

Proposta de um sistema industrializado sustentável para habitação modular

(Versão final após defesa)

Miguel Pereira Rodrigues

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Arquitetura
(ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha
Co-orientador: Prof. Doutor Jorge Eduardo Ramos Jular

Janeiro de 2021

Dedicatória

À minha família, amigos e professores que acompanharam o meu percurso académico, que me instruíram, educaram e transmitiram conhecimentos.

À minha família que já não pode estar presente.

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos aos meus dois orientadores, Prof. Doutor João Carlos G. Lanzinha e Prof. Doutor Jorge Eduardo R. Jular, por toda a paciência, disponibilidade e competência demonstrada ao longo de todo o processo.

À minha família e amigos pelo apoio incondicional, compreensão, ajuda e incentivo prestados ao longo do tempo.

E aos meus amigos por me terem acompanhado ao longo deste percurso.

Resumo

No contexto de uma sociedade dinâmica, marcada gradualmente pelo progresso tecnológico e culto da informação, a presente dissertação tem como propósito a síntese entre os métodos construtivos tradicionais, as tecnologias de vanguarda e a sustentabilidade dos materiais num âmbito arquitetónico da modularização, standardização e pré-fabricação.

A pesquisa visa definir um cenário de referência para a inovação na construção civil que pretende reduzir e promover um melhor conhecimento e compreensão sobre a modularização e pré-fabricação no âmbito construtivo. Contribuindo desta forma para a construção de boas práticas de Arquitetura e procurando responder a determinadas questões patológicas típicas das edificações, tais como a durabilidade, funcionalidade, habitabilidade, segurança e conforto das mesmas. A presente dissertação pretende também demonstrar características técnicas, métodos construtivos, novas tecnologias, usos, vantagens e desvantagens de sistemas modulares quando aplicados à Arquitetura, definindo a futura procura por habitações contemporâneas que se adaptam a cada modo de vida e se revelam fáceis de projetar e edificar por “qualquer um”.

Numa geração em que se tornam cada vez mais pertinentes questões como a economia e a sustentabilidade, a modularização e industrialização traduzem-se num percurso de referência que pretende reduzir a pegada ecológica nos processos construtivos contribuindo para o desenvolvimento de produtos de baixo impacto ambiental, mantendo a elevada qualidade. Nesta premissa, a dissertação propõe um novo sistema construtivo teórico definido enquanto "sistema industrializado, progressivo e sustentável para habitação modular". Este sistema pretende interpretar as mudanças dinâmicas nos comportamentos habitacionais, desencadeando a modularização e industrialização dos elementos construtivos. É sobre este contexto que surge a habitação modular pré-fabricada, como uma opção personalizável de carácter progressivo, com o objetivo de alcançar uma simplicidade processual, construtiva e técnica. Transfigurando o ato de projetar, desta forma, drasticamente, tornando-o mais complexo em relação à prática convencional, mas também mais exato e homogéneo e paradoxalmente, menos severo e intransigente, adaptando-se às adversidades da vida de cada um e abrindo novas oportunidades. Respondendo desta forma à necessidade contemporânea de simplificar e acelerar os processos construtivos.

Palavras-chave

Modular; pré-fabricado; industrialização; expansível; ecológico;

Abstract

In the context of a dynamic society, gradually marked by technological progress and the cult of information, the present dissertation aims at the synthesis between traditional construction methods, cutting edge technologies and the sustainability of materials in an architectural context of modularization, standardization and pre-manufacturing. The research aims to define a reference scenario for innovation in civil construction that aims to reduce and promote better knowledge and understanding about modularization and prefabrication in the construction field. Contributing in this way to the construction of good architectural practices and seeking to answer certain pathological questions typical of buildings, such as their durability, functionality, habitability, safety and comfort. The present dissertation also intends to demonstrate technical characteristics, construction methods, new technologies, uses, advantages and disadvantages of modular systems when applied to Architecture, defining the future search for contemporary houses that adapt to each way of life and prove to be easy to design and build by “anyone”.

In a generation in which issues such as economics and sustainability become increasingly relevant, modularization and industrialization translate into a reference path that aims to reduce the ecological footprint in construction processes, contributing to the development of products with low environmental impact, maintaining high quality. In this premise, the dissertation proposes a new theoretical construction system defined as "industrialized, progressive and sustainable system for modular housing". This system intends to interpret the dynamic changes in housing behavior, triggering the modularization and industrialization of construction elements. It is in this context that the prefabricated modular housing appears, as a customizable option of progressive character, with the aim of achieving procedural, constructive and technical simplicity. Transfiguring the act of projecting, in this way, drastically, making it more complex in relation to conventional practice, but also more exact and homogeneous and paradoxically, less severe and uncompromising, adapting to the adversities of each one's life and opening new opportunities. Responding in this way to the contemporary need to simplify and speed up construction processes.

Keywords

Modular; prefab; expandable; industrialize; expandable; ecologic;

Índice

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Objetivos	4
1.2. Metodologia	6
1.3. Organização do trabalho	8
1.4. Definição do objeto de estudo	9
1.5. Estado da Arte	12
1.6. Enquadramento Histórico e Teórico do Tema	19
1.7. Resumo de Capítulo	22
Capítulo 2 – Evolução do conceito de habitação e construção modular e sua possível industrialização	23
2.1. A evolução dos espaços habitacionais	23
2.1.1. O conceito da habitação evolutiva	25
2.1.2. A flexibilidade na habitação	28
2.2. Definição do sistema modular	34
2.2.1. Vantagens e desvantagens da tipologia	36
2.2.2. O conceito da habitação e construção modular	38
2.3. Industrialização, prefabricação e estandardização na construção	40
2.3.1. O conceito da habitação industrializada	41
2.3.2. Características dimensionais e funcionais	42
2.4. Construção sustentável	43
2.4.1. A sustentabilidade na escala da habitação	45
2.4.2. Materiais e métodos construtivos	46
2.5. Resumo de Capítulo	48
Capítulo 3 - Casos de estudo	49
3.1. Wikkelhouse	50
3.2. GETAWAY/Tiny House	52
3.3. EKOKONCEPT/mini-for-4	54
3.4. CASAGRANDE/Tikku	56
3.5. SUMMARY/Sistema Gomos	58

3.6. MIMA/MIMA House.....	60
3.7. Ilke HOMES.....	62
3.8. Resumo de Capítulo	63
Capítulo 4 - Abordagem ao módulo.....	65
4.1. Abordagem conceptual criativa	66
4.2. Solução do sistema de construção modular.....	72
4.2.1. Sistema de referência modular	87
4.2.2. Sistema de medidas modulares	88
4.2.3. Sistema de coordenação e malhas modulares.....	89
4.2.4. Sistema de ajustes e tolerabilidade.....	90
4.3. Projeto de execução	91
4.3.1. Sistemas de piso, fachada, cobertura e juntas	95
4.4. Instalação.....	98
4.5. Processo de produção	100
4.6. Sequência de construção em fábrica	102
4.7. Usos, Apropriações e Potencialidades.....	103
4.8. Materiais e Acessórios.....	104
4.9. Resumo de Capítulo	105
Capítulo 5 - Conclusão	107
5.1. Considerações finais e desenvolvimentos futuros.....	108
Referências Bibliográficas.....	109
Anexos	112

Lista de Figuras

Figura 1 - Sistema estrutural, balloon framing (1830) de Louis Sullivan. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://urbancraftuah.files.wordpress.com/2012/11/comparacion-sistemas-ballon-frame2.jpg);	12
Figura 2 - The Manning Portable Colonial Cottage (1833) de H. John Manning. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://quonset-hut.blogspot.com/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html);	13
Figura 3 - Alçado e planta do Crystal Palace, (1851) Joseph Paxton. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://www.archdaily.com/397949/ad-classic-the-crystal-palace-joseph-paxton);	14
Figura 4 – Exemplo das Quonset Huts em: Quonset Point Naval Air Station/US Army, Quonset hut. 1941, USA. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://inlanding.wordpress.com/2013/02/19/quonset-the-nissen-huts-american-cousin);	15
Figura 5 - Crianças ao lado de uma fileira de Nissen huts em Duddingston Camp, 30 de Janeiro de 1954, Edinburgh. (Consultado a 6 Novembro 2020, www.gettyimages.com);	16
Figura 6 - Richard Buckminster Fuller, Dymaxion House Wichita. 1945, USA. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://blogs.uoregon.edu/dymaxionhouse/a-house-is-a-machine-for-living-in);	16
Figura 7 - Sir Peter Cook/Archigram, Ideal Home House Competition. 1963. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://www.archdaily.com/399329/ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram);	17
Figura 8 - Yona Friedman, Ville Spatiale. 1959-60. (Consultado a 6 Novembro 2020, http://www.yonafriedman.nl/?page_id=78);	18
Figura 9 - A habitação modular-dinâmica, enquanto resposta a uma sociedade em constante mudança, partindo da escala global da cidade;	20
Figura 10 - Renzo Piano, casa evolutiva, Bastia Umbra, 1978. (Consultado a 6 Novembro 2020, http://www.oicosriflessioni.it/2018/12/14/renzo-piano-e-peter-rice-casa-evolutiva-bastia-umbra);	25
Figura 11 - Renzo Piano, casa evolutiva, Bastia Umbra, 1978. (Consultado a 6 Novembro 2020, http://www.oicosriflessioni.it/2018/12/14/renzo-piano-e-peter-rice-casa-evolutiva-bastia-umbra);	26
Figura 12 - “La Trahison des Images” (1929) de René Magritte. (González, 2008). (Consultado a 6 Novembro 2020, https://www.researchgate.net/figure/Figura-01-La-trahison-des-images-Fonte-Rene-Magritte-1929_fig1_329603176);	28
Figura 13 - “Seeking comfort in an uncomfortable armchair” Bruno Munari. (Bruno Munari, 1944) – Analogia à habitação inflexível. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://truefurrytails.wordpress.com/tag/munari/);	31
Figura 14 - Estrutura <i>Dom-ino</i> , Le Corbusier, 1914. (Consultado a 6 Novembro 2020, http://44arquitectura.com.br/2019/02/le-corbusier-genio-modernismo);	32

Figura 15 – Planta <i>Maison Loucheur</i> , Le Corbusier, 1929. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://casa-abierta.com/post.php?t=58d287502c12f);.....	33
Figura 16 – Sistemas de coordenação modular bidimensionais; Malhas modulares exploradas;	34
Figura 17 - Conceito de construção modular;.....	38
Figura 18 – Madeira lamelada (MLC/ <i>CLT</i>);	46
Figura 19 - Madeira Lamelada Colada (MLC);.....	47
Figura 20 – Wikkelhouse, molde rotativo. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://wikkelhouse.com);	50
Figura 21 – Wikkelhouse, esquema de conceito. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://wikkelhouse.com);	51
Figura 22 – Getaway House, interior e exterior. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://getaway.house);	52
Figura 23 - Vista interior, Tiny House Getaway. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://getaway.house);	53
Figura 24 - Ekokoncept mini for-4, Bled, Slovenia. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://archello.com/project/mini-for-4);	54
Figura 25 - Ekokoncept mini for-4, Bled, Slovenia. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://archello.com/project/mini-for-4);	55
Figura 26 - Mini chalé de montanha, Planta sem escala. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://archello.com/project/mini-for-4);	55
Figura 27 – Habitação Tikku, para a Helsinki Design Week 2017, em Helsínquia. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://www.helsinkidesignweek.com/series/hdw-hop-2017-a-micro-size-apartment-house-shows-how-densely-well-live-in-the-future);.....	56
Figura 28 - Esquício do projeto Tikku. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://www.helsinkidesignweek.com/series/hdw-hop-2017-a-micro-size-apartment-house-shows-how-densely-well-live-in-the-future);	57
Figura 29 – Conceito do sistema Gomos, SUMMARY. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://summary.pt);	58
Figura 30 - Vale de Cambra, sistema Gomos. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://summary.pt);	59
Figura 31 - Plantas da MIMA House, 2011. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://www.mimahousing.com);.....	60
Figura 32 - Interior da MIMA House. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://www.mimahousing.com);.....	61
Figura 33 - Sistema Ilke HOMES. (Consultado a 6 Novembro 2020, https://ilkehomes.co.uk);	62
Figura 34 – Modulor de 1955 - 1,829m - de Le Corbusier. (Consultado a 6 Novembro 2020, http://www.educ.fc.ul.pt/icm/icm2000/icm33/Corbusier.htm);.....	66
Figura 35 - Esquema conceptual de medidas modulares;	67
Figura 36 - Modelo de expansão de uma unidade modular para a próxima;.....	67

Figura 37 - Modulor de Le Corbusier - Medidas baseadas no princípio dos números de Fibonacci. (Consultado a 6 Novembro 2020, http://www.educ.fc.ul.pt/icm/icm2000/icm33/Corbusier.htm);.....	69
Figura 38 - Processo de multiplicação construtiva do sistema;.....	69
Figura 39 – Fases de desenvolvimento da malha tridimensional;	70
Figura 40 - Posicionamento das sapatas na malha modular;.....	72
Figura 41 - Sistema de sapatas com laje autoportante e painéis de cobertura de laje;	73
Figura 42 – Diagrama da solução construtiva – Encaixe do sistema de laje com estrutura modular;	74
Figura 43 - Sistema de laje modular;.....	74
Figura 44 – Desenho técnico explicativo de encaixe entre lajes modulares;	75
Figura 45 – Modelação da Estrutura Modular – Madeira MLC;.....	75
Figura 46 – Esquema de solução modular de expansão estrutural;.....	76
Figura 47 - Dimensionamento estrutural de vigas personalizado;.....	76
Figura 48 - Imagem ilustrativa da adição de 8 módulos à habitação modular;	77
Figura 49 – Pré-dimensionamento de pilares e vigas até um máximo de 3mM contínuos por vão;	78
Figura 50 - Diagrama - Pendentes, ângulos e caleiras;.....	79
Figura 51 - Modelo da estrutura da cobertura – Madeira MLC;.....	80
Figura 52 - Corte Tridimensional - sistema de calhas tipo carril;	80
Figura 53 - Corte tridimensional - Painéis tipo 1, PLN-T1 – Externo/interno;	81
Figura 54 - Perspetivas – Painéis PNL-T2;	82
Figura 55 – Corte Tridimensional - Painel de acabamento inferior, sem calhas do tipo carril; ..	83
Figura 56 - Corte Tridimensional - Painel de acabamento inferior, com calhas do tipo carril;...	83
Figura 57 - Corte Tridimensional - Painel estrutural em MLC;.....	84
Figura 58 - Teto com opção de pé direito B. Com ou sem calhas do tipo carril;	84
Figura 59 – Corte tridimensional - Declive da cobertura de 10° para 2mM, 8° para 6mM e 12° para 4mM.....	85
Figura 60 – Axonometria do sistema de referencia modular;.....	87
Figura 61 - Quadricula de organização modular utilizada para a construção de elementos e secções;.....	88
Figura 62 - Quadricula de sistema para dimensionamento da laje modular, pilares e fundações;	88
Figura 63 – Quadriculado modular com espaçamentos de 1mM;.....	89
Figura 64 – Dimensionamento de sistema de sapatas e pilares;.....	91
Figura 65 - Construção da malha modular pré-dimensionada sobre as sapatas;	91
Figura 66 - Solução construtiva progressiva com elementos de expansão estrutural;	92
Figura 67 - Solução construtiva definitiva sem elementos de expansão estrutural;	93
Figura 68- Fundações e estrutura modular pré-dimensionada;	93
Figura 69- Acabamentos - em painel – Internos/externos estruturais;.....	93
Figura 70 - Acabamentos - em painel – Externos ornamentais;	94

Figura 71 - Acabamentos – Vãos e acessórios;	94
Figura 72 – Diagrama de ligação oculta. Imagem de catálogo Rothoblaas;.....	95
Figura 73 - Anilhas de 45° - Retirada do catálogo Rothoblaas;.....	96
Figura 74 - Fixação Pillar - Retirada do catálogo Rothoblaas;	96
Figura 75 – Ligador Alumini - Retirada do catálogo Rothoblaas;	97
Figura 76 - Instalação modular no local com auxílio de grua;.....	98
Figura 77 - Possibilidades de modulação;	103

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

GRP	Gabinete de Relações Públicas
UBI	Universidade da Beira Interior
HAB	Habitação
M	Módulo
mM	Medida Modular
m ²	Metro Quadrado
MLC	Madeira Lamelada Colada
OSB	Oriented Strand Board
PVC	Policloreto de vinilo
WPC	Wood-Polymer Composite
UV	Ultravioleta
MBI	Modular Building Institute

...

Capítulo 1 – Introdução

A presente dissertação aborda o tema da industrialização e da modularização no contexto da sustentabilidade, para a sistematização de uma tipologia de habitação unifamiliar. A partir de uma análise às influências arquitetônicas de sistemas de habitação industrializados, modulares e sustentáveis, pretende-se construir uma base de conhecimento que fundamente a abordagem projetual enquanto resposta adequada às necessidades atuais e futuras da habitação.

O mundo encontra-se em constante mutação e as construções modulares e pré-fabricadas, nos últimos anos, atravessaram um período revolucionário de inovação e desenvolvimento. Tendo por base processos construtivos modulares, ou pré-fabricados historicamente convencionais, apenas recentemente se começaram a admitir novas tecnologias com a finalidade de desenvolver sistemas mais rápidos, baratos e de alto valor agregado. Simultaneamente, a grande maioria das novas construções atuais ainda adota de forma ampla e sem alterações substanciais, as mesmas soluções tipológicas e tecnologias, assim como, métodos de produção e processos desenvolvidos e introduzidos há quase cem anos.

A relevância deste tema reside na constatação de que a acomodação adequada integra uma função fundamental na relação entre o habitante e a sua casa, dado que a habitação é um lugar de expressão e a continuação da identidade humana de cada um. Desta forma, inevitavelmente, surge uma necessidade de fazer corresponder as funções e formas de apropriação da habitação às solicitações dinâmicas e heterogêneas de cada um. Deste modo, a presente dissertação objetiva-se, não só no desenvolvimento do sistema enquanto solução construtiva, mas de igual forma nas capacidades e possibilidades que a modularização e pré-fabricação possibilitam ao contexto residencial. Embora este tema seja transversal a diversas formas e ramos da própria Arquitetura, optou-se por centralizar o presente projeto no âmbito da habitação unifamiliar, onde, também, as influências exteriores têm vindo a desempenhar o maior progresso e inclusive, por ser a tipologia arquitetônica mais subordinada a convencionalismos e conseqüentemente, a que apresenta maior necessidade de revisão perante a complexidade do panorama contemporâneo.

Na habitação convencional, para além dos preços díspares praticados em função de fatores como quem constrói, qualidade construtiva final, acabamentos etc. Incitam o surgimento de forma inevitável, ao longo do tempo de disparidades entre as necessidades do utilizador e a resposta/utilidade que a sua habitação é capaz de fornecer. Entre outros fatores, destacam-se as alterações na composição familiar, na faixa etária desta, condições clínicas do agregado, de emprego, status social, escolar e atividades. Todos e cada um destes fatores têm o potencial de mudar as exigências impostas às condições da vida dentro da habitação. De forma semelhante, mas mais imediata, uma simples mudança nas estações ao longo do ano, o clima e até mesmo a hora do dia, influenciam diretamente o método de abordagem de cada um à utilização dos edifícios e da habitação.

Até certo ponto, as casas e os seus ocupantes adaptam-se de uma forma simples, natural e fácil a essas mudanças, no entanto, este tipo de habitação mais convencional tendem a ser estática. Projetadas para serem duradouras e permanentes, tornam-se gradualmente ineficazes e eventualmente acomodam de forma ineficiente as novas necessidades dos seus utilizadores e moradores. À medida que a família cresce, o espaço torna-se progressivamente insuficiente e surge uma lacuna entre o que a habitação é apta a fornecer e o que o usuário na prática necessita. O acumular dessas disparidades impede o correto funcionamento de um lar, prejudicando a vida dos que residem, levando a condições de vida não otimizadas que mais tarde se traduzem em insatisfação por parte dos habitantes. Como resultado, os proprietários, tipicamente defrontam-se com escolhas: aceitar a resultante degradação da qualidade de vida que lhes proporciona um dos maiores investimentos que muitos fazem durante a sua existência, ou tomar medidas adaptativas, como renovar ou reconfigurar o espaço existente através da adição de um anexo. Na alternativa à mudança de lar, o utilizador é obrigado a adaptar-se a si e à sua construção, de forma inesperada, não programada e muitas das vezes, envolvendo custos desproporcionais, resultantes da falta de otimização da sua habitação para esta finalidade.

Além da forma inadequada de como a habitação fornece conforto ao longo do tempo aos seus habitantes, as crises quase cíclicas do ramo da construção aliada à discrepância de custos, inconstantes são outros fatores que reforçam a necessidade contemporânea de simplificar e acelerar os processos construtivos. Sendo que a realidade das nossas vidas é indefinidamente dinâmica, torna-se claro que a Arquitetura deverá ser apta a configurar-se enquanto sistema aberto e recetivo à mudança.

