha modular 3M para o projeto da edificação. A tomada dessa medida ainda na fase de concepção do projeto evita que, após aprovado o estudo preliminar, o projetista tenha que adaptar as dimensões dos ambientes à coordenação modular, sendo necessário negociar com o cliente a perda ou ganho de alguns centímetros em seu projeto.

A opção por um sistema modular implica no condicionamento das dimensões dos espaços à modulação estabelecida. Contudo, é bom relembrar o cliente dos ganhos decorrentes dessa aparente rigidez, tais como:

1- Agilidade no processo de projeto – o projeto arquitetônico que considera o catálogo de painéis verticais modulares conduz de forma eficaz ao projeto executivo de montagem, dispensando a necessidade de compatibilização entre projetos;

2- Agilidade de produção – os painéis podem estar disponíveis em estoque. Caso não estejam, sua produção é mais rápida, pois as operações de montagem dos painéis já são dominadas pelos operários;

3- Agilidade de execução – supõe-se que as operações de montagem já sejam bem conhecidas pela mão de obra, uma vez que são operações-padrão, isto é, trabalha-se com painéis padronizados e o

modo de montagem é simples e repetitivo. Além disso, a coordenação modular observada desde o projeto da edificação diminui a necessidade de cortes nos componentes e elementos para a execução da obra. Assim, o tempo de utilização de mão de obra é menor e os custos sobre a contratação desse serviço são reduzidos.

A utilização de uma malha modular no projeto de edificações gera novas situações e possibilidades, conforme ressalta Oliveri (1972): “conceber um edifício como soma de elementos modulados significa dar ao edifício a possibilidade de adaptar-se – para cada direção – a uma multiplicidade de mudanças e circunstâncias”.

Por fim, é importante ressaltar que a proposta de utilização de esquadrias modulares nos painéis-janela, apresentada neste trabalho, está condicionada a um esforço por parte dos fabricantes de esquadrias no sentido de adequarem as dimensões de seus produtos aos requisitos da coordenação modular decimétrica. Alguns trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos com o objetivo de gerar subsídios para a incorporação da coordenação modular nesses elementos construtivos, dentre os quais destaca-se o trabalho Lucini (2001) – Manual técnico de modulação de vãos e esquadrias, no qual define um catálogo de vãos modulares e dimensões preferidas de esquadrias para servir de apoio a fabricantes, projetistas e construtores.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Confrontando os objetivos específicos propostos para esta dissertação com os resultados obtidos, são feitas as seguintes colocações:

Estudar o sistema plataforma, identificando seus requisitos construtivos e de desempenho estrutural que devem ser considerados na etapa de elaboração do projeto arquitetônico das edificações.

O item 2.2 apresenta uma noção geral das características construtivas do sistema plataforma, indicando as principais soluções para cada um dos seus subsistemas: fundação, parede, piso, instalações e cobertura. Discorre também sobre as possibilidades de racionalização do processo construtivo, com a pré-fabricação dos elementos e até subsistemas inteiros na unidade industrial, reduzindo as operações de montagem em canteiro.

Ainda no item 2.2., são reunidos os principais critérios de desempenho estrutural do sistema plataforma em madeira que condicionam o projeto do subsistema parede da edificação. A partir dos critérios elencados, foram apresentados, no capítulo 5, as seções adotadas para os montantes dos painéis de parede, a altura máxima e o espaçamento entre eles. Também foi especificada, nesse capítulo, a espessura para as chapas estruturais OSB empregadas no fechamento dos painéis, em ambas as suas faces.

Foi visto que a composição de uma parede no sistema plataforma como um painel inteiro industrializado e a partir de módulos menores pré-fabricados apresenta resistência a carregamento horizontal semelhante e, que, no entanto, deve-se tomar cuidado à forma de execução dos cantos da edificação, de modo a promover adequada rigidez ao conjunto.

Relacionar os princípios da coordenação modular às diretrizes construtivas do sistema plataforma.

A coordenação modular foi tratada no item 2.3, em que se apresenta um breve histórico sobre a utilização do módulo na arquitetura, o cenário atual da coordenação modular e seus

instrumentos de implementação, como o módulo-base e a malha modular.

Mais para frente demonstrou-se de que forma os princípios da coordenação modular foram considerados na elaboração da proposta de painéis verticais modulares e em sua aplicação no projeto da residência estudada.

Os elementos propostos tiveram sua concepção baseada na largura padrão das chapas OSB, componente modular empregado em larga escala na configuração dos painéis e de grande relevância na composição do custo de produção do elemento. A dimensão modular das chapas inteiras (12M) determinou os 13 tipos de painéis, cujas medidas finais levariam a um maior aproveitamento das chapas e ao atendimento dos requisitos de configuração espacial que gerasse uma flexibilidade ótima para o projeto da edificação propriamente dita.

Propor um catálogo de painéis verticais modulares para serem utilizados no projeto de edificações no sistema plataforma semi-industrializado.

O processo de produção semi-industrializado dos painéis, ou de pré-fabricação parcial, adequa-se ao contexto industrial observado para a região sul do país, região de inserção da proposta escolhida por deter a maior parte da plantação nacional de pinus e contar com madeiras e empresas que já comercializam casas em madeira. As siderúrgicas locais também possuem condições de suprir a demanda por componentes de ligação metálicos empregados no tipo de construção proposto.

Em função do comprimento limitado dos elementos propostos, seu peso é reduzido, exigindo, no máximo, quatro operários para carregar e manusear o painel mais pesado, atendendo às exigências de carga máxima por trabalhador estipuladas pela CLT – Consolidação das Leis do Trabalho. Além disso, é dispensado o uso de equipamentos pesados como guias, contribuindo para a redução dos impactos ambientais do edifício em seu local de implantação.

O projeto dos painéis verticais modulares também visou à redução da variedade dos componentes ao definir a mesma seção de 4 x 12 cm para as peças de madeira serrada empregadas nos montantes, travessas, vergas, contravergas e umbrais, isto é, todos os componentes de ossatura, sofrendo variação apenas o comprimento das peças. Ao

trabalhar com componentes padronizados, o processo de compra e gerenciamento do material é facilitado e a produção dos elementos é simplificada.

A redução da variedade também se voltou à simplificação das operações de cortes nas chapas estruturais de fechamento da ossatura. As chapas são cortadas em apenas oito larguras diferentes, múltiplas do módulo-base (10cm): 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80 e 90 cm. Essa medida gera o melhor aproveitamento do material, pois um corte em uma chapa inteira de 120 cm, dentro das larguras estabelecidas, jamais irá resultar em um trecho de chapa cuja medida não atenda prontamente à configuração de um dos painéis compreendidos no catálogo. Além disso, uma vez padronizadas as operações de corte, a produção dos elementos finais é realizada com maior rapidez e domínio sobre o processo.

Revisar o projeto de uma residência executada no sistema plataforma, aplicando os painéis de parede propostos, de modo a avaliar quantitativamente – o consumo de material e desperdícios – as vantagens resultantes da implementação da coordenação modular na produção de edificações.

A análise comparativa, realizada a partir da simulação de aplicação dos painéis verticais modulares em um projeto real, demonstrou que o consumo de madeira serrada no sistema modular (proposta) e no sistema panelizado (adotado pela empresa estudada) foi praticamente o mesmo, diferença de 0,45 m³ entre os dois projetos, embora o sistema modular tenha exigido um número maior de componentes. O emprego de mais componentes no sistema modular justifica-se em função dos encontros lado a lado entre módulos de painéis resultar em montantes duplos, o que pode ser minimizado priorizando-se o uso de painéis maiores, no lugar dos de pequeno comprimento. Não foi possível adotar essa medida no estudo realizado tendo em vista a necessidade de se respeitar as dimensões dos ambientes estabelecidas no projeto original. Apesar disso, a adoção de uma seção para os montantes dos painéis que permitisse um espaçamento máximo de 60 cm favoreceu a otimização do consumo de madeira serrada e reduziu o número de componentes para a fabricação de cada painel individualmente, simplificando a sua montagem.

Embora a empresa estudada adote o sistema panelizado, que considera o comprimento total da parede para a produção do painel, eliminando a necessidade de montantes duplos (uma vez que não há encontros lado a lado entre módulos), constatou-se, por outro lado, o mau aproveitamento das chapas OSB aplicadas à ossatura. Isso decorre da falta de um projeto arquitetônico que alie as necessidades de configuração espacial às medidas dos principais insumos empregados no sistema construtivo adotado. O dimensionamento dos ambientes feito de tal modo requer a execução de um grande número de cortes nos componentes, demandando um tempo maior de produção e montagem e acarretando desperdícios. Além disso, a elaboração do projeto arquitetônico da residência estudada não considerou os requisitos de desempenho estrutural do sistema plataforma, levando à adoção de soluções construtivas inusitadas, que demandaram a especificação de materiais construtivos diferenciados, como vigas e pilares metálicos.