Além disso, como todos podemos ver e sentir, cultismos, dogmas e pensamentos construídos há séculos, podem ser radicalmente transformados por um vírus ou outras formas de catástrofes naturais. Desta forma, começam a surgir novas oportunidades para alterar o pensamento tradicional, o modo e a dinâmica de construir, edificar e de como se observa e interpreta a Arquitetura.

Embora a complexidade do problema exija inúmeras soluções, em diversas áreas, a construção modular tem vindo a mostrar-se promissora pelas suas características que serão apresentadas ao longo do presente trabalho. Trazendo a mentalidade da industrialização noutros ramos para o setor construtivo e conseqüentemente o aumento da eficiência do mesmo, objetiva-se a resolução das necessidades espaciais que tem conseqüências diretas na qualidade de vida dos habitantes. Ao longo da vida, as necessidades são suscetíveis a mudar significativamente, uma estratégia adaptativa por parte do habitante, resulta em condições que eventualmente se tornam pouco produtivas e ineficazes. Uma estratégia de planificação de uma habitação adaptativa, flexível e metamórfica, com ideias de amplificação inerentes no seu projeto inicial, resulta numa forma eficiente e eficaz de adaptação às exigências e imprevisibilidades do curso da vida do indivíduo e até do próprio edifício. Em conjunto, o aumento da eficiência da própria habitação, a uniformização dos preços praticados no setor da construção, a redução dos custos das habitações e a acessibilidade da mesma à comunidade em geral, respondem a necessidades contemporâneas que cada vez se revelam mais importantes de ver resolvidas. A racionalização do espaço,

componentes e recursos introduzem a construção modular como um recurso relevante e valioso no âmbito projetual e construtivo na edificação de novas estruturas transgeracionais. A construção modular não irá apenas reduzir e uniformizar os custos, mas com o tempo, pode também reduzir outros custos relacionados com a habitação, facilitando a criação de espaços flexíveis, capazes de acomodar a mudança e ampliar a liberdade de apropriação do habitante ao longo do tempo. Numa geração em que se tornam cada vez mais pertinentes questões económicas e de sustentabilidade, torna-se imperativa a busca por novas e inovadoras soluções que não só consigam responder às novas exigências, mas que igualmente, solucionem patologias típicas das edificações, tais como, a durabilidade, funcionalidade, habitabilidade, segurança e conforto destas. As habitações significaram desde a sua génese um abrigo às necessidades do ser humano e torna-se hoje, cada vez mais indispensável que a mesma evolua de acordo com o dia-a-dia do seu habitante, flexível a qualquer situação, originando uma forma de habitar de carácter cada vez mais versátil, prático e sustentável.

Paralelamente, na atualidade pode considerar-se que o setor da construção, de forma geral, é demasiado heterogéneo, conseqüentemente, dessa falta de consistência construtiva resulta um mecanismo pouco racional, onde a capacidade de racionalização possibilita, também, a potencialização de custos, tempo e recursos.

O módulo, que na Arquitetura é definido enquanto unidade padronizada, adotado a fim de precisar e articular dimensões, proporções e organizar a implantação de componentes de um particular corpo arquitetónico, como é o exemplo de um simples tijolo, passa neste caso a exercer a função dimensional dos componentes industrializados, proporcionando condições a certa atividade e enorme flexibilidade de aproveitamento. Através da fixação de uma dimensão padronizada, não só será possível um maior controlo de desperdícios desde a fase de conceção até à fase construtiva, potencializando um maior controlo sobre o consumo de matéria-prima, consumos energéticos e melhor qualidade construtiva, mas também, mostrar-se-á, ainda, que recorrendo a recursos sustentáveis, renováveis e apelando à sustentabilidade e ao consumo sustentável, a indústria da construção com recursos a linhas de produção, ambientes controlados, conseguirá diminuir consideravelmente o nível de impacto ambiental do setor construtivo. Traduzindo esta união numa solução lógica e racional de benefícios tanto ao nível funcional, como ao nível de impacto ambiental.

As habitações e as próprias edificações, deixarão de ser consideradas obras finalizadas e imutáveis, e passarão a ser projetos em permanente evolução e transformação, desenvolvidos e pensados para serem modificados e se adaptarem ao longo do tempo às alterações estéticas, funcionais e tecnológicas impostas pelas necessidades do ser humano.

1.1. Objetivos

Desde a sua génese que sistemas construtivos variaram em função das necessidades, exigências, tecnologias, materialidades, recursos e conhecimento disponíveis. O ser humano, na linha da frente do desenvolvimento tem o dever de se atualizar diariamente e progredir em qualquer ramo. Assumindo que a compra de habitação é para a grande generalidade das pessoas um dos maiores investimentos realizados durante a sua existência, se não o maior, e que muitos não têm nem mesmo essa comodidade, a racionalização e otimização de meios e recursos poderá tornar-se no ponto de partida para alterar esta realidade. Desta forma, a elaboração de novos sistemas construtivos e a busca por avanços nos sistemas construtivos utilizados, traduz-se num dever e obrigação que surge em resposta à atual procura por exigências de qualidade, conforto, segurança e eficiência a valores mais racionais, justos e competitivos.

Esta dissertação tem como intuito a elaboração de uma proposta teórico-prática de um sistema construtivo pré-fabricado de índole modular que oferece conforto, privacidade, segurança e responde com eficácia aos distintos perfis familiares e respetivas composições. Esta proposta pretende contrapor o que tem sido oferecido no mercado habitacional ao longo dos anos, através da economia de escala, a partir da uniformização de métodos construtivos e do nivelamento de custos de produção. Simultaneamente, pretende-se colmatar as necessidades que surgem ao longo do tempo na habitação, através de um sistema dinâmico, adaptativo e flexível que possibilita que a habitação se modifique e adapte ao perfil dos seus utilizadores, sem perder o seu carácter e desempenho. Um espaço programado para atender os compradores cada vez mais interessados na sustentabilidade, no consumo sustentável e totalmente direcionado e pensado para o cliente final, onde é possível personalizar e adaptar quase de forma isolada cada um dos elementos habitacionais. Com foco na modularização e pré-fabricação, pretende-se, a consecução de um projeto de carácter personalizável que se adapta de forma eficiente às consecutivas mudanças de gosto, opiniões, valores e ritmos de vida, durante o ciclo de vida do edifício habitacional de carácter modular.

No âmbito da necessidade de otimização da residência, procura-se através da metodologia explorada nesta dissertação, elevar os parâmetros de qualidade das habitações, possibilitando a racionalização desde a fase de produção até à edificação final das habitações. Moldando um sistema de construção personalizável de carácter progressivo que possibilita que cada secção/componente seja previamente fabricada de forma independente e de acordo com o gosto pessoal e especificação de cada cliente. Simultaneamente espera-se um aumento do nível de industrialização no setor construtivo, com todas as vantagens inerentes, mantendo um nível aceitável de liberdade de conceção do ponto de vista arquitetónico. Independentemente do cliente, da localização e de outras necessidades construtivas ou de enquadramento, este sistema deve ser compreendido enquanto um projeto teórico que através da utilização de elementos modulares separados permite a construção de habitações de carácter modular, quase

completamente personalizáveis. Ainda que a modularização e pré-fabricação na Arquitetura sejam frequentemente relacionadas com a monotonia, repetição e rigidez, a modularização, sistematização e pré-fabricação, mecanizam uma alternativa à vulgar construção convencional, com características inalteráveis ao longo da sua vida útil. Possibilitando uma habitação de interesse social onde se torna evidente o papel social da Arquitetura e do Arquiteto, quebrando conceitos e estereótipos relacionados à produção industrializada e em massa. Desta forma, o objetivo prático, dentro do caráter misto desta dissertação, traduz-se numa tentativa de desenvolvimento de uma proposta de um sistema modular habitacional, pré-fabricado, que pretende solucionar de forma automática todos os desafios impostos pela natureza de um projeto semelhante, tais como: a flexibilidade espacial, possibilidade inerente de expansão, adequação do edifício ao modo de vida do utilizador, integração com o local e necessidade de resposta a diferentes exigências comunitárias e territoriais. O ato de projetar transfigura-se, desta forma, drasticamente, tornando-se mais complexo em relação à prática convencional, mas também mais exato e homogêneo e, paradoxalmente, menos severo e intransigente, adaptando-se de melhor modo às adversidades da vida.

1.2. Metodologia

A metodologia que permitiu conformar o presente trabalho teve como momento de partida uma procura e seleção de informação por forma a encontrar respostas às questões que foram inicialmente colocadas, como os motivos, a pertinência e relevância do tema, a forma como este pretende responder às diversas questões que o próprio suscita, assim como as vantagens e benefícios que o mesmo pretende acrescentar à Arquitetura.

Comprovado o interesse e utilidade do tópico no âmbito do campo Arquitetónico, procedeu-se ao tratamento de informação para contextualização e justificação da abordagem ao tema. Todo o texto foi obra do próprio, resultado da compreensão dos acontecimentos e conhecimento empírico acumulado ao longo da leitura de diversas obras relacionadas e textos representativos dos temas e do estudo e pesquisa de soluções que pretendem dar resposta aos objetivos definidos.

A metodologia desenvolvida seguiu o fluxograma apresentado:



Durante a primeira fase metodológica, procurou-se clarificar e compreender algumas das definições, conceitos, características, pontos fortes e fracos, diretamente relacionadas a este.

O estudo destes temas fundamentou-se numa pesquisa teórica que enquadra e contextualiza os mesmos. A sustentação teórica de todo o desenvolvimento produzido, passou por uma criteriosa e exaustiva recolha de elementos que permitiram inicialmente a estruturação do estado da arte e enquadramento histórico e teórico. Sinteticamente, esta consulta, resumiu-se à leitura de um conjunto alargado de livros, artigos, dissertações, catálogos, *flyers*, bem como pesquisa de campo sobre projetos semelhantes. Toda a pesquisa explorada, ainda que não relacionada diretamente com a temática foi classificada como de valor acrescido à investigação e contextualizada sempre que possível.

Quanto à documentação, esta foi obtida através do acesso a variadas fontes, designadamente: livros, bibliotecas, livrarias, feiras e exposições, portais governamentais e de instituições e pesquisa on-line.

Durante todos os processos procuraram-se, também, exemplos arquitetónicos que ilustrassem o escrito. Desta forma, são analisados, no terceiro capítulo, um conjunto de projetos exímios, de Arquitetura, que devido ao seu tema, características ou outros fatores se demonstraram relevantes para o desenvolvimento do projeto, isto é, cujo impacto na temática seja digno de realce.



E, por fim, aplicando e realizando, com o auxílio ativo de toda a documentação e informação reunida e processada, procedeu-se à implementação dos resultados obtidos, de modo a avaliar a exequibilidade e possível efetividade das soluções propostas. A dissertação termina com a seção experimental, onde é elaborado um sistema piloto, de habitação unifamiliar modular pré-fabricada, na fase conclusiva de toda a dissertação. Esta etapa foi alvo de uma reflexão cuidada, cujos resultados mais viáveis foram transpostos para a proposta descrita.

1.3. Organização do trabalho

A estrutura da presente dissertação, encontra-se dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo, argumenta-se uma pequena introdução e uma pequena apresentação de forma a contextualizar e justificar o tema selecionado. Objetivando um conhecimento fundamental para a compreensão do projeto e do problema no decorrer da investigação. Posteriormente, o capítulo é delineado por outros três momentos importantes: A definição do objeto de estudo, o conhecimento do estado da Arte e o enquadramento histórico e teórico do objeto. Neste sentido, esclarece-se uma pequena definição sobre o objeto de estudo, uma contextualização sobre o mesmo e em seguida confrontam-se, ao longo do estado da arte, conceitos proclamados, projetos concretizados na sua edificação e outros, eventualmente, nunca realizados. Em seguida procede-se à elaboração de um enquadramento histórico e teórico com o intuito de compreender as metodologias, motivos e soluções aplicadas pelos anteriores movimentos que, de alguma forma, influenciaram as gerações sucessoras.

No segundo capítulo, dada a diversidade de conceitos análogos que envolvem o tema, começou-se por identificar, dissecar e desenvolver cada um destes segundo uma análise fundamentada por autores de referência como: Le Corbusier, Walter Gropius, Rem Koolhaas, Renzo Piano, Herman Hertzberger, Ludwig Mies van der Rohe entre outros.

O terceiro capítulo explora “casos de estudo” que de forma qualitativa, reúne e representa o funcionamento prático de alguns projetos de características semelhantes ou com interesse prático. Com a intenção de conhecer, não só a dimensão teórica, implícita ou explícita em cada projeto, mas também, a trama que envolve a ação do Arquiteto no projeto. Analisam-se alguns dos casos de estudo no foco das soluções arquitetónicas investigadas, de modo a perceber como estas são relevantes.

O quarto capítulo, tem como objetivo testar o resultado de todo o trabalho de aquisição de conhecimentos realizado no âmbito da presente dissertação e constitui a abordagem ao modulo e respetivo sistema.

No quinto e último capítulo, apresenta-se a conclusão, seguida da bibliografia e anexos, respetivamente.

1.4. Definição do objeto de estudo

Desde a gênese da humanidade que a Arquitetura e construção de habitações e edifícios envolvem o recurso a sistemas construtivos predefinidos, como o tijolo. Inicialmente, consequência do conhecimento empírico e atualmente, proveniente também de conhecimento científico.

Tijolos, automóveis e até mesmo Legos® são analogias comuns relacionadas à construção modular, visto que de forma semelhante, todos podem ser configurados de várias formas diferentes, tendo por base a repetição de um objeto. À semelhança, o módulo dos ancestrais consoante a cultura, que se refere à forma arquitetônica repetida e estandardizada era tipicamente um módulo “forma”, enquanto por exemplo o *modulor* de Le Corbusier, consiste num sistema de proporções. Posto isto, é oportuno frisar que a modularização é frequentemente equiparada a um instrumento de normalização de elementos, quer seja pela sua forma ou proporções. No caso da coordenação modular, a norma caracteriza como um método que permite associar as medidas propostas com as medidas modulares, através de um sistema de referência espacial.¹ Desta forma, para melhor se estabelecer a definição correta e apropriada do objeto de estudo e perceber o seu sentido, a etimologia e significado dos conceitos e das palavras revelaram-se importantes no entendimento da sua aplicação ao longo da presente dissertação. A palavra "módulo", que na matemática define dois objetos matemáticos distintos que podem ser considerados equivalentes, tem origem no latim "*modulu*" e para o presente trabalho, refere-se à medida reguladora das proporções de uma obra arquitetônica². Já o termo “modular”, de acordo com Tom Hardiman, diretor executivo do Instituto de Construção Modular (MBI), não representa um produto, mas um processo de construção ou um sistema modular.³

Para o presente caso, por modulação devem compreender-se o estabelecimento de medidas padrões de componentes, ou padrões de espaços, que segundo regras básicas podem repetir ou admitir outras variantes destas mesmas, sendo estas, por sua vez integradas numa estrutura global, uma malha modular ou outra convenção, que permita a coordenação de todas as informações e elementos do projeto.

Para a presente dissertação, importam não só estas definições, como também a procura pela definição de Casa, caracterizada como um bem necessário à nossa sociedade. Uma vez que o sistema a ser desenvolvido objetiva a sua aplicação no setor da habitação unifamiliar. Nesta

¹ NISSEN, 1976

² GREVEN e BALDAUF - INTRODUÇÃO À COORDENAÇÃO MODULAR DA CONSTRUÇÃO NO BRASIL: Uma abordagem atualizada.

³ MBI 2019 Report by Tom Hardiman.

perspetiva, foi indispensável a consulta de dicionários gerais de Língua Portuguesa⁴ e de Arquitetura⁵, que visam a clarificação do objeto de estudo a partir de um conjunto de definições de Habitação e outras palavras do seu grupo lexical.

Tendo em conta todas as significações de habitação e suas variantes lexicais, é possível delimitar o objeto de estudo, optando pelas definições que mais interessam ao presente trabalho.

Definição corrente:

- Lar – s.m. (do latim *lar*). Local onde mora uma família; casa.
- Residência – s.f. (do latim *residentia*). Lugar onde se mora habitualmente; domicílio; morada.
- Casa – s.f. (do latim *casa*). Nome genérico de todas as construções destinadas a habitação; moradia, vivenda.
- Habitação – s.f. (do latim *habitatio*). Casa, lugar de residência; moradia, residência, vivenda.

Do resultado de definições mencionadas retém-se que a Habitação, nos seus múltiplos sinónimos é o domicilio ou local de residência, onde mora o indivíduo. Esta característica é relevante pois compreende a casa⁶ como um lugar fixo, onde o ato de morar é contínuo.

Este contexto encontra-se diretamente relacionado ao conceito de privacidade, da habitação enquanto local privado, onde se desenrola a vida privada e íntima dos seus moradores, na qual a habitação tem, também, significados simbólicos, que por sua vez, influenciam a visão que se tem dela, da sua idealização e utilização. A memória desenvolve também uma função importante na relação do utilizador com a casa, não apenas através das recordações sensoriais que se procuram recriar, mas também sob a conduta da apropriação dos espaços.

Muitas vezes relacionamos a casa com determinados sentimentos, vivências ou pessoas e não exclusivamente ao local onde esta se encontra. Expressões metafóricas como “*Home is where the heart is*”⁷, além da conotação emocional, evidenciam precisamente isso, percepções e vivências que se experienciaram possivelmente em habitações anteriores.

⁴ Dicionário da Língua Portuguesa, com acordo ortográfico. (<http://www.infopedia.pt>)

⁵ Dicionário Online de Arquitetura e Engenharia Civil. (<https://www.engenhariacivil.com>)

⁶ Ao longo da dissertação, será, casualmente, mencionada a palavra *Casa* pois corresponde, num sentido mais vulgar e banal, à representação física e constante do habitar íntimo, quer no prisma dos Arquitetos quer da pessoa comum.

⁷ Título da música: *Home is where the heart is* - Elvis Presley

Retomando de novo a formulação sobre as definições literais, nesta dissertação, o termo "modular" é usado para se referir a edifícios erguidos a partir de estruturas tridimensionais ou unidades volumétricas compostas a partir de elementos modulares. E o termo "pré-fabricado", para se referir a elementos estruturais e construtivos transportáveis em uma ou mais seções, concebidos de forma antecipada em ambiente industrial controlado.

No decurso desta pesquisa, surgiram diversas variações na condição de definição do conceito "modular" na habitação. Em contrapartida, a expressão "habitação pré-fabricada" é frequentemente utilizada enquanto termo genérico para a descrição de todos os tipos de casas que são parcialmente ou completamente desenvolvidas em fábrica e não no local. Sob essa definição, este projeto de habitação modular é claramente classificado como habitação pré-fabricada.

Uma casa modular pré-fabricada consiste num ou mais módulos tridimensionais produzidos de forma estandardizada e semifinalizados, ou totalmente finalizados, em ambiente fabril. Os módulos são transportados da fábrica até ao local da construção, onde por fim, são unidos às fundações e/ou entre si. No presente caso, as extensões dos acabamentos internos de uma unidade modular podem até incluir a instalação elétrica, canalização, decoração e eletrodomésticos.

1.5. Estado da Arte

Frisando as referências e origens históricas dos princípios da modularização, pré-fabricação e industrialização, não se pretende fazer unicamente uma narração do seu passado, mas observar conjuntamente o paralelismo entre a sua importância enquanto ferramenta Arquitetónica e o progresso das formas alternativas de construção. A importância não está em fazer unicamente um levantamento dos precedentes históricos, mas conjuntamente demonstrar o potencial e a qualidade iminentemente civilizacional do sistema modular aliado à pré-fabricação.

A construção modular e/ou pré-fabricada pode parecer relativamente recente, mas existe há mais de dois séculos. O exemplo preliminar deste tipo de habitação data a 1624, quando a Grã-Bretanha no decorrer de uma missão de colonização a Cape Anne (Massachusetts), desenvolveu típicas habitações tradicionais que se erguiam a partir de peças de construção modulares e pré-fabricadas. Este sistema foi usado desde então, nas colónias britânicas porque precisavam construir de forma rápida, sem trabalhadores qualificados e num mundo novo onde dependiam da disponibilidade de matéria prima desse novo destino. Com este novo e revolucionário método construtivo, os Ingleses, que queriam preservar as suas heranças arquitetónicas nas novas colónias, transportaram via marítima diversos elementos arquitetónicos como janelas, portas e outros componentes de construção modular pré-fabricados.

Na década de 1830, surge um novo e revolucionário sistema estrutural, designado de “*balloon framing*”. Este sistema permitiu que elementos estruturais fossem fabricados fora da obra e posteriormente transportados até ao local de construção pretendido, para uma montagem mais rápida e eficiente.

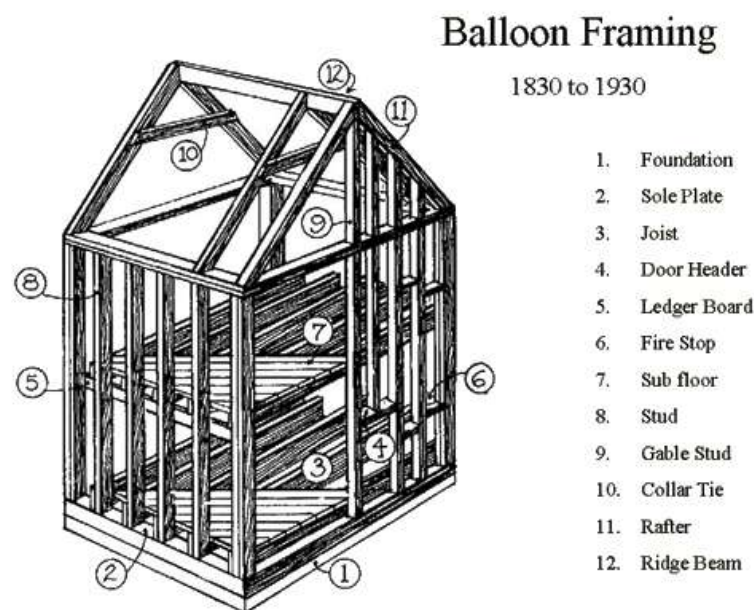


Figura 1 - Sistema estrutural, *balloon framing*;

Desde então que este e outros processos de construção semelhantes, sofreram uma transformação substancial, particularmente desde a década de 1830, até se tornarem numa das principais formas de construção da atualidade. A primeira casa pré-fabricada a ser documentada foi criada pelo carpinteiro John Manning em 1833, *The Manning Portable Colonial Cottage*, foi a primeira casa a ser comercializada em kit de forma completa, projetada e enviada pela Grã-Bretanha num esforço de colonização da Austrália. Este design, otimizado por H. John Manning, a partir das ideias anteriores, oferecia uma considerável facilidade construtiva que associada à leveza dos materiais, fizera deste protótipo pré-fabricado, um sucesso comercial.

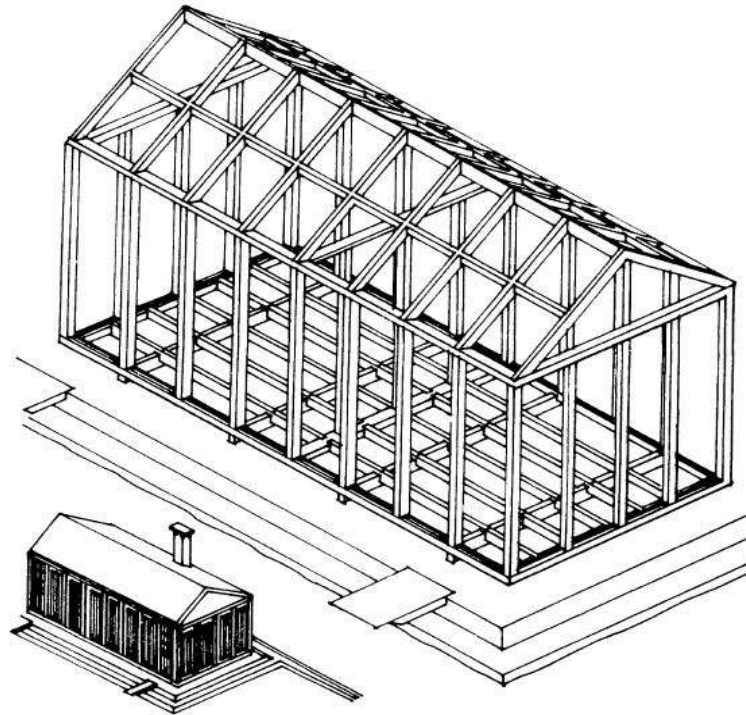


Figura 2 - *The Manning Portable Colonial Cottage* (1833) de H. John Manning;

Em 1851, o *Crystal Palace* foi erguido para a Grande Exposição⁸ de 1851 e até hoje, continua a ser um dos exemplos mais famosos de construção modular. O edifício, projetado por Joseph Paxton, Arquiteto e jardineiro, conquistou diversos avanços na Arquitetura, construção e design. Graças ao seu design simples e engenhoso, o projeto demorou apenas alguns meses a ser construído. A cuidadosa seleção de matérias-primas utilizava materiais leves, baratos e acessíveis, como ferro, madeira e vidro. Todas as peças eram pré-fabricadas e fáceis de montar assim como todas as unidades modulares eram autoportantes, permitindo aos trabalhadores uma certa liberdade na montagem destas. O método de construção transformou-se uma inovação em

⁸ A *Great Exhibition of the Works of Industry of all Nations* de 1851 foi a primeira de uma série de exposições mundiais de cultura e indústria que se tornaram populares no século XIX em *Hyde Park, Londres*.

conteúdo tecnológico e de design, abrindo portas a um design pré-fabricado mais sofisticado do que se conhecia até aquela época.

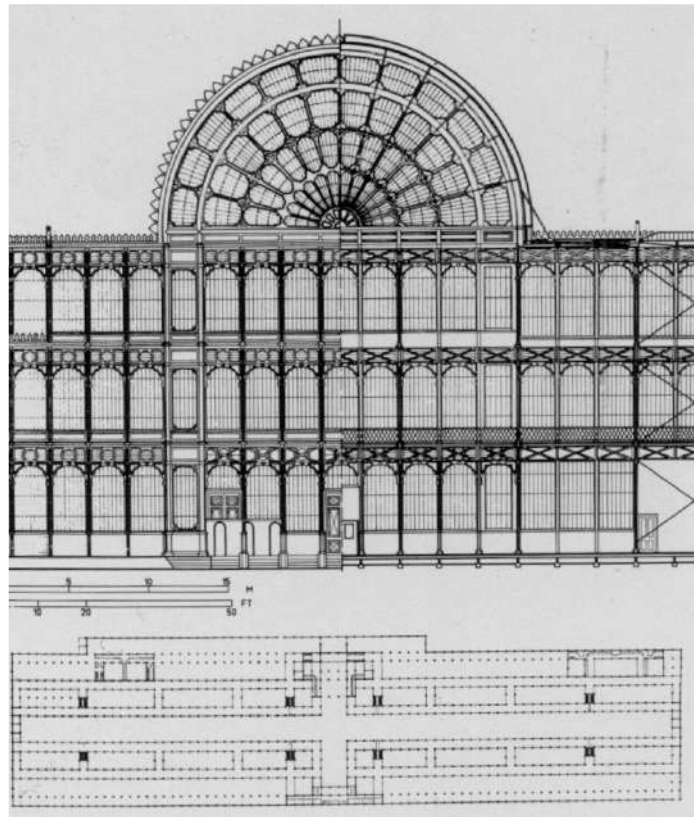


Figura 3 - Alçado e planta do *Crystal Palace*, (1851) *Joseph Paxton*;

No entanto, foi ao longo do século XX — período de tempo privilegiado neste capítulo — que a industrialização se destacou e ganhou forma. Durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), de forma a atender à crescente procura por acomodações em massa destinadas a uso militar e após, como parte do esforço de guerra, manifestou-se uma necessidade de elaboração de sistemas sofisticados de produção de edifícios em massa. A sociedade recorreu à pré-fabricação, levando as atividades de construção que tradicionalmente ocorreriam no local, para uma fábrica. Daí resultaram as *Quonset Huts* ou *Nissen Huts*, em estrutura tubular de aço corrugado que foram introduzidas para uso doméstico, militar e institucional.



Figura 4 – Exemplo das *Quonset Huts* em: *Quonset Point Naval Air Station/US Army, Quonset hut. 1941, USA;*

Após a guerra, quando os soldados começaram a voltar as suas casas, havia uma necessidade de construção rápida de novas habitações capazes de acomodar essas famílias. Então, mais uma vez, a solução passou pela construção modular, que atendeu à necessidade de reduzir custos, sobre a premissa de se construir com rapidez, facilidade e de forma eficiente. Assim, as fábricas que estavam preparadas para a produção de aviões de combate, converteram-se e começaram a produzir casas pré-fabricadas.

Em 1945, a revista *Arts and Architecture* noticiou uma inesperada oportunidade para a investigação e desenvolvimento em contexto de arquitetura doméstica: o programa *Case Study House*⁹⁹. Com o objetivo de direcionar o pensamento sobre a forma e o novo estilo de vida no pós-guerra, promovendo e estimulando a adoção de técnicas e materiais utilizados na guerra, adequando-os ao contexto do novo mundo moderno. Com este objetivo, vários arquitetos de renome foram convidados a projetar habitações no sul da Califórnia, com orçamentos previamente estipulados e específicos, segundo novas restrições de construção, mas sem comprometer os seus estilos e princípios.

⁹⁹ O programa *Case Study House* foi uma experiência arquitetónica residencial nos Estados Unidos patrocinada pela revista *Arts & Architecture*. Esta experiência, encomendou a alguns dos mais prestigiados arquitetos da época, tais como: Richard Neutra, Raphael Soriano, Craig Ellwood, Charles e Ray Eames, Pierre Koenig, Eero Saarinen, A. Quincy Jones, Edward Killingsworth e Ralph Rapson um conjunto de habitações residenciais, de modelo económico, nos USA, como resposta ao fim da Segunda Guerra Mundial e ao retorno de milhões de soldados à sua pátria.



Figura 5 - Crianças ao lado de uma fileira de *Nissen huts* em *Duddingston Camp*, 30 de Janeiro de 1954, *Edinburgh*;

A pré-fabricação na Arquitetura não é novidade e pode argumentar-se que o edifício pré-fabricado, estabelece o início da expansão económica da classe média no Reino Unido, durante a segunda metade do século XIX, onde a habitação pré-fabricada serviu a crescente classe média até aos nossos dias.

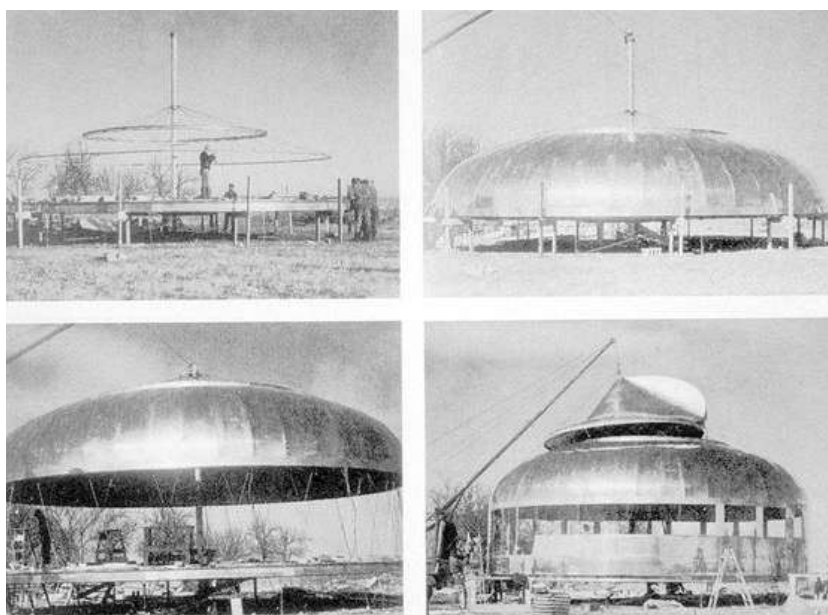


Figura 6 - *Richard Buckminster Fuller*, *Dymaxion House Wichita*. 1945, *USA*;

Na década de 1960, no decorrer da análise cronológica destes temas seria imprudente ignorar, no contexto da modularização e/ou pré-fabricação, o contributo de outros autores que apesar dos objetos de entusiasmo poderem ser distintos, também estes partilhavam uma ideia comum sobre a modulação ou pré-fabricação enquanto elemento chave na evolução da Arquitetura. Neste

sentido, a obra *Plug-In City* (1964) dos Archigram¹⁰ propõe uma nova e fascinante abordagem ao urbanismo, revertendo o pensamento tradicional do papel da infraestrutura na cidade. Embora nunca construído, o projeto sugere uma cidade hipotética, composta a partir de unidades residenciais modulares que se agregam a uma mega infraestrutura central em constante evolução que incorpora residências, meios de transporte e serviços essenciais. Este projeto e respetivas ideias motivaram vários debates, discussões e uma invulgar controvérsia. A abordagem dos restantes autores e em particular, de Peter Cook¹¹ torna-se fundamental neste sentido alternativo que desafia o formalismo e as tendências suburbanas. Através da articulação de diversos temas sociais e tecnológicos com o papel da Arquitetura enquanto elemento comum, transcendente, neutro e estrutural da sociedade e respetivos cenários urbanos, a aceitação da modularização e pré-fabricação, em momentos sucessivos ou simultâneos, surge como coerência dos discursos arquitetónicos apresentados.

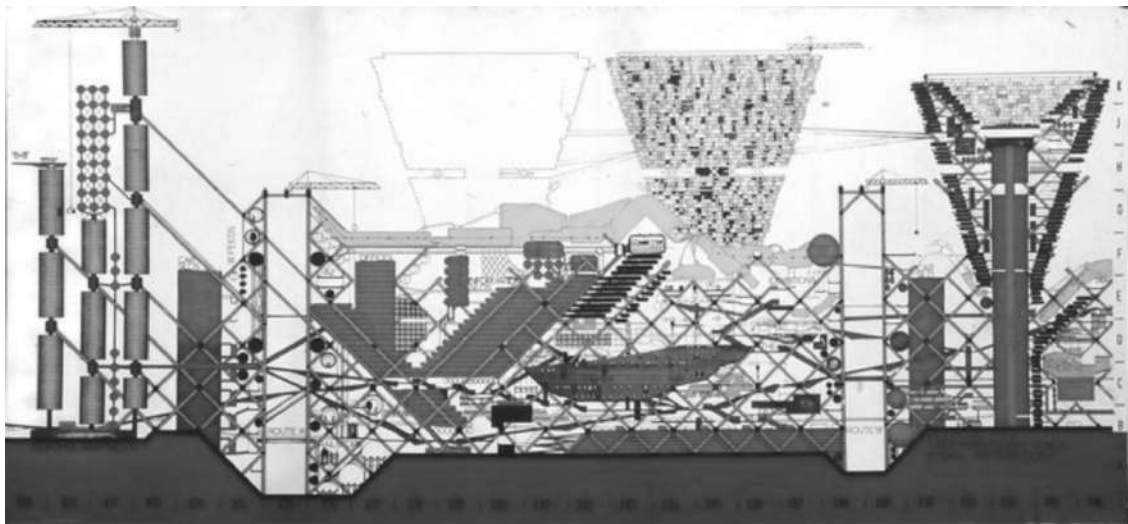


Figura 7 - Sir Peter Cook/Archigram, *Ideal Home House Competition*. 1963;

Na mesma década, o trabalho de Yona Friedman desenvolve uma extraordinária síntese de interpretação que pretende também expandir os princípios da Arquitetura móvel partindo da ideia da composição de um espaço urbano elevado do solo, onde as pessoas podem viver e trabalhar em habitações modulares. E simultaneamente, introduzir uma abordagem metódica que possibilita o crescimento das metrópoles na vertical, sem restringir o uso horizontal espacial da terra. Neste sentido a Arquiteta demonstra o potencial da Arquitetura modular, quando

¹⁰ Grupo de Arquitetura neo-futurista de vanguarda da década de 1960 formado na *Architecture Association* em Londres por seis Arquitetos e designers, *Peter Cook, Warren Chalk, Ron Herron, Dennis Crompton, Michael Webb e David Greene*.

¹¹ Arquiteto, professor e escritor britânico *Peter Cook* (nascido em 22 de outubro de 1936) foi um dos membros fundadores do grupo Archigram.

racionalizada a partir da repetição geométrica, possibilitando a concretização desta ideia, como a cidade do futuro.

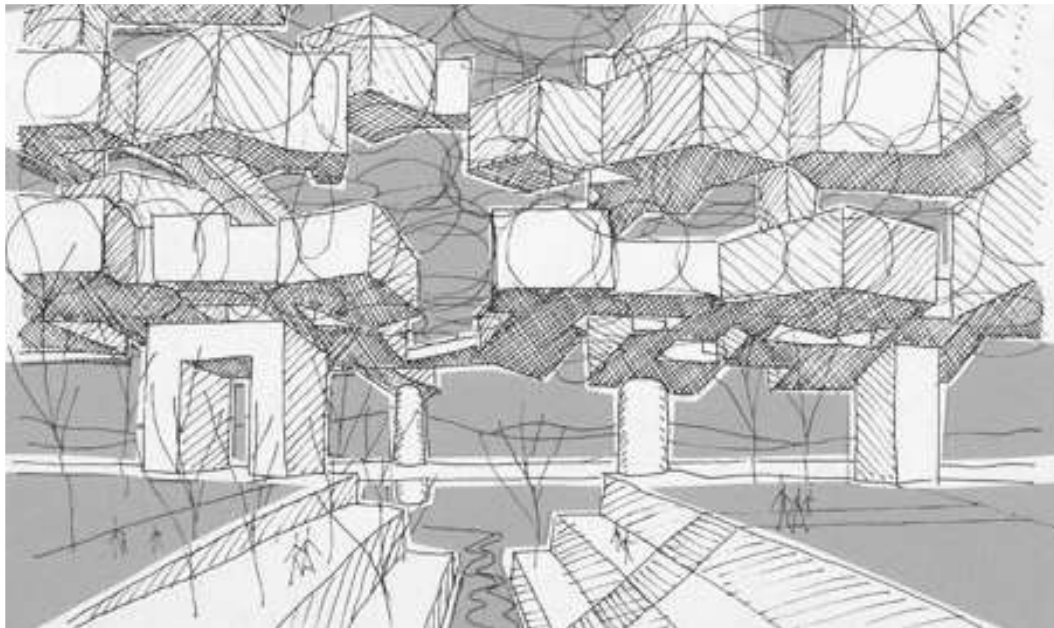


Figura 8 - Yona Friedman, *Ville Spatiale*. 1959-60;

Hoje, a pré-fabricação e a modularização são por norma utilizadas na construção e desenvolvimento das grandes metrópoles em diversas ocasiões, permitindo a racionalização da produção em menor tempo e maior quantidade, assim como edifícios tecnologicamente mais sofisticados, mais complexos e esteticamente mais agradáveis e aliciantes do que nunca.

Na história mais recente da tecnologia no geral, inovações processuais e de produtos foram explorados em quase todas as direções. A sociedade é agora uma nova máquina e desde então que as formas de abordagem passam por várias etapas e inovações tecnológicas, técnicas e projetuais, sempre com o mesmo objetivo orientado à produção industrial, modularização e pesquisa de produtos no campo dos componentes de construção e sistemas tecnológicos.

Na atualidade, numa sociedade onde a velocidade de produção, a rapidez construtiva e a economia de custo se tornam mais valorizadas do que nunca, o poder da unidade modular enquanto elemento transformador, ganha forma e dimensão e capacidade.

1.6. Enquadramento Histórico e Teórico do Tema

Durante anos os Arquitetos analisaram e objetivaram as ideias da modularização e pré-fabricação, considerando-as até como a nova grande novidade e mais recente avanço arquitetónico. Contudo, ao longo da história, pouco se desenvolveu mais que a teoria e ambição sobre o seu desenvolvimento e em vez disso, ocasionalmente foi utilizada para fornecer solução a uma procura ou necessidade específica, como desastres naturais, edifícios pós-guerra ou eventos públicos. Com a situação atual do COVID19, como se tem demonstrado, comprovou-se mais um dos cenários onde a construção pré-fabricada e modular são postas à prova e resultam numa solução eficiente. Com a procura por instalações hospitalares a alcançar um estado crítico em *Wuhan*, na China, em menos de duas semanas, a partir da construção modular, tornou-se possível a edificação de duas unidades Hospitalares. O hospital de *Huoshenshan*, com 1.000 camas, e o Hospital *Leishenshan*, com 1.600 camas.¹²

O autor desta dissertação, acredita que além do mais, esta situação terá um enorme e impactante efeito no setor construtivo e eventualmente, forçará a adaptação da sociedade a soluções mais eficazes e eficientes do que as tipicamente tradicionais. Esta necessidade de novas habitações permanecerá durante e ainda após a crise económica.

Nos últimos anos foram feitos alguns esforços por inovar a habitação, porém sempre ao nível superficial da materialidade ou tecnologia. Muito pouco foi feito no sentido da revolução da habitação enquanto produto do ponto de vista do consumidor.

As nossas habitações estão muitos passos atrás, quando comparadas às características de outros produtos da nossa vida contemporânea. Conceitos como modularidade, flexibilidade, reconfigurabilidade e mobilidade são fundamentos com os quais estamos acostumados a interagir quase que diariamente em todas as direções nas nossas vidas e atividades. A flexibilidade e adaptação tornaram-se palavras-chave nas vidas comuns: os empregos não duram para sempre e as pessoas são frequentemente incitadas a mudar de lar ou deslocarem-se.

¹² Observador, jornal generalista: China encerra um dos hospitais construídos em tempo recorde em *Wuhan*.