A coordenação modular é uma importante ferramenta de articulação entre os espaços e os componentes e elementos que o delimitam, no projeto de uma edificação. A consideração de seus princípios, além de diminuir a necessidade de cortes e ajustes dos materiais na execução, favorece a compatibilidade dos painéis de parede propostos com outros componentes coordenados, podendo ser empregados em sistemas construtivos abertos, promovendo, assim, a flexibilidade da proposta.

Destaca-se, contudo, que a proposta apresentada neste trabalho, isoladamente, não é suficiente para alcançar as metas de racionalização traçadas pela coordenação modular. É preciso um esforço conjunto de todo o setor, incluindo de fabricantes dos demais componentes, projetistas e construtores, assim como medidas normativas e regulamentadoras.

Formular um conjunto de recomendações voltadas à prática projetual que contribuam para a racionalização do processo de produção de edificações no sistema plataforma em madeira.

As recomendações extraídas do cruzamento dos conceitos apreendidos com a revisão de literatura com o exercício projetual de desenho dos painéis de parede e aplicação no projeto de um edifício foram apresentadas no capítulo 6.

Conclui-se, por fim, que a possibilidade de trabalhar com um catálogo de painéis verticais modulares, com soluções padronizadas e simplificadas de elementos, estimula o setor a adotar um nível maior de industrialização e modernização na produção de edificações em madeira, conduzindo naturalmente ao aumento da racionalização construtiva do processo e à oferta de produtos que cumprem os requisitos de desempenho de uma edificação de qualidade.

Como perspectivas de continuidade desta pesquisa, sugere-se:

- a) Estudo dos custos de produção dos painéis verticais modulares propostos;
- b) Verificação da segurança estrutural dos painéis de acordo com as normas de estruturas de madeira pertinentes, determinando-se as cargas nos painéis e verificando o atendimento aos critérios de tensões e deslocamentos exigidos;
- c) Análise da viabilidade e possíveis adaptações para inserção de instalações hidrossanitárias e elétricas nos painéis propostos;
- d) Elaboração do projeto executivo para o subsistema parede, configurado a partir dos painéis propostos, e estudo das interfaces com os demais subsistemas da edificação;
- e) Elaboração de uma cartilha contendo diretrizes para a produção painéis e sua adequada utilização no projeto de edificações;
- f) Verificação da aceitação, pelo público alvo, da proposta e sugestões de adaptações e melhorias;
- g) Proposição de um sistema modular para o subsistema piso da edificação produzida no sistema plataforma em madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

AMORIM, S. R. L. de; KAPP, S; EKSTERMAN, C. F. **Manual de práticas recomendadas** – Coordenação modular. Caderno 1 – Projeto EM habitação de interesse social – HIS. Rio de Janeiro: CDU, 2010.

APA - THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Panel handbook and grade glossary**. United States, 1997.

BALDAUF, A. S. F. **Contribuição à implementação da coordenação modular no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BASSO, A.; MARTUCCI, R. Uma visão integrada da análise e avaliação de conjuntos habitacionais: aspectos metodológicos da pós-ocupação e do desempenho tecnológico. **Inserção urbana e avaliação pós ocupação (APO) da habitação de interesse social**. São Paulo: Coletânea Habitare ANTAC, v.1, cap.10, p.268-293, 2002.

BERRIEL, A. **Madeira e Morada**: A habitação de madeira como opção para o século XXI. Dissertação (Mestrado) – PUC-PR em convênio com UFRGS, Curitiba, 2002.

_____. **Arquitetura de Madeira**: reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BITTENCOURT, R. M. **Concepção arquitetônica da habitação em madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana e Construção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BONIN, L. C. **A abordagem sistêmica da produção de edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

BRANDÃO, D. Q. **Diversidade e potencial de flexibilidade de arranjos espaciais de apartamentos:** uma análise do produto imobiliário no Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BRASIL. Decreto-Lei n. 5452, de 1º de maio de 1943. Aprova a consolidação das leis do trabalho. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 ago. 1943. Disponível em:

<http://www.dji.com.br/decretos_leis/1943-005452-clt/clt.htm>.

Acesso em: 9/5/2013.

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento.** São Paulo: Perspectiva, 2002.

CAPORIONI; GARLATTI; TENCA-MONTINI. **La coordinación modular.** Barcelona: Gustavo Gili, 1971.