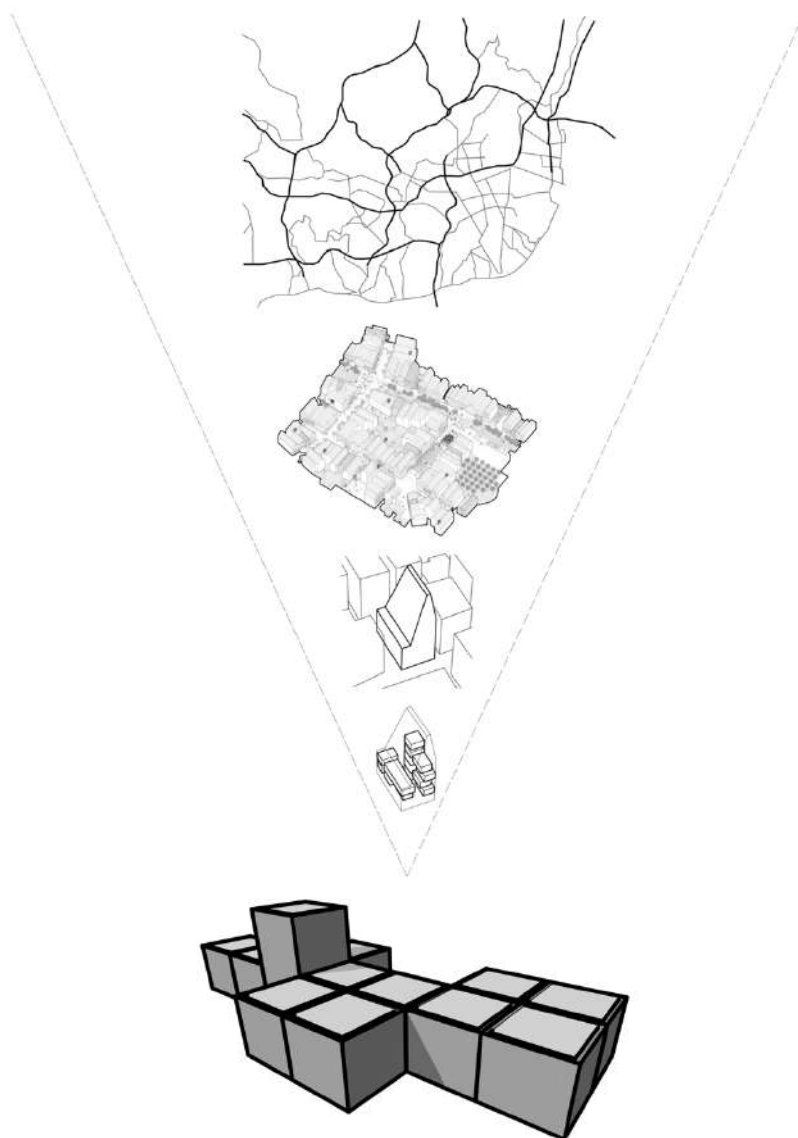


Figura 9 - A habitação modular-dinâmica, enquanto resposta a uma sociedade em constante mudança, partindo da escala global da cidade;

A pertinência deste tema surge enquanto mecanismo que pretende contribuir para o progresso da inovação e crescimento económico que advém da atividade habitacional e deve de ser visto como uma ação que produz desenvolvimento económico, através da produção de bens segundo valores regulados e em tempos comeditos, definidos e racionais.

É nesta perspectiva que se insere a preciosidade deste tema, tomando como ferramenta de trabalho, um instrumento que se centra precisamente na evolução do espaço, organização espacial, funcionalidade, conforto e adaptabilidade do mesmo, ao longo do tempo e consoante as necessidades. Mostrando-se essencial para o habitante contemporâneo e dando origem até a uma nova forma de habitar. Em diversas partes do mundo, o sistema que antes era considerado uma solução fácil e barata para problemas urgentes de moradia, evoluiu aos nossos dias para se tornar sinónimo de um produto de design ambicioso, moderno e de soluções sofisticadas.

1.7. Resumo de Capítulo

O presente capítulo aborda uma introdução ao tema da modularidade e sua pré-fabricação, onde ao longo deste se identificaram os objetivos da dissertação, a metodologia a seguir e a organização que permitiu efetuar e conformar o projeto.

Depois disso, define-se e retrata-se o objeto de estudo a ser explorado e o estado da Arte do mesmo, objetivando demonstrar a forma como o tema têm vindo a ser desenvolvido e debatido ao longo da história. Sintetizando assim a compreensão da evolução e futuras perspectivas de desenvolvimento.

Por fim, aborda-se conjuntamente o enquadramento Histórico e Teórico do tema, que retrata a sua pertinência.

Capítulo 2 – Evolução do conceito de habitação e construção modular e sua possível industrialização

2.1. A evolução dos espaços habitacionais

A habitação é a função mais antiga e comum a todos os períodos históricos. A origem da Arquitetura, na cabana primitiva, que tinha como objetivo primário proteger o humano das intempéries, era simultaneamente o espaço onde este se reunia com a sua família, onde comia e dormia. As habitações modernas que hoje representam a progressão dos abrigos, de forma semelhante à sua forma ascendente, preservam as histórias sobre os seus habitantes, as suas raízes e é nelas que as recordações são fabricadas e retidas todos os dias.

O peso da tradição, as influências culturais, nacionalismos, o culto ao estudo de grandes obras anteriores e até mesmo condições económicas e sociais são alguns dos principais fatores que influenciam a evolução dos espaços habitacionais ao longo de gerações, áreas e culturas. Contudo, as prioridades, vontades e hábitos das famílias que nelas habitam mudam de forma inesperada e muitas das vezes acabando por se refletir na própria habitação de forma inesperada. Alterações ao estilo de vida, às necessidades e à dimensão do agregado familiar durante a vida útil do edifício, assim como o próprio desenvolvimento associado às idades e comportamentos dinâmicos dos seus habitantes durante uma determinada geração, contribuem para uma metamorfose habitacional ao longo dos anos, sem qualquer relação a tradicionalismos e/ou influências, mas por necessidade.

Atualmente, na medida em que a habitação ficou espacialmente empobrecida, particularmente na conjuntura dos mais despromovidos, onde famílias inteiras compartilham a maioria dos espaços, onde a escassez da dimensão torna a flexibilidade espacial numa qualidade tão comum, a relação entre o conforto e satisfação com a sociedade de consumo veio a induzir uma recém-adquirida ideia de liberdade individual. Por outras palavras, a possibilidade da prosperidade pessoal, associada às preocupações estéticas e à vontade de personalizar os espaços, como reflexo da identidade única de cada sujeito, facilita e até mesmo incentiva, a adoção de princípios de flexibilidade espacial na habitação por parte dos mais carenciados. De forma contrastante, nas sociedades onde predominam os mais favorecidos, os modelos domésticos abastados concentram-se em grandes casas burguesas, onde a flexibilidade é um atributo inerente à própria construção, com porções espaciais disponíveis excessivas. Por outras palavras, a flexibilidade é um conceito transversal na sociedade, porém típico e frequentemente associado às habitações mais reduzidas e desfavorecidas onde o espaço disponível é mais comedido.

Ao nível da organização espacial, disposição e ordenamento dos interiores habitacionais, de forma genérica, aos nossos dias a manifestação de novas tecnologias como a televisão, que se tornou o

centro das salas, acaba por moldar a forma como são dispostas as habitações de inúmeras famílias. Questões como estas, desafiam abordagens completamente distintas. Assim, espera-se que cada vez mais exista uma adaptação contextual de cada habitação a cada agregado familiar e a cada cliente. A casa, simultaneamente deve transfigura-se num reflexo do seu habitante e num complemento à sua personalidade, podendo assumir diferentes formas de acordo com o carácter dos seus usuários.

2.1.1. O conceito da habitação evolutiva

Enquanto vertente da disciplina transversal que é a Arquitetura, o conceito de evolução neste assunto é relativamente recente. Numa primeira interpretação, a habitação evolutiva consiste na possibilidade de incorporar alterações nos espaços ao longo do tempo, permitindo ao edifício atender de forma mais adequada às diversas necessidades dos seus utilizadores. É um sistema que permite variações e na sua definição mais abrangente é descrito por diversos autores, à semelhança da flexibilidade, enquanto um conjunto de estratégias que conferem aos edifícios a capacidade de se adequar na sua dimensão, forma e ocupação a uma variedade de fenómenos.

Um exemplo representativo deste tipo de habitação evolutiva é a *La casa evolutiva* desenvolvida por Renzo Piano e Peter Rice em 1978, que introduz o princípio da reapropriação progressiva da habitação pelo morador como forma de atribuir ao mesmo, um papel participativo.



Figura 10 - Renzo Piano, casa evolutiva, *Bastia Umbra*, 1978;

A eficácia deste sistema reside na forma como possibilita ao morador reapropriar-se dos diferentes espaços habitacionais, aumentá-los ou reduzi-los sem que tenha de fazer alterações

significativas ao ambiente ou à estrutura do próprio edifício. Uma enorme panóplia de opções e situações foram previstas e são passíveis a ser utilizadas no dia-a-dia do projeto.

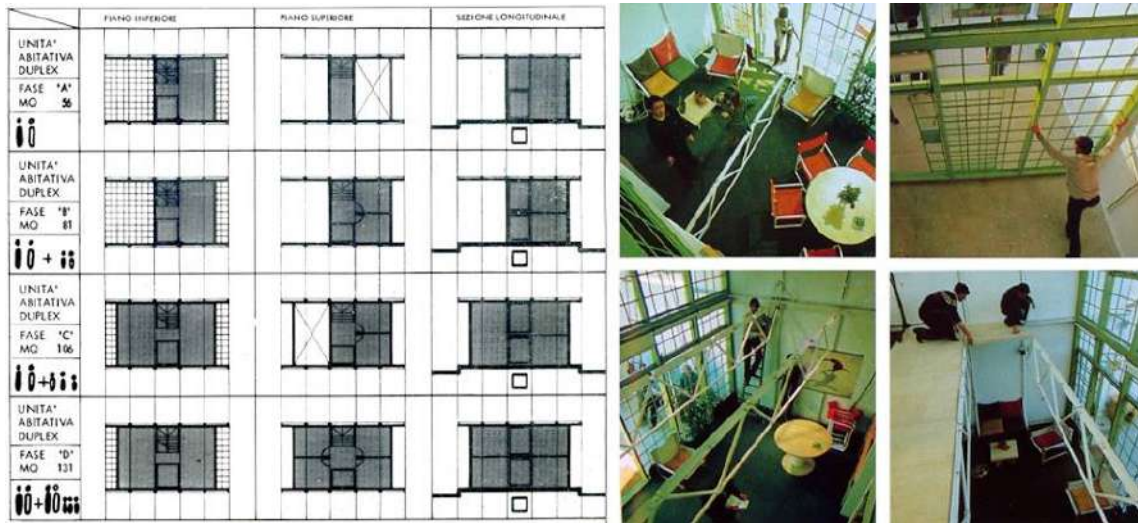


Figura 11 - Renzo Piano, casa evolutiva, *Bastia Umbra*, 1978;

Deste modo, o âmbito teórico da habitação evolutiva, estende-se aos conceitos da flexibilidade, adaptabilidade e polivalência espacial no sentido de reapropriar um espaço ou fazer mais a partir de menos. Partindo deste entendimento, a habitação evolutiva é mais um resultado da flexibilidade na habitação. Enquanto, por um lado a adaptabilidade se refere ao layout dos espaços e às relações que entre eles estabelecem entre si e se são ou não capazes de se adaptar ao longo do tempo aos diversos hábitos dos seus habitantes, a flexibilidade visa resolver aspetos técnicos construtivos, permitindo acomodar novas funções, diretamente relacionadas com as necessidades atuais e futuras dos seus usuários. No caso da modularização, através da coordenação de novos elementos modulares. Assim, a evolução na habitação pode ser alcançada por duas vias: numa primeira instância, através da adição de elementos fixos e imóveis e numa segunda instância através do desenvolvimento de um sistema ou organismo flexível capaz de se modificar ao longo do seu ciclo de vida e capaz de acomodar mudanças físicas, possibilitando diversas formas de apropriação espacial que são previamente estipuladas.

Em suma, a evolução na habitação, é a soma das capacidades mencionadas acima e todas convergem no mesmo objetivo: a capacidade de transformar o espaço e de o temporalizar. Sobre as noções de apropriação e personalização passível a ser completada pela ação de cada um, o espaço deve ir ao encontro da valorização da liberdade individual e das necessidades específicas de cada sujeito, adaptando-se às mudanças da vida humana. Contudo, a flexibilidade na habitação só pode ser implementada com a contribuição de um novo pensamento e conceito de espaço e conceção que implicam a articulação da dimensão humana com a dimensão transitória e efêmera da Arquitetura. E apesar da diversidade funcional que se ambiciona, cada espaço deverá conter na sua essência formal um conjunto de traços característicos, que impeçam a sua

descaracterização ao longo das alterações¹³. O que significa que a casa tem de deixar de ser pensada enquanto objeto finalizado e imutável para passar a ser concebida no decorrer da sua existência, fiel às suas características e personalidade.

¹³ Herman Hertzberger, *Lessons for Students in Architecture* (1991) p.147.

2.1.2. A flexibilidade na habitação

De acordo com Darwin, as espécies animais e vegetais devem de se adaptar ao ambiente onde estas estão inseridas por forma a sobreviverem. O mesmo se pode afirmar no âmbito da habitação. É inevitável que a casa como todos conhecemos, eventualmente se adapte e seja flexível a novos tempos, realidades distintas das existentes ao momento da sua consecução e mudanças sociais. O conceito de flexibilidade foi amplamente explorado no discurso arquitetónico, sobretudo no decorrer do século XX.

Segundo Rem Koolhaas, *“Flexibility is not the exhaustive anticipation of all possible changes. Most changes are unpredictable. (...) Flexibility is the creation of a capacity with a wide margin that enables different and even opposing interpretations and uses”*¹⁴ (Koolhaas, 1995)



Figura 12 - “La Trahison des Images”¹⁵ (1929) de René Magritte. (González, 2008) ;

Numa primeira interpretação, este conceito quando associado à habitação, surge frequentemente na literatura sob diversas designações: flexível, adaptativo, evolutivo, aberto, versátil e na sua definição mais abrangente, é descrito segundo um conjunto de estratégias espaciais e construtivas

¹⁴ KOOLHAS, Rem - S, M, L, XL. 1995, p. 240.

¹⁵ “La Trahison des images” é uma pintura de 1929 do pintor surrealista René Magritte que ilustra a ideologia relativa ao conflito entre o representado e a realidade. Uma interpretação de que o cachimbo na pintura não é um cachimbo, mas uma representação de um cachimbo.

que objetivam proporcionar ao edifício a capacidade de “responder à mudança”. No sentido de adaptar e adequar o edifício, quer na sua dimensão funcional e ocupacional, quer a uma variedade de fenómenos nomeadamente culturais, sociais, económicos e tecnológicos de forma muito semelhante e relacionada com a evolução da habitação.

Objetivando o estudo da flexibilidade e adaptabilidade no âmbito da habitação, enquanto estratégia de design doméstico e citando Groák, “*Here we should distinguish between ‘adaptability’, taken to mean ‘capable of different social uses’, and ‘flexibility’, taken to mean ‘capability of different physical arrangement’. The building’s capacity for accommodating changed uses will depend on the extent to which it is adaptable and/or flexible*”¹⁶.

Partindo deste entendimento, ambos são adequados para uma variedade limitada de usos, enquanto, por um lado a flexibilidade se relaciona ao uso do espaço, a adaptabilidade por sua vez refere-se aos arranjos físicos desse mesmo espaço. A adaptabilidade e a versatilidade são formas algo distintas de visualizar a flexibilidade, no entanto traduzem-se de forma muito semelhante, o edifício adaptável torna-se flexível, versátil, polivalente, multifuncional e permite a possibilidade de alterar o seu uso. O argumento de Groák é apoiado por Gerard Maccreanor, que complementa que a flexibilidade é uma “*ideia projetada que leva ao colapso do layout tradicional*”¹⁷, no sentido de superar as várias dificuldades impostas pela natureza do layout tradicional, derivadas da inflexibilidade. Ao que Arquitetos como Jeremy till, Tatjana Schneider¹⁸ ou Rem Koolhaas¹⁹, consideram a flexibilidade segundo a capacidade de permitir aos usuários uma certa diversidade na maneira de ocupar ou usar sua casa, seja através de mudanças físicas ou mudanças no uso dos seus espaços.

De um modo geral, quando se fala sobre o potencial da habitação flexível, é a diversidade que esta potencializa na organização espacial interna e na forma como possibilita a completa utilização espacial. Quer seja durante a ocupação, ou no após o habitante deve ter sempre de forma constante, a possibilidade de adaptar a sua habitação às suas necessidades. Até certo ponto, a habitação flexível, permite aos seus habitantes personalizar a organização espacial das suas habitações, sem que esta condicione a adaptação da mesma unidade habitacional a outra finalidade ou agregado familiar.

A habitação construída com a conotação de flexível, admite e acomoda a mudança a qualquer altura, flexível, adaptativa ou versátil, em todo o vasto leque de termos, objetiva-se sempre

¹⁶ Groák, (1992), *The Idea of Building: Thought and Action in the Design and Production of Buildings*, p.15-17.

¹⁷ Gerard Maccreanor, 1998, p.40

¹⁸ TILL, Jeremy; SCHNEIDER, Tatjana - *Flexible Housing*. Architectural Press, 2007.

¹⁹ KOOLHAAS, Rem; MAU, Bruce - *S, M, L, XL*. Nova York: Monacelli Press, 1995, p. 240.

descrever a capacidade da habitação de se ajustar às necessidades, quer sociais quer tecnológicas dos seus habitantes.

Como a dupla Jeremy Till e Tatjana Schneider definem ao longo do livro *Flexible Housing*, a flexibilidade na habitação só é alcançada a partir da transformação e modificação de elementos físicos do edifício. A flexibilidade é o progresso da habitação, permite-a perpetuar definitivamente em relação a algo rígido e imutável através da alteração dos espaços existentes. Teóricos como Andrew Rabeneck, David Sheppard e Peter Town defendem que a flexibilidade espacial está vinculada às técnicas construtivas e distribuição dos serviços na habitação. Como explicam em *Housing flexibility*²⁰, este conceito, quando relacionado à habitação, deverá possibilitar ao utilizador a autonomia na personalização do seu próprio espaço. Também Walter Gropius²¹ define a flexibilidade como “...*the architect should conceive buildings not as monuments but as receptacles for the flow of life which they have to serve and ... his conception should be flexible enough to create a background fit to absorb the dynamic features of our modern life.*”

A sua definição do conceito de flexibilidade espacial na habitação, revela-se num organismo que suporta, reforça e fortalece a dinâmica diária da nossa existência, a identificação da flexibilidade na habitação, deve ser entendida como uma propriedade exercida indefinidamente a favor do funcionalismo. Em qualquer habitação é possível alcançar a flexibilidade espacial, com maior ou menor esforço, dependendo se a habitação foi projetada de forma inicial especificamente para isso ou não. No entanto, a busca da flexibilidade geralmente depende das possibilidades oferecidas num contexto limitado por questões espaciais, mecânicas, legais, reguladoras, culturais ou até mesmo comerciais.

²⁰“*Everyone should be able to fit out his home as he wishes, including the right to make mistakes as part of that freedom... Each person ought to be able to express himself as a function of his choice. His home should be personalizable... Each person should be able, in his home, to make a creative act by organizing his space, based on the context within which he finds himself. Even being a co-author brings a measure of satisfaction.*” Conforme citado, Andrew Rabeneck, David Sheppard e Peter Town. “*Housing Flexibility?*”. *Architectural Design*. 43, no.11,1973. 703.

²¹ GROPIUS, Walter - *Eight steps towards a solid architecture*. Reimpresso em Ockman, *Architecture Culture*, 1954, p. 177-180.



Figura 13 - "Seeking comfort in an uncomfortable armchair" Bruno Munari. (Bruno Munari, 1944) –
Analogia à habitação inflexível;

A flexibilidade é há muito tempo um assunto de interesse dos Arquitetos e está ainda intimamente ligada à ideia de liberdade. Em 1923, Charles-Edouard Jeanneret-Gris vulgo Le Corbusier publicou a Arquitetura *Vers une*²², que incluía ideias sobre habitações produzidas em massa e flexíveis baseadas no sistema *Dom-ino* que havia desenvolvido em 1914. O seu sistema *Dom-ino* (fig.13), introduziu o conceito da flexibilidade ao espaço doméstico habitacional. Este sistema, aberto, consiste num módulo estrutural composto apenas por lajes, pilares e caixa de escadas, permitindo uma composição interior e de fachada, totalmente ao critério de cada utilizador. Desta forma, a não definição concreta e precisa dos espaços da habitação revela-se na melhor forma de exercer a flexibilidade espacial. Os espaços amplos possibilitam um inúmero de configurações, conferindo a flexibilidade espacial à habitação, tanto no seu interior como no exterior.

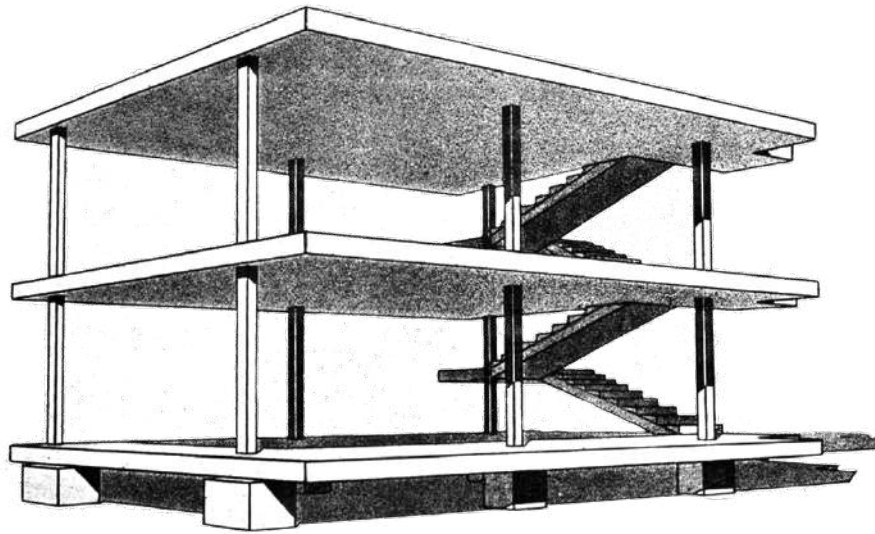


Figura 14 - Estrutura *Dom-ino*, Le Corbusier, 1914;

Entre outros exemplos *Corbusianos* e o seu enorme contributo para a Arquitetura, o que se compreende entre as suas ideias é a ambição por produzir novos e melhores espaços para a vida, para tal, a utilização da flexibilidade espacial torna-se indispensável.

Outro projeto que se revela pertinente, é a *Maison Loucheur* (fig.14), na qual o Arquiteto para além de abordar o tema da flexibilidade na habitação, inicia inclusive a política de industrialização desta. Neste caso particular, o arrojado e inovador método de transformação e apropriação de cada espaço e divisão seria feito através do reposicionamento do mobiliário existente e da utilização de paredes deslizantes e amovíveis. Através destas, o Arquiteto trabalha a dualidade dia/noite, permitindo ao usuário servir-se do mesmo espaço de diferentes formas e para

²² *Vers une*, é uma colecção de ensaios escrita por Le Corbusier que expõe as teorias do Arquiteto em abono da Arquitetura moderna.

diferentes finalidades. A complexa operação de mobiliário articulado e complexos painéis corrediços, moldam o modo de apropriação dos espaços e até mesmo da habitação, abrindo ou enclausurando espaços conforme necessário. Esta percepção única do espaço materializou uma resposta às necessidades físicas de espaço que se podem presenciar em algumas grandes metrópoles nos dias de hoje.

O projeto, nunca edificado, utiliza a singularidade do objeto que de todos nos é mais familiar, a cama, enquanto elemento central e organizador espacial. Durante o dia o espaço poderia tornar-se amplo e desocupado e à noite, quando necessário, uma cama rebatível desdobrava-se sobre o mesmo.

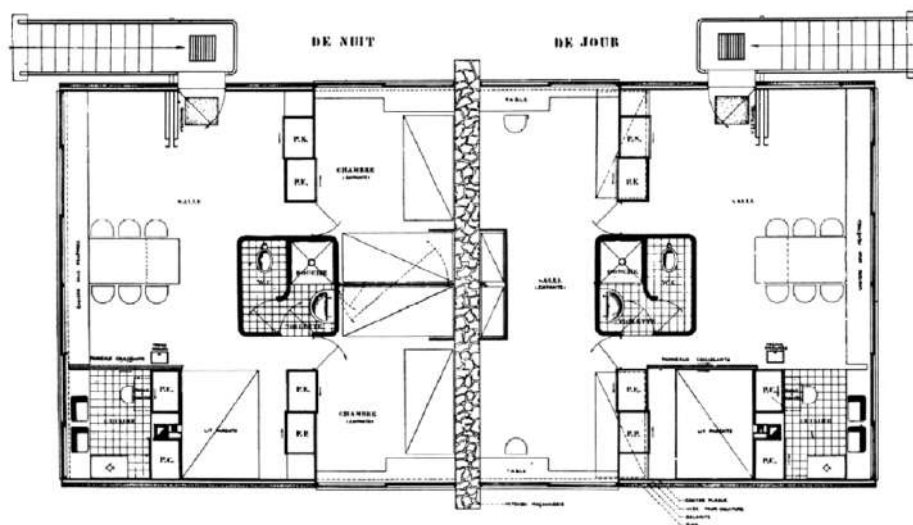


Figura 15 – Planta *Maison Loucheur*, Le Corbusier, 1929 ;

Ainda é interessante realçar, para o efeito desta dissertação, que os elementos da habitação eram combináveis entre si, podiam ser reposicionados e seriam previamente construídos e desenvolvidos em ambiente fabril.

Numa fase posterior a esta análise, pode concluir-se que a flexibilidade espacial na habitação se estabelece essencialmente através da articulação de dois tipos de flexibilidade. Por um lado, de uma forma ativa, através da possibilidade de manipular o revestimento físico da habitação, abrindo ou enclausurando espaços com a deslocação ou extração de painéis, e por outro, através da flexibilidade passiva, alcançada através da isenção de barreiras físicas e polivalência espacial que permitem adaptar cada repartição a funções e usos diversificados ao longo da vida útil da edificação. Desta forma, o enquadramento que melhor define e preserva a qualidade flexível na habitação é a capacidade de alterar o uso e apropriação de um determinado espaço de forma confortável, sem demasiados esforços espaciais e sobre um determinado contexto. Contudo, deve ser levado em conta o facto de que embora certas estratégias teoricamente permitam o total planeamento e personalização constante do espaço habitacional, como é o caso da ausência completa de divisões, podem de forma simultânea, provocar uma inaptidão de controlo, quer ao nível da privacidade, da acústica ou até mesmo de odores.

2.2. Definição do sistema modular

De forma genérica, pode dizer-se que o sistema de coordenação modular promove a racionalização da construção. O módulo, deve ser entendido enquanto parte de um sistema que amplia as possibilidades de construção e integração entre unidades. Este sistema objetiva a racionalização construtiva, aplicando recursos de forma altamente eficiente com vista a um produto de melhor qualidade. Composto por módulos, unidades básicas de medida que estabelecem a coordenação dimensional dos vários componentes construtivos. O termo módulo conclui dois conceitos: o de unidade de medida e regulamento. A capacidade de estabelecer uma medida comum foi sempre um dos maiores impulsionadores no sector da construção ao longo da sua história.

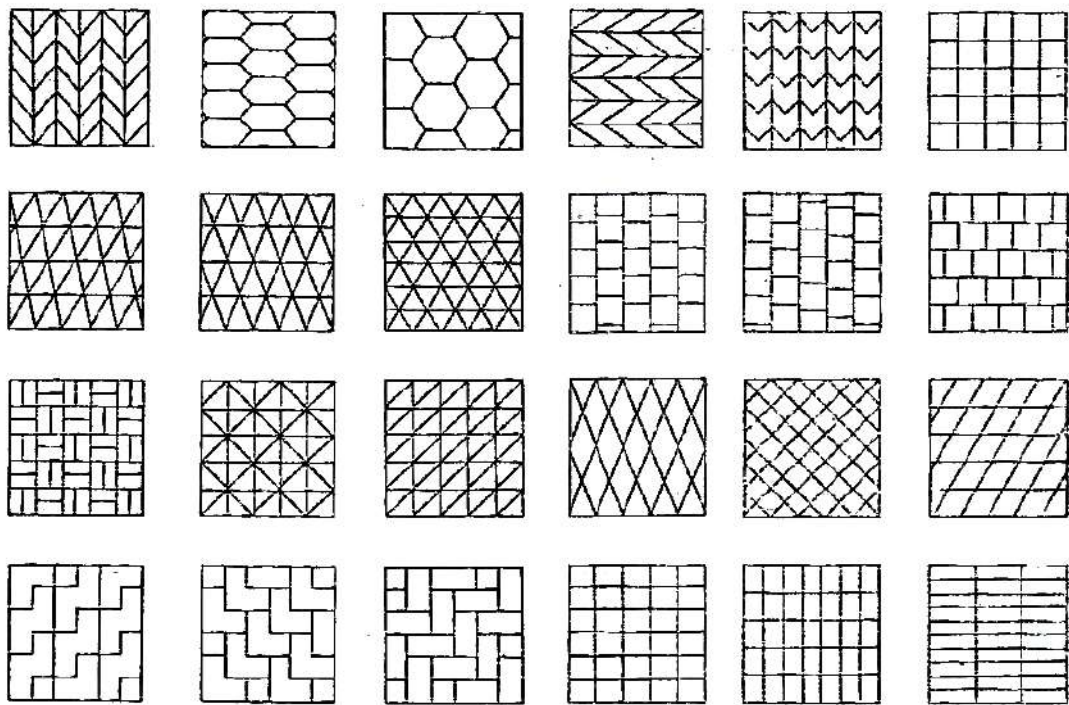


Figura 16 – Sistemas de coordenação modular bidimensionais; Malhas modulares exploradas;

A coordenação modular, enquanto plano de fundo, introduz fundamentalmente uma medida dimensional padrão, que pretende estabelecer relações de escala e proporção entre as diferentes partes e elementos da edificação. O módulo ou a modularização são, portanto, por outras palavras, o denominador comum, ou o método através do qual se arquetam os elementos construtivos e produtos finais, por meio de uma unidade de medida em comum.

Para o correto desenvolvimento e posterior desempenho das operações de coordenação de um sistema modular são necessários alguns conceitos de outros sistemas de referência, tais como:

- Sistema de referência modular, composto por linhas, pontos e planos que apresenta a individualização do corpo Arquitetónico segundo as suas funções essenciais²³. A unidade de 1 módulo, define-se como o denominador comum de todas as medidas ordenadas e o sistema relaciona o módulo enquanto unidade básica de medida e possibilita a coordenação dimensional dos componentes e partes da construção.
- Sistema de medidas modulares, completa o sistema geométrico bidimensional de referência espacial através de treliças fundamentadas no módulo e assegura a permuta de elementos. Este sistema visa normalizar as medidas dos elementos, tendo por base o módulo e respetivas variações inteiras ou fracionadas deste. Este sistema deve ser compreendido como forma de aplicação de um ou mais padrões de dimensão com o objetivo de criar relações de escala e proporção entre as partes da edificação, relacionando todas as dimensões modulares a fim de que a soma ou diferença de duas dimensões modulares sejam também ela modular.
- Sistema de coordenação e malhas modulares, de fator numérico, dimensionável através do módulo-básico ou outro qualquer sub-módulo. Expresso em unidades do sistema de medida adotado ou a razão de uma progressão, possibilita a configuração da habitação modular, segundo um esquema de processo de agregação. Prevê a evolução da tipologia.
- Sistema de tipologias prioritárias, determinadas de forma antecipada, às peculiaridades do sistema modular, de modo a obedecer às normas arquitetónicas presentes no RGEU, RERU e RJUE.
- Sistema de ajustes e tolerabilidades, visa promover a compatibilidade entre elementos e materiais, possibilitando estabelecer com garantia e segurança, o limiar dimensional dos elementos e materiais em função das imposições, condições ou requisitos de combinação durante a montagem da estrutura, de forma orgânica, correta e segura.

O sistema de coordenação modular pretende trazer para o ramo da construção, benefícios de outros sistemas industriais. As soluções da habitação modular pretendem favorecer os princípios da modularidade, relacionamento personalizado com clientes, eficiência energética e sustentabilidade ambiental.

²³ CASTELO (2008)

2.2.1. Vantagens e desvantagens da tipologia

A principal vantagem da construção modular pré-fabricada é a sua versatilidade e facilidade em configurar, reconfigurar e conjugar. O sistema modular, têm a versatilidade de adicionar, retirar ou deslocalizar módulos, aumentando, reduzindo ou alterando a sua forma e dimensão inicial, conforme necessário. Possibilitando de forma simples e fácil uma extensão/adaptação em qualquer fase da vida útil do edifício e prolongando a mesma.

Quando em comparação com a vulgar construção tradicional, a construção de um edifício modular pré-fabricado traz algumas vantagens:

- Controlo e diminuição dos tempos de construção, uma vez que o tempo de fabricação de cada modulo é relativamente curto, quando em comparação com a convencional construção *in loco*, por já estar previamente estandardizado, traduzindo-se num ganho de tempo na montagem e entrega da obra;
- Otimização da produtividade e eficiência construtiva;
- Eficiente programação laboral e redução da congestão e volume laboral;
- Contenção e atenuação do impacto ambiental da construção no meio ambiente devido ao controlo de desperdícios e melhor reaproveitamento de recursos, nomeadamente do ponto de vista racional da construção, que se traduz em menor desperdício de materiais;
- Reciclagem e reutilização de componentes;
- Inexistência de interrupções laborais por motivos de condições atmosféricas adversas;
- Acréscimo do controlo de qualidade construtiva, resultando num produto de excelência;
- Promoção da proteção e segurança no trabalho;

Esta solução construtiva, se aliada à pré-fabricação, onde se separa o local de montagem do local final de edificação revela-se ainda mais vantajosa, permitindo um maior controlo de qualidade e uma capacidade de produção em escala. Em virtude da modularização e pré-fabricação, os ganhos de tempo derivados de uma produção mecanizada e sistematizada que possibilita a produção simultânea de todos os componentes, assim como o trabalho em obra e a melhor gestão da mão-

de-obra necessária permitem também controlar e economizar custos. Além de que os custos finais de cada edifício ou unidade modular requerida pela pré-fabricação não serem mais elevados que a construção tradicional, o custo de mão-de-obra tem-se provado mais baixo, tornando o sistema numa forma de construção naturalmente mais competitiva. É em virtude de sistemas de construção como este, que exemplos como o anteriormente citado hospital em *Wuhan*, no caso de catástrofe, são facilmente executados, possibilitando uma resposta de construção rápida e integral de um edifício totalmente operacional. Devido à modularização, possibilita-se a edificação de estruturas capazes de responder de forma simples, rápida e menos dispendiosa.

O aumento dos custos da mão-de-obra, combinado com um declínio progressivo nos níveis de competência dos trabalhadores²⁴, mesmo nos países mais desenvolvidos, destaca outra das vantagens da construção externa. O aumento de excelência e qualidade construtiva, assim como o aumento da produtividade e da segurança no trabalho, sendo que toda a produção é executada em ambiente controlado e segundo padrões rígidos de qualidade e segurança, ao mesmo tempo que possibilita uma maior industrialização do processo de construção são outros pontos que favorecem esta forma de sistema construtivo.

Ao nível económico, a exatidão dos orçamentos, precisos e sem acréscimos inesperados, pode tornar-se de igual forma vantajosa quando em comparação com a construção tradicional.

Algumas das desvantagens que este sistema construtivo poderá refletir, especificamente ao nível nacional, até ao momento é a impossibilidade de recorrer a um empréstimo-habitação, devido ao facto da banca Portuguesa habitualmente não financiar habitações “pré-fabricadas”, assim como algum tipo de dificuldade no licenciamento deste modelo habitacional, sendo que é um processo mais complexo do que o comum licenciamento de uma construção tradicional. A nível mundial, à semelhança de Portugal, poderão existir algumas burocracias consoante cada país, o que pode dificultar a construção deste tipo de habitações ou o seu licenciamento, assim como a adição ou subtração de módulos.

Por fim, outro ponto que poderá estar relacionado com as desvantagens do sistema é o estigma associado à falta de qualidade de construções modulares no passado, assim como o gosto pessoal de cada um, que de forma integral, terá menos preponderância derivado ao facto de não ser um sistema absolutamente livre.

²⁴ Fonte, EUROSTATS (www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/10089.pdf).

2.2.2. O conceito da habitação e construção modular

A teoria da construção modular é um conceito inerente à própria construção e à composição de qualquer edifício já que a maioria dos componentes utilizados na construção convencional, são elementos construtivos pré-fabricados. Desde a telha ao tijolo, que os diversos componentes da construção como conhecemos sempre foram elementos modulares. Dessa mesma forma, o sistema de construção modular, não é senão uma reprodução a uma maior escala da atual construção estandardizada a partir dos vulgares elementos construtivos, numa outra escala massificada, repetindo de forma industrial cada um desses elementos. A construção modular, neste caso, entende-se como o processo de manufatura definido por meio do uso do sistema modular, da modularização e da pré-fabricação de modo a compor o edifício por meio de componentes volumétricos (estruturas modulares), através da sua pré-fabricação em fábrica.

Enquanto a modularização se refere ao processo de divisão de um edifício completo em volumes menores ou módulos, o sistema modular diz respeito à organização e constituição do edifício.

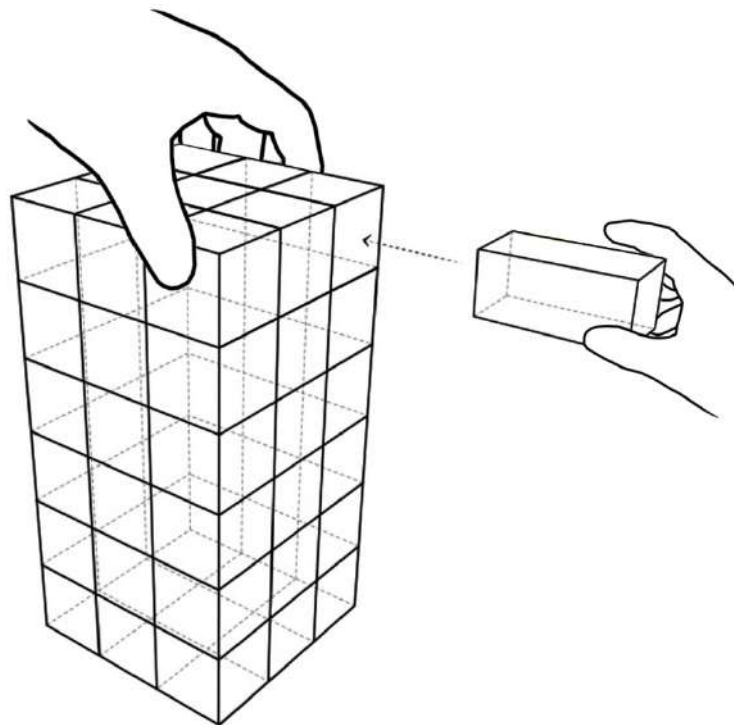


Figura 17 - Conceito de construção modular;

Vulgarmente, estruturas modulares são volumes compostos por unidades modulares que, quando aglomeradas, formam o espaço habitacional fechado. Muitas das vezes, estas unidades são estruturalmente independentes, porém, o edifício só se torna um todo, habitável, após a conexão de todas as unidades e elementos.

Expandindo o processo e aplicando a ideia ao mercado habitacional, a construção modular seria, em teoria, a solução ideal para a construção em ambientes citadinos congestionados, visto que as unidades modulares iriam crescer, de forma previamente programada e esteticamente com a mesma linha de raciocínio. No caso específico dos edifícios habitacionais, o sistema estrutural estandardizado enquanto modelo base de suporte ao trabalho do Arquiteto, possibilita a aglomeração programada e um conjunto de hipóteses bastante variadas, com possibilidades de variação segundo regras relativamente básicas. E simultaneamente, o facto de a casa desenvolvida de modo a ser totalmente desmontável, possibilita ao utilizador a remoção, troca e melhoria de qualquer componente da habitação, que necessite de ser substituído ao longo do seu período de vida, assim como possíveis *upgrades*, adaptações, alterações e aumentos, quando novos módulos são disponibilizados. Adequando o edifício às necessidades do cliente e à sua função consoante necessário. Num cenário de construção convencional, as alterações e adaptações posteriores também são possíveis, porém, para além de exigirem elevados custos de mão-de-obra, longos tempos de construção e um elevado grau de desperdício, estas são altamente limitadas por imposições físicas da estrutura pré-existente.

No contexto habitacional, a modularização introduz, também, a possibilidade de realocar a habitação, abrangendo funções temporárias enquanto parte integrante ou integral de um edifício. Apresentando a mobilidade como uma outra vantagem deste tipo de sistema construtivo. As habitações modulares, estão aptas a serem integradas no local de forma totalmente isolada ou por meio de adaptação a outros projetos existentes.

2.3. Industrialização, prefabricação e estandardização na construção

A industrialização da pré-fabricação na Arquitetura pode ser definida como um método ou sistema de construção no qual os elementos construtivos ou secções parciais de um edifício são pré-fabricados ou pré-montados, de forma massificada. Estes podem variar na sua forma, tamanho e complexidade consoante o projeto, o transporte, acessos e modo de aplicação no local. Todo o processo é realizado em fábrica, num local diferente do local destinado à edificação final de modo a permitir um aumento da qualidade de cada elemento e otimizar o tempo de construção de todo o edifício. No terreno, os vários componentes ou secções são unidos entre si de acordo com o sistema construtivo, dando origem à instalação final.

Dentro da pré-fabricação podem-se definir duas formas de execução de sistemas construtivos:

- **Pré-fabricação parcial:** Um sistema de construção através do qual os elementos construtivos que compõem a construção do edifício são preparados integralmente e produzidos de forma estandardizada em fábrica para serem montados no local por intermédio de equipamentos e colaboradores.
- **Pré-fabricação total:** Um sistema de construção através do qual as unidades projetadas são completamente produzidas, com referência a um projeto minuciosamente desenvolvido, de forma sequencial em fábrica. Por fim, as unidades previamente fabricadas em ambiente controlado são transportadas de forma inteira ou fracionada e montadas no local por intermédio de equipamentos e colaboradores.