CARUANA, R. Ideia revolucionária: fixar carbono na natureza. **Caros Amigos**, Sumaré SP, n. 124, 2007. Entrevista.

CASTELO, J. L. de C. **Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo industrializado leve destinado à realização de edifícios metálicos.** Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Universidade do Porto, Porto, 2008.

CMHC. **Canadian wood-frame house construction.** Canadá: CMHC, 1998.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE. **Constructability Implementation Guide.** Austin, 2006.

CEI-Bois. **Luttez contre le changement climatique:** Utilisez le bois. 2007.

CHING, F. D. K. **Dicionário visual de arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **CBCS**. Materiais, componentes e a construção sustentável. São Paulo: Comitê Brasileiro Temático de Materiais, 2009. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/materiais/CT_materiais.pdf?>. Acesso em: 01/11/2012.

CURITIBA. **Decreto n. 212**, de 29 de março de 2007. Aprova o Regulamento de Edificações do Município de Curitiba e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br>>. Acesso em: 20/5/2013.

DIAS, G. L. **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetidas a força horizontal no seu plano**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ESPÍNDOLA, L. da R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FABRICIO, M. M. **Processos construtivos flexíveis: projeto da produção**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1996.

FARAH, M. F. S. **Processo de trabalho da construção habitacional: tradição e mudança**. São Paulo: Annablume, 1996.

FEIRER, J. L.; HUTCHINGS, G. R.; FEIRER, M. D. **Carpentry and building construction**. Glencoe/McGraw-Hill, 1993.

FERGUSON, I. *Buildability in practice*. Londres: Mitchell Publish Company Limited, 1989.

FERREIRA, N. L. et al. **Manual sobre ergonomia**. Campinas: DGRH/SESMT da UNICAMP, 2001.

FERREIRA, A. B. de H. **Míni dicionário Aurélio**: o dicionário da língua portuguesa. Curitiba, Ed. Positivo, 2008.

FISHER, M.; TATUM, C. B. Characteristics of design-relevant constructability knowledge. **Journal of construction engineering and management**, v. 123, n. 3, p. 253-260, 1997.

FLORIANÓPOLIS. **Lei complementar n. 60**, de 11 de maio de 2000. Institui o código de obras e edificações de Florianópolis e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 20/5/2013.

FRAMPTON, K. **História crítica da arquitetura moderna**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

FRANCO, L. S. Racionalização construtiva, inovação tecnológica e pesquisas. In: **Curso de Formação em Mutirão EPUSP**, São Paulo, 1996.

FRANCO, L. S. O projeto das vedações verticais: Características e a importância para a racionalização do processo de produção. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS – VEDAÇÕES VERTICAIS, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC/EPUSP, 1998. p. 221-236.

GAUZIN-MÜLLER, D. Introdução. In: AFLALO, M. (Org.). **Madeira como estrutura**: A história da ITA. São Paulo: Paralaxe, 2005.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil**: uma abordagem atualizada. Porto Alegre: ANTAC, v. 9, 2007. Coletânea Habitare.

GRIFFITH, A. An investigation into factors influencing buildability and levels of productivity for application to selecting alternative design solutions: a preliminary report. In: CIB W65 INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF

CONSTRUCTION, 5., 1987, London. **Proceedings...** London: CIB, 1987-88. v.2, p. 646-57.

HERTZBERGER, H. **Lições de arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 2006.

KRAMBECK, T. I. **Revisão de sistema construtivo em madeira de floresta plantada para habitação popular**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

INO, A. Classificação de sistemas construtivos em madeira: alguns exemplos de construção de madeira para habitação no Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4., 1992. **Anais...** São Carlos: USP, 1992. v.5, p. 13-28.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: Uso sustentável na construção civil**. São Paulo: IPT, SVMA, SindusCon-SP, 2003.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL. **IRC: International Residential Code – For one and two-family dwellings**. Country Club Hills (USA), 2003.

IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias**. São Paulo: Pini, 2001.

LP BUILDING PRODUCTS. **OSB Home Estrutural – Painel estrutural**. 2010. Catálogo de produto. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br>>. Acesso em: 15/2/2013.

MARQUES, C. S. P; AZUMA, M. H; SOARES, P. F. A importância da arquitetura vernacular. **Akrópolis**, Umuarama, v. 17, n. 1, p. 45-54, jan./mar. 2009.

MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. Tese

(Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1994.