No primeiro sistema, a produção tem como objeto elementos construtivos, no segundo, a produção em série tem como objeto unidades residenciais ou secções semifinalizadas destas. A construção pré-fabricada, aliada á industrialização, ampliam o processo construtivo para uma escala massificada, repetindo de forma industrial cada elemento construtivo, unidade modular ou unidade residencial. Estandardizando cada um desses componentes torna-se possível ao cliente final, que dentro do mesmo sistema possa personalizar a gosto próprio a sua habitação, criando para cada cliente uma habitação única e à sua imagem.

Quando comparada com outros setores, o setor da construção carece da competitividade e eficácia que apresentam noutras indústrias, como a automóvel. Ao longo dos últimos séculos, o impulso da revolução industrial estimulou e despertou o crescimento das indústrias até pleno século XXI. Nos nossos dias, a automatização e a modernização de processos de pré-fabrico e pré-montagem atualiza-se quase diariamente.

2.3.1. O conceito da habitação industrializada

“Three things you can depend on in architecture. Every new generation will rediscover the virtues of prefabs. Every new generation will rediscover the idea of stacking people up high. And every new generation will rediscover the virtues of subsidized housing to make cities more affordable. Combine all three —a holy trinity of architectural and social ideals.”

(Hugh Pearman, *A GUIDE TO MODULAR DESIGN AND CONSTRUCTION*, 2010)²⁵

A pré-fabricação é uma das vias da construção industrializada. No ramo da Arquitetura é um misto de pretensão, necessidade e ambições. O indivíduo, que nos seus primórdios, ergueu um abrigo com a função de refúgio, desde então, ambiciona construir em locais remotos, em altura, edificar rapidamente ou construir de forma massificada, em escala e reduzindo custos.

Com o potencial de oferecer melhores condições, melhor preço e melhor qualidade no geral, a industrialização das habitações por meio da adoção dos conceitos de outras indústrias, permite à indústria da construção civil, pela primeira vez em várias décadas, uma significativa alteração à decrépita e quase ancestral técnica construtiva. A Industrialização, que se refere ao processo de aplicação de ciências mecânicas, de forma a reorganizar a sequência de produção de um determinado produto em função de fatores, aproveita a fabricação baseada no ambiente fabril e a montagem a seco para obter uma maior e melhor eficiência estrutural e final.

O argumento que sustenta a teoria da pré-fabricação habitacional é fundamentado ao ser comparado aos restantes processos de industrialização de outros produtos e bens, que se tornam mais acessíveis para a sociedade através do mesmo processo, como acontece hoje em dia com a indústria automóvel, por exemplo. No entanto, a ideia não revela tão linear quanto a simples repetição processual. Partilhando a opinião de Walter Gropius sobre sistemas industrializados: *“For residential buildings, a wrong turn is taken when the manufacturer tries to repeat the same type of house indefinitely.”*²⁶

Pretende-se desta forma, através da industrialização, viabilizar a construção de um sistema que permite a consecução de diferentes tipos de habitações, de acordo com diferentes requisitos familiares, sobre a condição da fabricação das mesmas a partir de componentes padronizados.

²⁵ SMITH, Ryan - PREFAB ARCHITECTURE - A guide to modular design and construction, 2010

²⁶ Ver "U. S. Progress in Preassembly" Progressive Architecture, Outubro, 1964, p. 221.

2.3.2. Características dimensionais e funcionais

Como se comprovou nos capítulos anteriores, o edifício pode ser construído de forma parcial ou total. Ao introduzir a parte dimensional e funcional da modulação pré-fabricada, revelam-se necessárias duas considerações: a primeira, é que o sistema modular e a sua pré-fabricação só fazem sentido se chegarem aos seus destinos e, portanto, é importante que a sua largura, comprimento e altura, quer sejam secções ou elementos, seja determinada em função das dimensões do transporte. A segunda, é que tendo em vista o objetivo de desenvolver um projeto estrutural, abrangente e escalável é, igualmente necessário projetar uma modularização que seja fácil de construir em fábrica e que não se torne a princípio inviável devido às suas dimensões. Isto significa que, para obter uma unidade útil, é necessária uma abordagem muito aberta, considerando e antecipando todos os problemas que envolvem estruturas, Arquitetura e construção assim como pré-fabricação, industrialização e transporte.

A decisão respetiva às medidas e proporções de cada elemento modular ou módulo, deve ter em conta os objetivos primários da proposta de manter e preservar as premissas e princípios de flexibilidade e possibilidade inerente de expansão. O desenvolvimento dimensional e funcional de cada medida modular implica estudar metodicamente várias divisões e subdivisões de formas geométricas, por parte da forma definida e procurar uma configuração geral que conecte não só as partes, mas também o volume em si sobre uma lógica de continuidade e fluidez.

Objetiva-se a apresentação de um método que permita a alteração funcional do espaço, salientando a personalização de acordo com as diversas variações espaciais definidas inicialmente.

2.4. Construção sustentável

Atualmente, a compreensão climática bem como a capacidade de compreender os seus efeitos antropogénicos no planeta, tem vindo a evoluir ao longo dos anos. Edifícios sustentáveis, são atualmente projetados e construído de acordo com elevados padrões ambientais com a finalidade de minimizar as necessidades energéticas, reduzir consumos de água, reduzir os níveis de desperdício, conservar e aprimorar o ambiente natural e salvaguardar o bem-estar humano.

A União-Europeia, junto do Parlamento Europeu e do Conselho a 19 de maio de 2010 lançou uma nova diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios. A Diretiva 2010/31 /UE que veio exigir aos estados-membros:

“a) O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia; e

b) Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.”²⁷.

No entanto, a Agência Internacional de Energia²⁸ alega que o sector de construção civil e edificações, representaram uma parte substancial de cerca de 36% do uso final de energia global e 39% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas a energia e processos em 2018²⁹. Isto deve-se sobretudo ao consumo de combustíveis fósseis associados à produção de materiais e elementos, assim como o aquecimento, arrefecimento e iluminação dos edifícios.

“The historic slowdown in energy efficiency in 2018 – the lowest rate of improvement since the start of the decade – calls for bold action by policy makers and investors.”

(Fatih Birol, Executive Director, IEA)³⁰

²⁷ <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>

²⁸ AIE, <https://www.iea.org/>;

²⁹ “Buildings construction and operations accounted for 36% of global final energy use and 39% of energy-related CO₂ emissions in 2017” - <https://www.iea.org/reports/2018-global-status-report>;

³⁰ AIE, www.iea.org/topics/energy-efficiency;

Apesar de em 2019, no relatório *Energy Efficiency*³¹ a AIE declarar que as habitações residenciais alcançaram consistentemente ou superaram os ganhos de eficiência desde 2014³², constata também que as emissões dos edifícios aumentaram novamente em 2018, possivelmente, resultado de vários fatores, tais como, condições climáticas extremas, uso generalizado de tecnologias menos eficientes, falta de políticas eficazes e investimento insuficiente em edifícios sustentáveis³³. A taxa global de progresso, no geral, comprova-se estar a diminuir e cabe a todos os setores fazerem o melhor por alterar essa tendência que poderá ter grandes, graves e irreversíveis implicações para as comunidades, empresas e meio ambiente.

O desafio não tem precedentes e exige uma transformação radical à forma de projetar e construir, levando em consideração não apenas energia, mas também estética, funcionalidade e economia. Nesse sentido, com o propósito de alcançar um setor de construção eficiente, resiliente e respetivas construções de emissões zero, a nova abordagem deve ser associada à estratégia correta, a fim de evitar o desperdício de recursos. Em primeiro lugar, para reduzir ao máximo a necessidade energética, é fundamental projetar o edifício adequadamente, levando em consideração toda a conjuntura da envolvente, racionalização do uso de materiais com baixo teor de carbono, otimização de sistemas estruturais e cuidadosa seleção de acabamentos. Em segundo lugar, com o objetivo de proporcionar conforto térmico, o edifício deve ser bem isolado, com altos níveis de estanquicidade, ventilação mecânica e fazer uso de estratégias passivas para controle de temperaturas. Finalmente, as necessidades de energia podem ser asseguradas por fontes de energia renováveis de alta eficiência.

A escolha de materiais deve ser feita a partir de materiais naturais ou provenientes de fontes sustentáveis e na resolução do problema, não se pode contribuir para a destruição ambiental, como tal, todas as intervenções propostas têm o dever de ser sustentáveis.

Ao atender e capacitar, eficientemente os edifícios procura-se promover o racionalismo ecológico, minimizar os impactos ambientais negativos e incentivar a inovação em tecnologia sustentável, com recurso a energias renováveis.

³¹ Organizado anualmente, o *Energy Efficiency* é um relatório de eficiência energética de consumos de combustíveis e energias que pretende mitigar as mudanças climáticas, melhorar a segurança energética e aumentar economias.

³² AIE, www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019;

³³ AIE, www.iea.org/reports/tracking-buildings;

2.4.1. A sustentabilidade na escala da habitação

Ao longo dos anos, o nosso planeta sofreu várias alterações, algumas mais perceptíveis como as alterações climáticas, outras nem tanto. Como mediador, o Arquiteto deve, irrefutavelmente, pensar os problemas da atualidade e responder às necessidades, sempre com a preocupação de causar o mínimo de dano ao planeta. O sol, a lua e a natureza fornecem grande parte da energia necessária ao funcionamento normal das habitações e isso enfatiza a imprescindibilidade de tirar partido dessas fontes de energia renováveis e não poluentes.

O movimento *Passive House*³⁴ refere-se precisamente a isso, uma norma voluntária em função da eficiência energética de um edifício, que pretende reduzir a sua pegada ecológica. Sobre um ponto de vista confortável, saudável, energético e sustentável, os custos relacionados com a operação de uma habitação “*Passive House*”, são essencialmente mais reduzidos quando em comparação com um edifício de construção convencional. Devido às necessidades energéticas e de manutenção bastante reduzidas, a *Passive House* garante um desempenho de excelência.

Nas habitações, é cada vez mais frequente o uso de sistemas térmicos, acústicos, de iluminação etc. A ineficiência de fontes pequenas e portáteis de controle ambiental como por exemplo, pequenos aquecedores elétricos, aparelhos de ar condicionado e desumidificadores, demonstram que as habitações muitas das vezes não estão bem preparadas para o local onde se enquadram.

A sustentabilidade em menor escala, passa pelo desenvolvimento de edifícios neutros em carbono, autossuficientes, onde o consumo de energia deverá ser baixo ou nulo e que operam próximos do nível zero de carbono. Para alcançar esses níveis de eficiência, algumas soluções propostas passam, por exemplo, pela colocação de painéis solares nas coberturas das habitações e edifícios residenciais para autoconsumo. Este e outros novos métodos, incluindo construtivos que eliminem a maioria das emissões de gases de efeito estufa associadas aos materiais de construção padrão. Ao substituir materiais convencionais de construção, que contribuem significativamente para a liberação de CO₂ na atmosfera, reduz-se, de igual forma, o impacto total de emissões de dióxido de carbono produzidas até à metade de um edifício semelhante edificado de forma convencional, além dos desperdícios de construção.

³⁴ Ou Passive House Institute, é um padrão de construção eficiente em termos energéticos, confortável e acessível que permite economizar energia relacionada à climatização espacial - <https://passivehouse.com/>;

2.4.2. Materiais e métodos construtivos

A escolha de materiais está de igual forma, diretamente relacionada com os pontos antecessores, do amplo leque de materiais eficientes de construção disponíveis, um exemplo é a madeira e os seus derivados, sempre que proveniente de florestas sustentáveis. Sendo um produto natural e renovável, contribui para uma construção ecológica e de baixo impacto ambiental.



Figura 18 – Madeira lamelada (MLC/CLT);

A utilização da madeira na qualidade de componente estrutural de um determinado edifício ou até mesmo na sua própria construção integral, fez-se durante séculos. Atualmente, a madeira identifica-se como um recurso natural, acessível, leve, renovável e reciclável, uma solução versátil e competitiva com uma durabilidade acima da média e muito rentável a longo prazo. A somar a estas qualidades, é um material naturalmente nobre e belo de reconhecidas propriedades mecânicas e de elevada qualidade e beleza estética natural.

A madeira e em concreto a Madeira *MLC*, ou lamelada, revela-se desta forma num excelente produto, tecnologicamente avançado, composto por lamelas de madeira de espessuras pré-dimensionadas e fortemente ligadas por sobreposição perpendicular às camadas adjacentes com recurso a colas adequadas de grande resistência à face de cada tábuas.

Este derivado da madeira, devido às suas excelentes características mecânicas, baixa condutibilidade térmica, ausência de dilatação térmica e características mecânicas pouco alteradas em função da temperatura, pode reduzir, de forma drástica, a poluição ambiental associada tipicamente à utilização estruturas em betão, cimento, ferro e aço. Também o seu comportamento se revela perfeitamente previsível durante um incêndio, o que reforça mais uma das várias qualidades deste material que consome apenas a energia solar para ser produzido, e um mínimo de energia mecânica na fase de maquinação das peças.



Figura 19 - Madeira Lamelada Colada (MLC);

Outra das suas diversas vantagens é o facto de ser um bom isolante natural, que se traduz num impacto direto nas necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento e que, forçosamente serão reduzidas quando em comparação à construção convencional.

Todos elementos de madeira utilizados, deverão ser provenientes de silvicultura sustentável, de forma a promover a preservação da natureza e de um futuro o mais sustentável possível.

Tudo isto só é conseguido através do uso de materiais naturais, como paredes com estrutura em madeira, isoladas através da aplicação de isolamentos térmicos e conjuntamente com instalação de painéis fotovoltaicos. Pretende-se um aproveitamento solar que permita à habitação reduzir a impressão de carbono, quer durante a sua construção, quer durante a sua vida útil.

Com todo este potencial, este sistema ambiciona ser adotado com a premissa de ser pioneiro no desenvolvimento de novos e inovadores produtos altamente eficientes, assim como técnicas de construção, bem como estabelecer uma regra de boa prática de habitação passiva.

2.5. Resumo de Capítulo

As ideias apresentadas ao longo do capítulo evidenciam o significado de flexibilidade na habitação, numa abordagem leve e descomplicada, bastante útil na compreensão das suas definições. Através da analogia entre os diferentes temas e conceitos, no âmbito teórico da habitação, flexibilidade, industrialização e sustentabilidade tentou-se compreender de que formas estes se podem intercepar ou combinar entre si.

Procurando responder a questões pertinentes como: O que é? Como funciona? Vantagens (e desvantagens)? Como ajuda neste contexto? Como se fará implementar?

Como critério geral, foram examinados alguns aspetos referentes a estes temas tendo em vista a sua compreensão e perceção. Fornecendo critérios claros e ferramentas intelectuais definidas, este capítulo contextualiza e fundamenta, de modo meramente utilitário os principais, ou mais relevantes conceitos, definições e caraterísticas.

Capítulo 3 - Casos de estudo

Neste capítulo serão analisados um conjunto de projetos de referência que devido ao seu tema de vinculação mais idêntica ao assunto foram selecionados de acordo com o critério de prestação de um serviço de habitação com base no modelo da modularização, pré-fabricação, habitação reduzida, medidas mínimas, estrutura em madeira etc.

A partir dessa análise, a pesquisa procura definir tendências recorrentes nas características tipológicas e tecnológicas dos serviços de vivência. O intuito é estruturar uma lista de características básicas que possam ser utilizadas enquanto ferramentas de trabalho na fase experimental a desenvolver no decorrer da dissertação.

3.1. Wikkelhouse

A *Wikkelhouse* foi um projeto desenvolvido pela *Fiction Factory*³⁵ na Holanda em Amsterdão. *Wikkelen*, que em holandês significa embalagem, refere-se a uma habitação de dimensões reduzidas e de simples construção modular. O sistema, é baseado em apenas três tipos diferentes de módulos que podem ser configurados individualmente entre si, no eixo da profundidade, onde através de segmentos de 1,2m são conectados ou desconectados.



Figura 20 – *Wikkelhouse*, molde rotativo;

O interesse na *Wikkelhouse* deve-se ao seu sistema de construção inovador e revolucionário que utiliza o cartão enquanto principal material construtivo. Graças a uma técnica especial de embalagem, através de maquinaria desenvolvida de forma específica para este propósito, um molde rotativo (fig.17) com a dimensão de uma unidade modular, enrola 24 camadas de papelão de alta qualidade³⁶, coladas através de uma cola ecológica, resultando numa robusta estrutura com excelentes propriedades de térmicas.

O acabamento externo é feito em painéis respiráveis, à prova de água e acabamento em madeira, de forma a dar alguma resistência ao mesmo e a proteger o edifício das intempéries.

³⁵ Uma Fábrica de ficção que existe há mais de 30 anos, onde se faz um pouco de tudo o que se possa imaginar, desde mobiliário e stands para exposições a projetos de Arquitetura e design, sobre a única premissa de fazer tudo da forma mais sustentável possível;

³⁶ *Virgin fiber paperboard, Goldboard*;

Todo o ciclo de vida do *Wikkelhouse* é projetado com a sustentabilidade em mente, desde a produção inicial até a reutilização dos módulos e a reciclagem dos componentes. Com um design amigável e acolhedor, acabamentos Premium e excelentes propriedades acústicas e térmicas, a *Wikkelhouse* demonstra ser um projeto que se destaca neste caso, também, por ser produzida em fábrica, de maneira sustentável, com materiais sustentáveis, recicláveis ou com um impacto mínimo no meio ambiente.

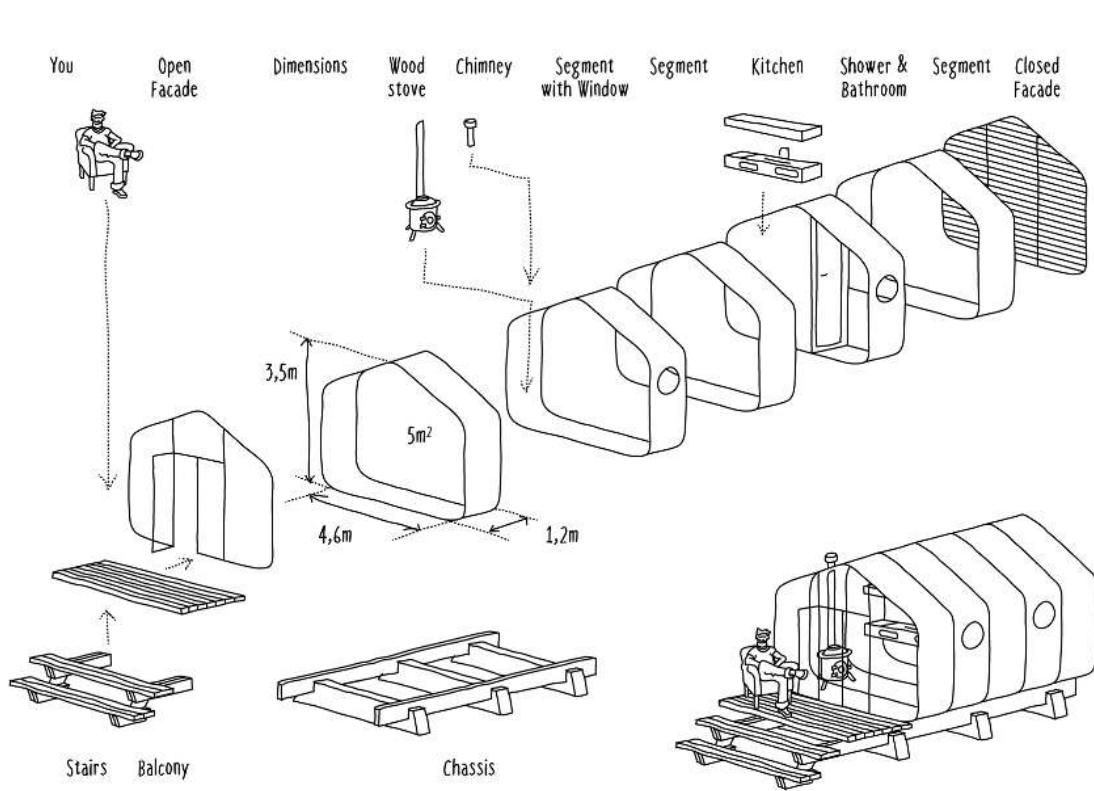


Figura 21 – Wikkelhouse, esquema de conceito;

3.2. GETAWAY/Tiny House

A *Tiny House*, dos *Getaway Architects*, surge nesta lista enquanto um exemplo de medidas mínimas de construção, sobre a premissa de se poder transportar toda a habitação.

Na verdade, não é um projeto modular, nem pré-fabricado, mas surge enquanto resposta ao consumidor na tentativa de desfazer os excessos e desenvolver um estilo de vida mais simplista e modesto. Houve um grande movimento em direção a uma vida mais simples, onde a *Tiny House* pretende servir como uma fuga da tecnologia e das grandes metrópoles, possibilitando ao utilizador que se aproxime da natureza, se assim o desejar e experiencie a própria habitação e convívio com a envolvente.

A ideia dos *Getaway*, uma empresa que projeta pequenas casas personalizadas, situadas tipicamente no coração da natureza, é encontrar o equilíbrio na vida moderna.



Figura 22 – *Getaway House*, interior e exterior;

Estas pequenas habitações, geralmente colocadas em florestas ao arredor das cidades, surgem enquanto referencia, devido ao facto de representarem uma forma de habitação mais humilde e despreziosa. Foram projetadas de forma a ser idênticas às habitações convencionais, com a premissa de serem mais reduzida, passíveis a ser construídas em fábrica, simples de construir e o mais económicas possível.



Figura 23 - Vista interior, *Tiny House Getaway*;

As *Tiny Houses* dos *Getaway*, fazem parte de um movimento crescente por todo o mundo que pretende reduzir o tamanho das habitações, viver uma existência mais simples, combatendo o sobredimensionamento e apelando à construção de edifícios sustentáveis com a finalidade de minimizar os requisitos energéticos e conseqüentemente a poluição dos mesmos.

Como foi referido anteriormente, a sustentabilidade em menor escala, passa pelo desenvolvimento de edifícios neutros em carbono, autossuficientes, onde o consumo de energia deverá ser baixo ou nulo, operando próximos do nível zero de carbono.

A habitação transfigura-se desta forma, numa experiência, que permite escapar da cidade de maneira fácil para se desconectar e recarregar energias num espaço neutro, e em sintonia com a natureza.

3.3. EKOKONCEPT/mini-for-4

Nas proximidades do Lago Bled, na região alpina da Eslovênia, a empresa *Ekokoncept*, especializada em design e produção de casas e pavilhões pré-fabricados em madeira desenvolveu 4 suítes *glamping*³⁷ de forma simples e em perfeita harmonia com a envolvente e a natureza.



Figura 24 - *Ekokoncept mini for-4*, Bled, Slovenia;

Na tentativa de serem o mais sensíveis possível à envolvente, as arquitetas Tomaž Noč e Katarina Arsekić projetaram um objeto arquitetônico, compacto, de habitação com todas as comodidades de um quarto de hotel. As micro-habitações adaptam-se ao terreno existente e criam a sensação desde o seu interior de que o edifício está suspenso, a flutuar sobre a floresta. O seu design, surge a partir da utilização da forma arquitetônica mais tradicional na região, inspirada pelo típico telhado de duas águas e pelas condições climáticas específicas no local.

Este projeto destaca-se através da utilização de fontes de energia renováveis, materiais de construção ecológicos, energeticamente eficientes e oriundos do próprio local. As unidades pré-fabricadas foram totalmente desenvolvidas em fábrica e projetadas com base nos princípios de unidades móveis, com dimensões adequadas ao seu transporte.

Cada unidade é composta por dois volumes, completamente mobiliados e finalizados de fábrica, que são transportados até ao local, onde posteriormente são conectados entre si.

³⁷ Um termo relativamente recente que descreve uma forma de acampamento ao ar livre e envolve comodidades e instalações mais luxuosas do que as associadas ao tradicional acampamento.



Figura 25 - *Ekokoncept mini for-4*, Bled, Slovenia;

Apesar da proximidade entre as unidades, os volumes deslocados e barreiras naturais do local transmitem privacidade entre as mesmas. O edifício, completamente opaco e privado, abre-se apenas e unicamente para o declive da floresta, através de grandes janelas que ampliam a sensação espacial interna e simultaneamente, integram o edifício com a natureza e a envolvente.

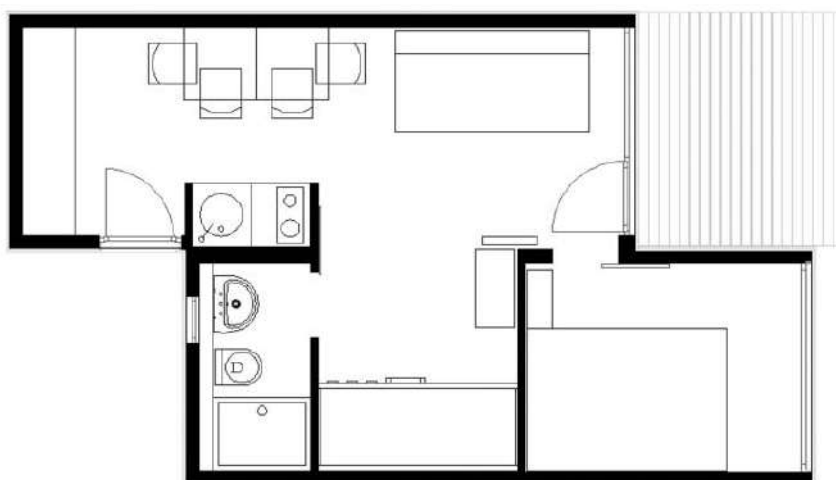


Figura 26 - Mini chalé de montanha, Planta sem escala;

No seu interior, todo o mobiliário presente nos seus 27m² foi projetado e colocado de forma a otimizar o espaço, enquadrando muitos componentes que se deslocam, desdobram e reorganizam, contribuindo para a flexibilidade espacial e para o aproveitamento do espaço de diversas formas.

3.4. CASAGRANDE/Tikku

Casagrande Laboratory é uma empresa multidisciplinar de arquitetura e inovação. Liderada pelo arquiteto Marco Casagrande, a empresa desenvolve frequentemente projetos tendo por base a utilização da madeira CLT.

Com sede em Helsínquia, na Finlândia, a empresa conta até hoje com mais de 72 projetos construídos em mais de 14 países.



Figura 27 – Habitação *Tikku*, para a Helsinki Design Week 2017, em Helsínquia;

O *TIKKU* ou “*The Stick*” é uma micro-habitação com a área de implantação de um lugar de estacionamento. Com as medidas de 2,5m por 5m, este é configurado segundo um sistema modular, composto a partir de madeira lamelada cruzada (CLT) e pode ser erguido durante uma noite em qualquer local no mundo. Literalmente, onde qualquer carro chegue, a habitação *Tikku* pode nascer.

A empresa de Marco Casagrande, com um foco direcionado para a restauração ecológica das grandes metrópoles, pretende combinar o urbanismo tático sustentável com a arquitetura modular à base de CLT.

“Tikku is a safe-house for neo-archaic bio-urbanism, a contemporary cave for a modern urban nomad. It will offer privacy, safety and comfort. All the rest of the functions can be found in the surrounding city.” - Marco Casagrande.

O interesse neste projeto reside em vários pontos chave, como a utilização da madeira que é um dos métodos construtivos mais rápido e conscientes da atualidade. A madeira laminada cruzada ou CLT é uma tecnologia comprovada para arquitetura de pequena ou grande escala que pode ser

até 5 vezes mais leve que o betão armado. Assim como, o facto da inexistência de fundações em todo o edifício. A habitação modular *Tikku* simplesmente fica suspensa sobre a rua.



Figura 28 - Esqueto do projeto Tikku;

Para isso, existe uma caixa de ar, cheia com areia, na base do edifício, que ajuda no equilíbrio do mesmo. Segundo os Arquitetos, o projeto pode ser desenvolvido com 2 espessuras distintas de madeira CLT, de 10cm ou 20cm, que se revelam suficientes mesmo sem nenhum isolamento adicional, para os invernos frios da Finlândia. E pode ser inserido em áreas de risco de inundação e tsunami exigentes, enquanto forma de reconstrução pós-catástrofe e acomodação de populações migrantes. As funções, variações e combinações dos módulos espaciais quase são infinitas como qualquer outro sistema modular e deste sistema podem surgir por exemplo: salas, estufas, escritórios, comércios, cozinhas, saunas, dojos, oficinas, quartos de hotel, quiosques etc.

3.5. SUMMARY/Sistema Gomos

Em Portugal, nos últimos anos, iniciaram-se alguns novos desenvolvimentos no ramo da construção modular. Como exemplo disso, resulta o sistema Gomos dos *Summary*, que consiste num sistema modular feito a partir de betão.

Este projeto intenta apresentar uma resposta precisa e eficaz às novas necessidades contemporâneas de simplificar e acelerar processos construtivos, assim como estandardizar uma forma de construção modular.

A ideia resulta do sistema comum de construção de canos de esgoto, vulgarmente chamadas de manilhas. É um sistema evolutivo, onde módulo sai de completamente finalizado de fábrica e a montagem no local é feita em relativamente poucos dias, sendo para isso necessário apenas juntar todos os módulos.



Figura 29 – Conceito do sistema Gomos, *SUMMARY*;

Segundo os autores, de um ponto de vista técnico, existem alguns importantes fatores que levaram à concretização funcional deste projeto, tais como:

- **Flexibilidade** - O seu desenho caracteriza um sistema flexível e expansível, que pode ser adaptado a diferentes programas para além da habitação, enquanto simultaneamente, permite a expansão da construção através da introdução de novos *Gomos*.
- **Facilidade no transporte** - O módulo foi otimizado para facilitar o transporte, visto que sai de fábrica totalmente finalizado, garantindo que as suas dimensões atendem a toda a legislação aplicável.
- **Eficiência energética** – A maioria das escolhas produzidas no sentido da subdivisão interna, definem simultaneamente corredores que facilitam a ventilação natural. Em

termos térmicos e acústicos, as opções de isolamento e iluminação escolhidas, permitem a obtenção de um grau baixo de consumo energético.

- **Qualidade de construção** – Como noutra qualquer projeto modular pré-fabricado, a produção dos componentes é feita em fábrica, num ambiente controlado, que resulta em soluções previamente testadas, com garantia e que evitam problemas futuros.



Figura 30 - Vale de Cambra, sistema Gomos;

Importa reter, que o mais importante não é apenas o resultado final, de um edifício modular produzido em ambiente fabril, mas principalmente a simplificação e eficiência processual que este tipo de sistemas permite alcançar a todo um processo construtivo.

3.6. MIMA/MIMA House

Um dos projetos com mais destaque no mundo da pré-fabricação e modularização em Portugal, é o *MIMA House*, conduzido por dois Arquitetos portugueses, surge a partir de um modelo base de cerca 36 metros quadrados cujo preço começa nos 43 700 euros e está disponível para habitar no espaço de um mês, depois de iniciado o processo de construção.

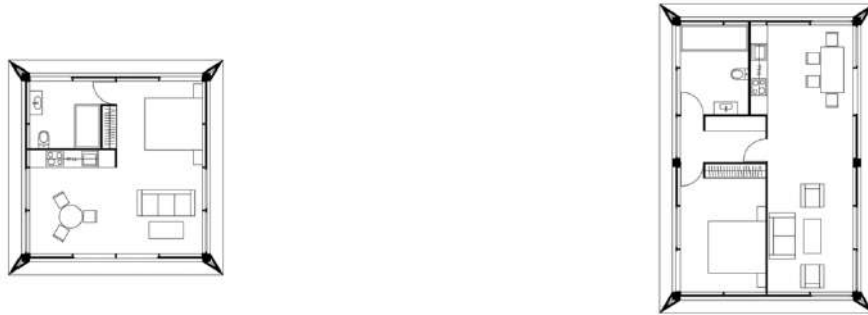


Figura 31 - Plantas da *MIMA House*, 2011;

A partir de um modelo base, composto essencialmente pela estrutura em madeira maciça, os Arquitetos conseguiram implementar um sistema de construção modular que simultaneamente fez despertar a atenção mediática para o seu projeto. Este sistema possibilita uma enorme variedade de aplicações, funções e personalização e revela-se numa habitação de carácter único pela possibilidade de ser reconfigurado por qualquer cliente e ainda assim manter a sua imagem icónica.

O edifício não só desperta a atenção para o tema da modularização, pré-fabricação e sustentabilidade, como também o seu piso e teto internos são divididos numa grelha de 1,5 m com carris integrados, possibilitando ao sistema a manipulação dos espaços interiores através do reposicionamento das paredes internas ao longo dos carris. Como resultado, a habitação responde de uma forma muito engenhosa à necessidade da flexibilidade espacial.



Figura 32 - Interior da *MIMA House*;

O modulo habitacional, de estrutura em madeira maciça pode ser desenhado integralmente pelo cliente, ficando a cargo deste, compreender e articular a distribuição espacial e disposição de todos os elementos internos a seu gosto.

3.7. Ilke HOMES

Com sede na pequena vila de *Flaxby* em *Harrogate*, Inglaterra a *Ilke Homes*, utiliza métodos modernos de construção que fazem desta empresa uma pioneira na construção de habitações modulares e pré-fabricadas hoje em dia.

Resultando da fusão da experiência em fabrico modular da *Algeco*³⁸ e das habilidades de construção residencial no Reino Unido da *Keepmoat Homes*, ambas se juntaram e ergueram forças num contexto mais industrial e direcionado às grandes massas populacionais.



Figura 33 - Sistema *Ilke HOMES*;

Esta habitação modular, pré-fabricada e de baixo impacto ambiental, de todos os exemplos é a mais estandardizada e personalizável. Este sistema construtivo pretende apenas substituir o formato de construção convencional com a ambição de criar em massa habitações modernas, versáteis e espaçosas. De todos os exemplos o mais interessante do ponto de vista Arquitetónico no sentido da introdução de uma ferramenta de arquitetura que á semelhança desta dissertação, pretende introduzir a modularização e estandardização com o propósito de Instrumentos de arquitetura que pretende simplificar os processos construtivos e reduzir custos relacionados.

³⁸ Uma das maiores empresas de referência no mercado das construções modulares em todo o mundo e uma referência incontornável no setor dos edifícios pré-fabricados.

3.8. Resumo de Capítulo

Este capítulo investiga os casos de estudo por meio de uma análise às particularidades de cada projeto que mais interessam ao tema. A análise dos casos de estudo permitiu identificar as qualidades específicas de cada projeto e que diferenciam cada um destes dos demais. Possibilitando desta forma uma recolha de pontos chave e formas distintas de resolução de problemas que advertem destes tipos de objetos arquitetónicos.

Capítulo 4 - Abordagem ao módulo

É consensual o entendimento do passado como uma construção intelectual que confronta o presente através do recurso à história. Neste sentido a Arquitetura é o resultado de práticas determinadas por relações históricas.³⁹ O conhecimento arquitetónico tem implicações vastas, derradeiras e significativas para a composição do projeto, assim, para compor de forma conceptual o sistema modular e a modulação, foram contempladas ideias, princípios, conceitos, teorias e opiniões. Neste sentido, o presente capítulo é dedicado à elaboração do módulo e do seu sistema com o auxílio de toda essa informação prévia de modo a construir uma base sólida de especificidades, condicionantes e regras referentes à forma, volume, escala e aparência do módulo e edifício modular. A solução proposta, não é só um resumo dos capítulos anteriores, é uma solução resultante de todos os pontos essenciais que foram anteriormente desenvolvidos e a pretensão é que com o auxílio de toda a informação reunida e tratada, sejam impostos os fundamentos chave, que solucionam o sistema construtivo modular e levaram à sua conceção.

O sistema proposto apresenta-se como uma ideia inicial para exploração e desenvolvimento não definitivo de soluções de construção modulares e pré-fabricadas.

A proposta prática não anexa um projeto, cliente ou local final, de implantação específico. Neste primeiro contacto serve meramente um propósito exemplificativo e explicativo de todo o sistema e de como pode ser utilizado de diversas formas. Ambiciona-se que o sistema seja suficientemente flexível para atender às diversas necessidades de diferentes famílias bem como às especificidades de diversos terrenos para implantação e à legislação em vigor.

Durante este capítulo, será descrito o sistema construtivo modular, características técnicas, assim como a sua implantação, processo de construção e montagem.

³⁹ PIZZA, Antonio, 2000, *La Construcción del Pasado: Reflexiones sobre Historia, Arte y Arquitectura*, Madrid, Celeste Ediciones.

4.1. Abordagem conceptual criativa

COMPOSIÇÃO CONCEPTUAL

Focando no conceito do trabalho: Habitação modular, pré-fabricação, industrialização e sustentabilidade, na abordagem inicial a esta fase, de modo a alcançar esses fins, foram considerados cuidadosamente todos os diferentes aspectos tecnológicos da fase teórica com vista a definir a modulação enquanto regra de organização e sistematização de medidas, assim como a coordenação modular e mecânica de todos os elementos.

Começando com essa premissa e colocando-a numa forma prática, toda a forma faz parte de um processo. E a melhor medida para o desenvolvimento de uma habitação unifamiliar é a medida de uma família, ou de um sujeito. Ao combinar a ideia com o processo, através do auxílio de métricas, grelhas e outros sistemas tecnologicamente avançados, enquanto ferramentas contemporâneas de trabalho, deu-se forma à estrutura modular adequada baseada na medida humana.

Dai surgiram as diversas opções de formas de modulação distintas a abordar:

- Modulação do ponto de vista do espaço;
- Modulação da construção;
- Modulação da estrutura;

Do ponto de vista da modulação espacial, a lógica é definida a partir da medida tamanho padrão do homem comum definido por Le Corbusier enquanto *Modulor*. Do espaço interior resultante surgiu conseqüentemente o projeto espacial de cada módulo, em área útil que cada volume deverá proporcionar. Utilizando este modelo como ferramenta métrica física, permitiu-se a projeção de um espaço, de forma minuciosa que funciona, acomoda e agrada à medida standard do seu futuro utilizador.

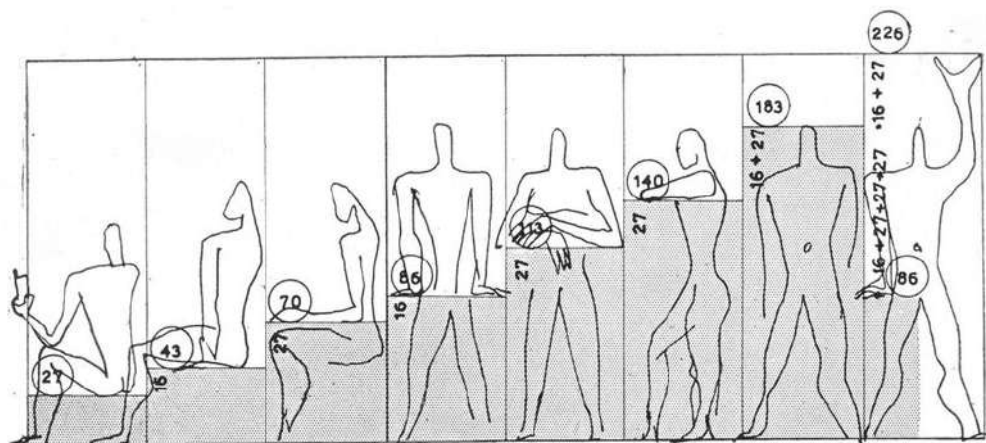


Figura 34 – Modulor de 1955 - 1,829m - de Le Corbusier;

Na proposição de um caminho programático colocou-se a primeira questão: Deverá a modularização do edifício ser composta por divisões inteiras ou elementos modulares? A resposta a esta pergunta retórica, obviamente, será sempre uma construção pessoal, tendo por base a presente circunstância, através da reflexão e projeção sobre o corpo de informação recolhido e estudado ao longo dos capítulos anteriores. Contudo, mediante a premissa do edifício e estrutura progredirem sempre sobre a forma, a composição dimensional será, neste caso, feita através de elementos modulares que ao serem combinados entre si dão forma à estrutura que por sua vez dá figura à habitação.

Por isso, a composição dimensional utiliza uma unidade de medida formada por uma unidade modular como ponto de partida. Estas unidades, quando unidas entre si, dão origem ao edifício modular, permitindo que o mesmo seja totalmente assimilado em obra ou em fábrica.

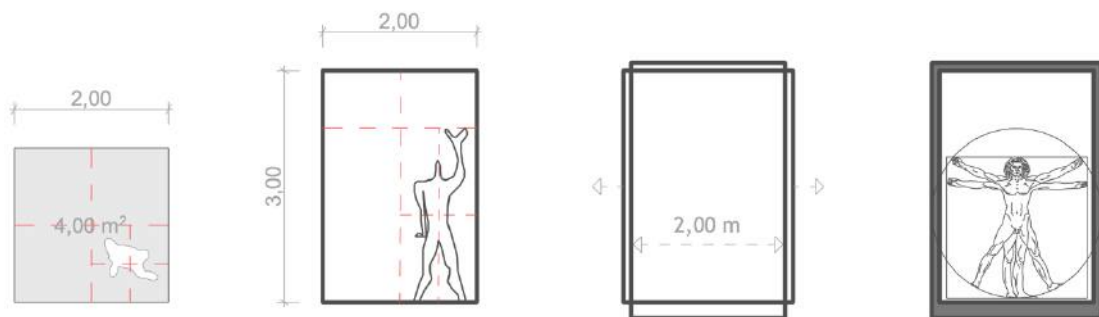


Figura 35 - Esquema conceptual de medidas modulares;

A materialização coerente destas ideias implicou, neste sentido, o desenvolvimento de um sistema simples onde predominaram as formas quadriláteras mais básicas, revelando-se nas mais adequadas devido à sua simetria que promove uma configuração de continuidade fluente, que de forma inerente promove a adaptação sistemática ao próximo elemento modular, possibilitando a construção/remoção de unidades ao longo da vida útil do edifício. Neste sentido, também o quadrado permite a melhor flexibilidade espacial de todas as soluções.