MELLO, R. L. de. **Projetar em madeira: uma nova abordagem.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

NAHUZ, M. A. R. Atividades industriais, usos e aplicações de madeiras no Brasil, com ênfase em pinus e eucalyptus. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Ed.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** Jerônimo Monteiro – ES, 2007. p. 159-208.

NATTERER, J.; SANDOZ, J. L.; REY, M. **Constructions en bois** – matériau, technologie et dimensionnement. Lausanne: Presses Polytechnique et Universitaires Romandes, 2004.

OLIVERI, G. M. **Prefabricación o metaproyecto constructivo.** Barcelona: Gustavo Gili, 1972.

PATINHA, S. M. P. de A. **Construção modular – Desenvolvimento da ideia: casa numa caixa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2011.

PEREIRA, A. C. W. **Diretrizes para implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

PICARELLI, M. **Habitação: uma interrogação.** São Paulo: FAU/USP, 1986.

RABAROUX, P. **Construire en bois dans les pays en développement.** Paris: Publisud, 1988.

ROSSO, T. **Racionalização da construção.** São Paulo: FAUUSP, 1980.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular.** São Paulo: FAUUSP, 1976.

ROTH, C. G.; C.M. GARCÍAS. Construção civil e a degradação ambiental. **Desenvolvimento em questão**, Ijuí-RS, ano 7, n. 13, p. 111-128, jan./jun. 2009.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos** – Formulação e aplicação de uma metodologia. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1989.

SACCO, M. de F.; STAMATO, G. C. Light wood frame – construções com estrutura leve de madeira. **Revista Techne**, São Paulo, n. 140, p. 75-80 nov. 2008. Disponível em:
<<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/140/artigo117396-1.asp>>. Acesso em: 12/8/2012.

SÁNCHEZ, J. E. P. (Org.). **Casas de madera**. Los sistemas constructivos a base de madera aplicados a las viviendas unifamiliares. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho – AITIM, 1995.

SANTOS, A. C. dos. **Pisos em sistema leve de madeira sob ação de carregamento monotônico em seu plano**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SAYEGH, S. Pré-fabricação a limpo (Arquitetos desmistificam os sistemas pré-fabricados de construção e contam como utilizar o recurso com criatividade e competência). **Revista AU**, São Paulo, ano XIV, n. 37, 1994. Disponível em:
<<http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/130/pre-fabricacao-a-limpo-22672-1.asp>>. Acesso em: 29/8/2012.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. **OSB Performance by design**. OSB in wood frame construction. U.S. Edition, 1998.

SEBESTYEN, G. What do we mean by “flexibility” and “variability” of systems? **Building Research and Practice**, p. 370-374, nov./dez. 1978. Disponível em:

<<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613217808550718#preview>>. Acesso em: 29/10/2012.

SILVA, A. **Comportamento diafragma de paredes de madeira no sistema leve plataforma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

SILVEIRA, V. N. S. Racionalidade e organização: as múltiplas faces do enigma. **Revista de administração contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 1107-1130, out./dez. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-6552008000400010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 28/8/2012.

SOBRAL, L. et al. **Acertando o Alvo 2: Consumo de madeira amazônica e certificação florestal no estado de São Paulo**. Belém: Imazon, Imaflora, Amigos da Terra, 2002. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/livretos/acertando-o-alvo-2-comsumo-de-madeira-amazonica-e-certificacao-florestal-no-estado-de-sao-paulo>>. Acesso em: 23/4/2013.

STEIN, A. **La maison bois**. Aix-en-Provence (FR): Édisud, 1993.

SZÜCS, C. P. **Système ouvert de construction en bois pour la maison populaire, appliqué à une systématique autoconstructive, comme une réponse à la demande d’habitations dans la Région Sud-brésilienne**.

THALLON, R. **Graphic guide to frame construction: details for builders and designers**. Newtown (USA): The Taunton Press, 2000.

TRIGO, J. T. **Tecnologia da Construção de Habitação**. Lisboa: LNEC, 1978.

VELLOSO, J. G. **Diretrizes para construções em madeira no sistema plataforma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VELLOSO, J.G; TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Comportamento estrutural experimental do sistema pré-fabricado plataforma, em madeira. In:

ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2008.

WEBER, M. **Ensaio de sociologia**. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

AF&PA; AWC. **Wood frame construction manual**. Washington: AF&PA; AWC, 2005.

WOESTE, F. Strength of toe-nails vs. end-nails. **Residential Structure and Framing** – Practical Engineering and Advanced Framing Techniques for Builders. Williston (USA): Journal of Light Construction Book, 2001.