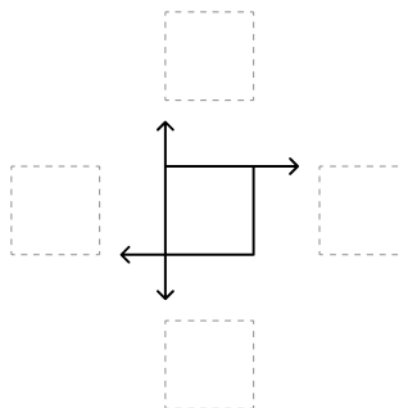


Figura 36 - Modelo de expansão de uma unidade modular para a próxima;

Em primeira instância procurou-se a composição de um espaço-mínimo versátil, que combinasse benefícios de produção em massa com uma possibilidade de design e caráter adaptativo e personalizável. A partir do modelo à escala humana, permitiu-se a definição das dimensões mínimas espaciais que possibilitaram conciliar todos os focos do projeto. Desta forma, cada medida modular, proporciona a dimensão espacial mínima à existência de 4 pessoas de forma simultânea no mesmo espaço.

Em relação à modulação construtiva, esta tem o intuito de servir enquanto Instrumento de arquitetura que pretende simplificar o processo construtivo e reduzir os custos relacionados com este. Diluindo e refletindo sobre os princípios do conceito e da forma programada, estipulou-se um perfeito conhecimento de todas as partes que se revelam essenciais à composição genérica de edificações e algumas das condicionantes que obrigatoriamente condicionariam o desenvolvimento destas neste contexto específico.

Um exemplo disso diz respeito das dimensões máximas de cada elemento ou secção. Dado o teor do projeto, as unidades ou elementos têm de ser transportadas até ao local de implantação e conseqüentemente, a modelação deve ser otimizada de forma a facilitar o transporte. Dessa forma, o sistema deverá ser suficientemente capaz de possibilitar uma articulação entre os espaços modulares e dimensões dos componentes do projeto. Contudo, estas dimensões devem ser simultaneamente adequadas e exíguas, permitindo que o seu transporte seja feito sem recurso a um veículo de transporte excepcional e garantindo simultaneamente um dimensionamento que cumpre toda a legislação aplicável em qualquer situação.

Levando em consideração esta e outras premissas, para o desenvolvimento da estrutura de forma conceptual, demonstrou-se importante que o sistema construtivo fosse livre e simples, à semelhança da malha modular. Assim, desta forma será possível moldá-lo a cada cliente e reduzir ao mínimo as alterações a serem aplicadas aos módulos existentes, no caso de uma ampliação ou redução, na transição de uma dimensão modular para a seguinte.

O princípio fundamental a todas as estruturas modulares e elementos estandardizados é a sua setorização em volumes, vulgo modularização, de modo a que sejam eficientes na sua funcionalidade mas também passíveis a serem construídos em fábrica e transportados até ao local. Partindo desse princípio, a modularização no geral comprovou-se mais simples através de formas geométricas com afinidade geométrica perimetral, como o quadrado ou retângulo. Estas formas geométricas, permitem, de forma *standard*, englobar a maior parte dos elementos, como portas, janelas ou outros elementos técnicos. Além de que em teor estrutural e de precisão, medidas elementares simplificam e reduzem riscos de falhas, imprecisões e imperfeições de produção.

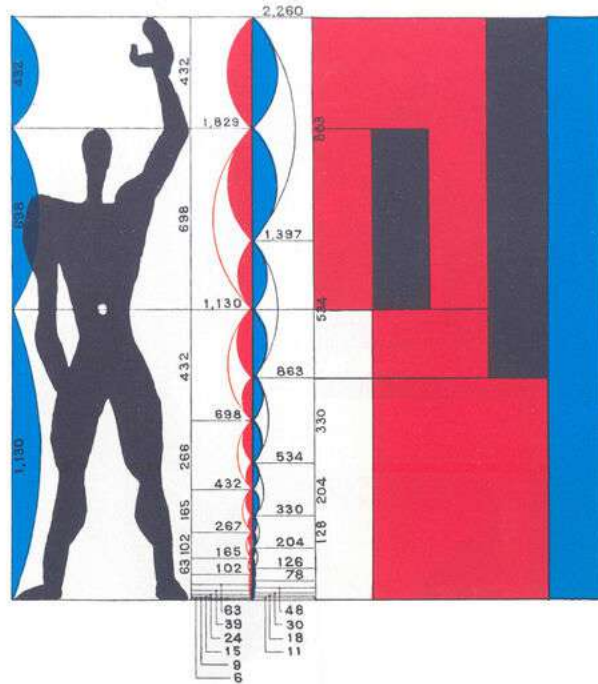


Figura 37 - Modulor de *Le Corbusier* - Medidas baseadas no princípio dos números de *Fibonacci*;

Enquanto plano de modulação construtivo, que realiza a permuta de elementos modulares entre si, o conceito da *balloon framing*, serve neste caso, como base de trabalho a um sistema que pretende tirar partido de novas tecnologias e novos desenvolvimentos no campo da construção, revigorando uma nova solução e tecnologicamente mais avançada.

Relativamente à modulação da estrutura tridimensional, a unidade enquanto objeto acabado, ou semifinalizado serve o propósito de Módulo e todos esses módulos são passíveis a conectarem-se de todas as formas bidimensionais possíveis, entre si.

Partindo das soluções construtivas e espaciais estudadas na investigação de projetos de referência, a proposta visa promover uma lógica de organização e dimensionamento tridimensional que propõe duas intervenções sobre a forma modular inicial, a repetição e o deslocamento. Tais operações introduzem uma secção longitudinal que só se torna possível devido à articulação possível entre módulos, elementos e componentes modulares onde os volumes que se articulam mesmo após serem deslocados e rodopiados.

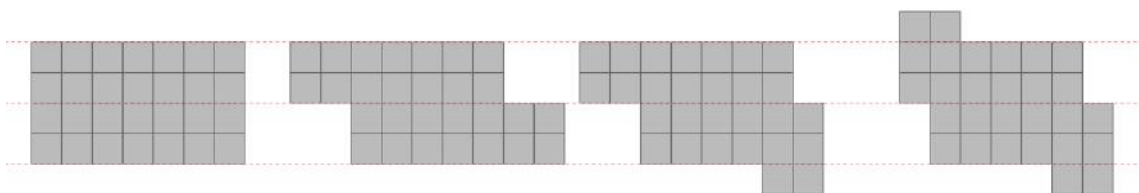


Figura 38 - Processo de multiplicação construtiva do sistema;

A lógica construtiva de desenvolvimento estrutural, começa a partir da estrutura, que se assume enquanto linguagem estética e sintetizada numa trama mestra e sistemática que percorre todo o volume ao mesmo tempo que organiza os espaços habitáveis.

Surge então, por entre os espaços resultantes, as paredes divisórias internas que se erguem através de painéis transportáveis e prontos a serem conectados entre si por uniões, possibilitando a personalização espacial e a flexibilidade/dinâmica interna. Neste sentido, as possibilidades de divisão espacial são quase ilimitadas e definidas unicamente pela própria estrutura modular perimetral e possível trama de vigas e pilares internos.

A habitação traduz-se, desta forma, numa organização volumétrica que procura produzir uma descomplexa trama de espaços e percursos a partir de duas operações fundamentais: a flexibilidade dos espaços indeterminados e um sistema de circulação extremamente variado e descomplicado que possibilita a ampliação futura do espaço habitacional.

Para isso, inicialmente foi desenvolvido um sistema sob medida, neste caso convencional, mas centralizado no utilizador, onde o mesmo pode aumentar ou reduzir as dimensões base da sua habitação consoante futura vontade adicionando ou retirando módulos.

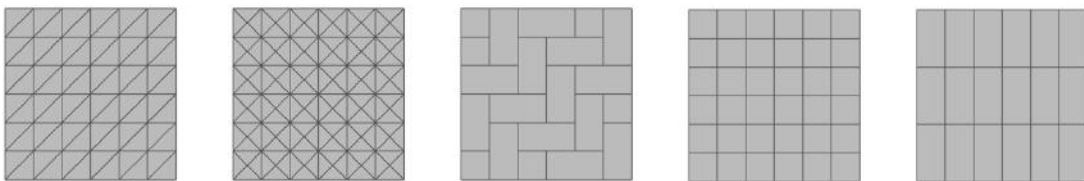


Figura 39 – Fases de desenvolvimento da malha tridimensional;

Tendo por base os hábitos de apropriação aos espaços, a malha bidimensional foi projetada para pode ser compreendida como uma forma ativa e dinâmica, esta solução confere à habitação uma maior flexibilidade de usos através da possibilidade da escolha de um módulo, personalizado ao critério de cada cliente, que aumenta, reduz ou reposiciona a sua superfície habitável, consoante as suas necessidades. Possibilitando que a reinterpretação de um espaço antecedente seja feita de diversas formas, através da deslocação do seu contexto original ou atualização tecnológica.

ABORDAGEM CONTEXTUAL

A abordagem contextual está intimamente relacionada com um fascínio pela casa e pelo quotidiano individual de cada um. Além disso, a busca contínua pela perfeição, simetria e proporção, contribuíram para a prática de um projeto que assenta numa observação e análise dos acontecimentos que marcaram o presente até hoje na nossa comunidade. Contextualmente a ideia originou-se devido à necessidade de colmatar determinadas lacunas que as habitações ainda manifestam nos nossos dias, como a incapacidade de acompanharem a dinâmica diária do seu utilizador e o compromisso ético de fazer corresponder a Arquitectura aos novos paradigmas da sociedade contemporânea. À semelhança de um sistema de moradia em banda onde as habitações

vão sendo erguidas de forma sequencial, consoante existe procura ou necessidade por alojamento, este sistema repete o processo numa escala menor.

Este projeto ambiciona valorizar a inovação, estimular a criatividade formal da habitação enquanto a conhecemos. Isenta da obsessão radical da forma que não convém repetir porque de algum modo pertence ao passado, a unidade de habitação modular remete a uma imagem acolhedora da típica habitação, confortável e funcional.

Respeitando as necessidades do habitar contemporâneo e tentando estabelecer a ponte com a Arquitetura popular Portuguesa, de carácter simplista, ordenada e harmoniosa. Este sistema modular pretende trazer a cada habitante uma possibilidade de apropriação espacial personalizada ao seu gosto e às suas necessidades. A composição lógica de cada sistema de construção modular deverá ser fornecida pelos habitantes. As unidades que exercem a função de espaço, refúgio e abrigo, contemplam a livre agregação ou desanexação mesmo ao longo do tempo e tornam-se num reflexo das atividades espontâneas dos seus habitantes. A habitação ou abrigo, transfigura-se assim num recetor de forças, energias e imagem através da ênfase do edifício, que deve residir na comunicação deste com a envolvente. Ocasionalmente uma relação mais próxima entre a envolvente e o interior e convidando o morador a utilizar o exterior.

Para responder com precisão a todas estas exigências, a construção modular é o culminar de uma justaposição dos dois sistemas construtivos: um primeiro, mais focado na produção e industrialização, composto por meio da robusta superestrutura de módulos-básicos, sobre o qual se dispõe o segundo, valorizando um design inovador e a beleza proveniente da simplicidade geométrica, da uniformidade, igualdade e proporção entre os elementos orientados ao longo de eixos, encontrando a justa correspondência entre a função e a forma e evidenciando a correspondência entre todas as partes. A modularização, com medidas mais longínquas e profundas, desenvolvida através de uma abordagem mais focada na produção, industrialização e transporte do sistema, foi idealizada para se adaptar às exigências físicas e potencializar o desenvolvimento de atividades distintas a partir do mesmo objeto arquitetónico. No final, o conceito da personalização substituiu o standard, prevalecendo a criatividade sobre a conformidade.

4.2. Solução do sistema de construção modular

Através do reconhecimento do valor de todo o conhecimento acumulado durante a composição do presente trabalho, com os programas do edifício em mente, dá-se início ao desenvolvimento conceptual do sistema modular pré-fabricado. Este sistema consiste em três elementos principais:

- **Fundações;**
- **Módulo em laje autoportante e cobertura modular;**
- **Acabamentos e instalações;**

As fundações e a modularização atuam como uma base para a habitação, independentes e se necessário, não invasivas para esta. A habitação modular, por sua vez, é estruturada a partir de painéis internos e externos de acabamentos, cobertura, respetivos elementos divisórios e separatórios internos e instalações.

SISTEMA DE FUNDAÇÕES

A edificação, assenta sobre sapatas simples ou contínuas de betão armado que serão previamente dimensionadas. As mesmas, acabam por facilitar o nivelamento da laje autoportante que por sua vez recebe os restantes elementos modulares.

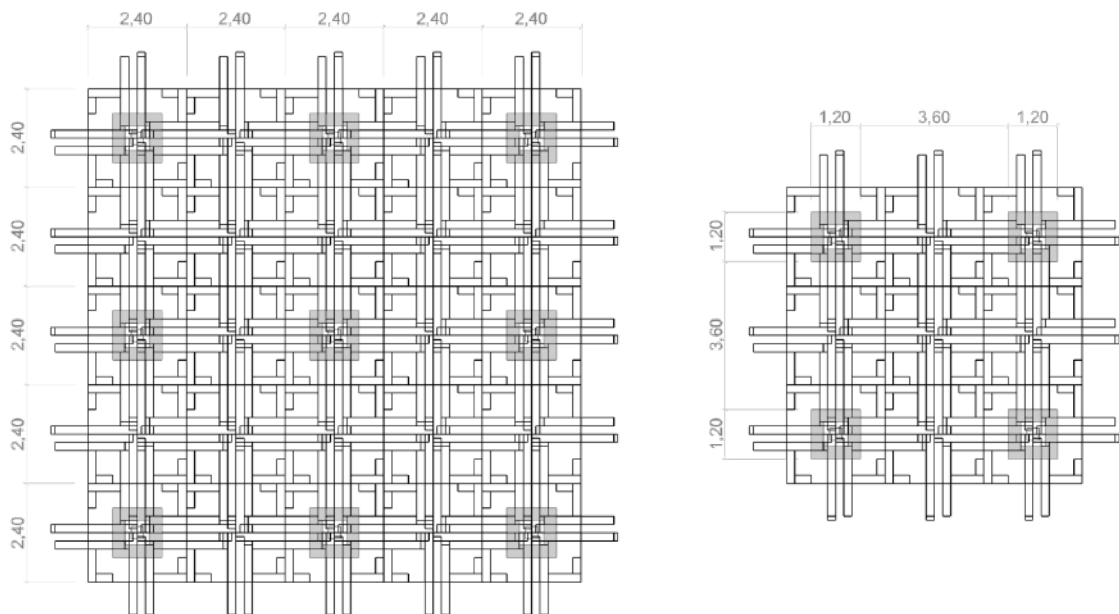


Figura 40 - Posicionamento das sapatas na malha modular;

O sistema de laje, definido com base nas dimensões do módulo-medida, é pensado através de um chassi autoportante que assenta nas sapatas como um estrado. Aliado ao conceito da habitação ventilada de forma natural, este sistema, para além de facilitar o transporte de uma superestrutura capaz de suportar um edifício, contribui para evitar o contacto direto da habitação com o solo. A ilusão da habitação a “flutuar” sobre o piso, remete para o conceito de leveza típico das habitações “*mid century*” das *Case Study Houses*, contribuindo para uma eficiente ventilação natural da estrutura e eliminando a entrada de humidades na habitação por contacto direto com o solo. Conferindo à mesma, também um melhor comportamento em eventual atividade sísmica.

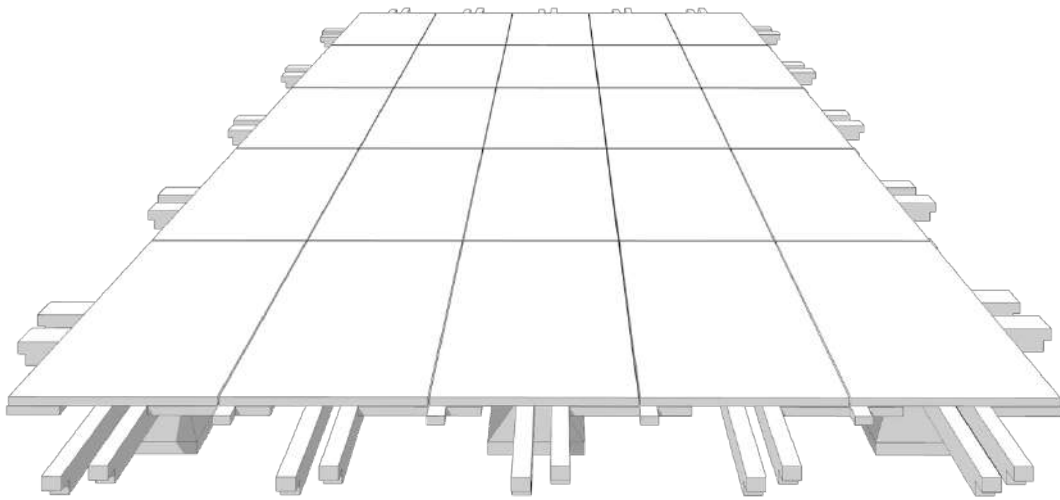


Figura 41 - Sistema de sapatas com laje autoportante e painéis de cobertura de laje;

O sistema de laje modular é concebido através da forma geométrica quadrada e desta forma, permite que um acréscimo à construção seja feito a qualquer momento durante a vida do edifício. Este complexo sistema permite que a modulação responda de forma fluida a adições e subtrações modulares, assim como manutenções rápidas, através da técnica de "desmantelamento" de componentes e elementos não estruturais.

SISTEMA DE LAJE MODULAR

O módulo é a sua estrutura e representa o sistema modular-estrutural que dá forma ao sistema espacial, claramente distinto das partições espaciais. Esta estrutura serve de base a todos os outros elementos modulares da construção e é composto totalmente em madeira lamelada (MLC). Através deste sistema torna-se possível formar a habitação modular, uma estrutura primária, composta através de um sistema fixo de vigas, pilares e paredes perimetrais.

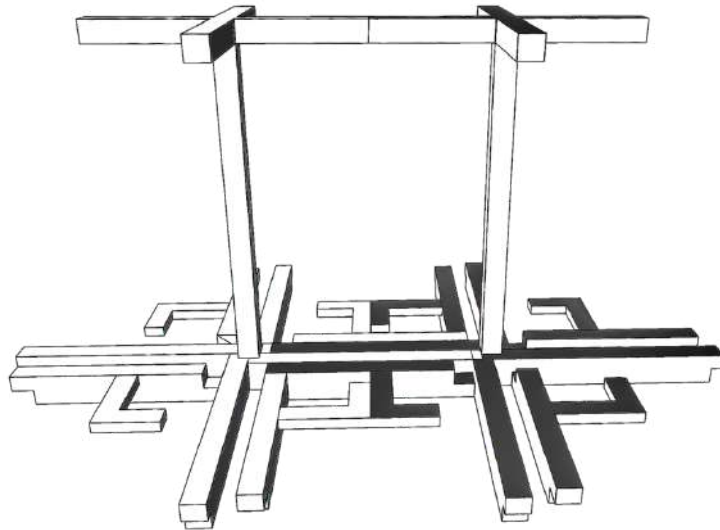


Figura 42 – Diagrama da solução construtiva – Encaixe do sistema de laje com estrutura modular;

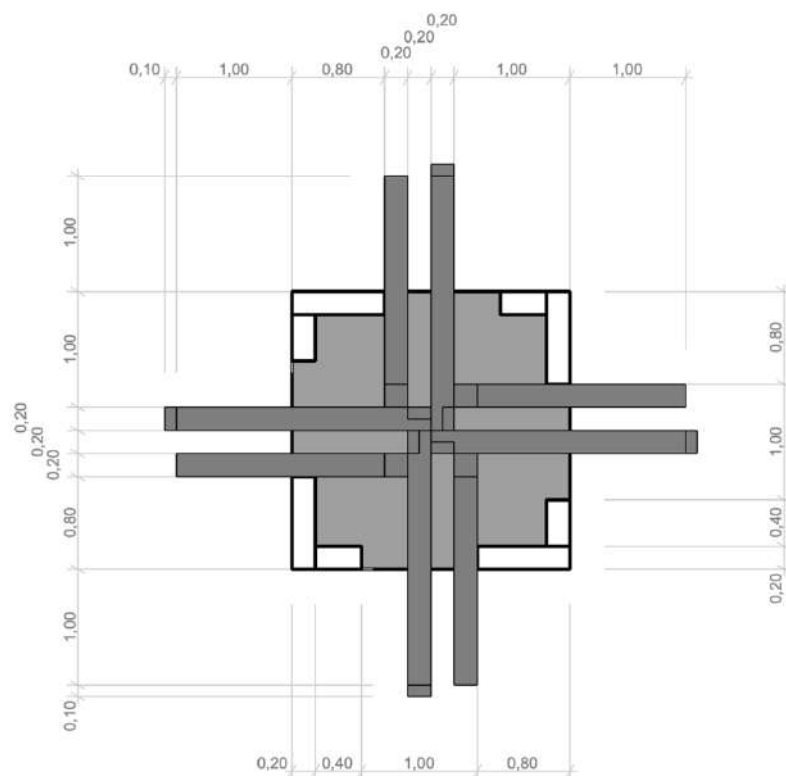


Figura 43 - Sistema de laje modular;

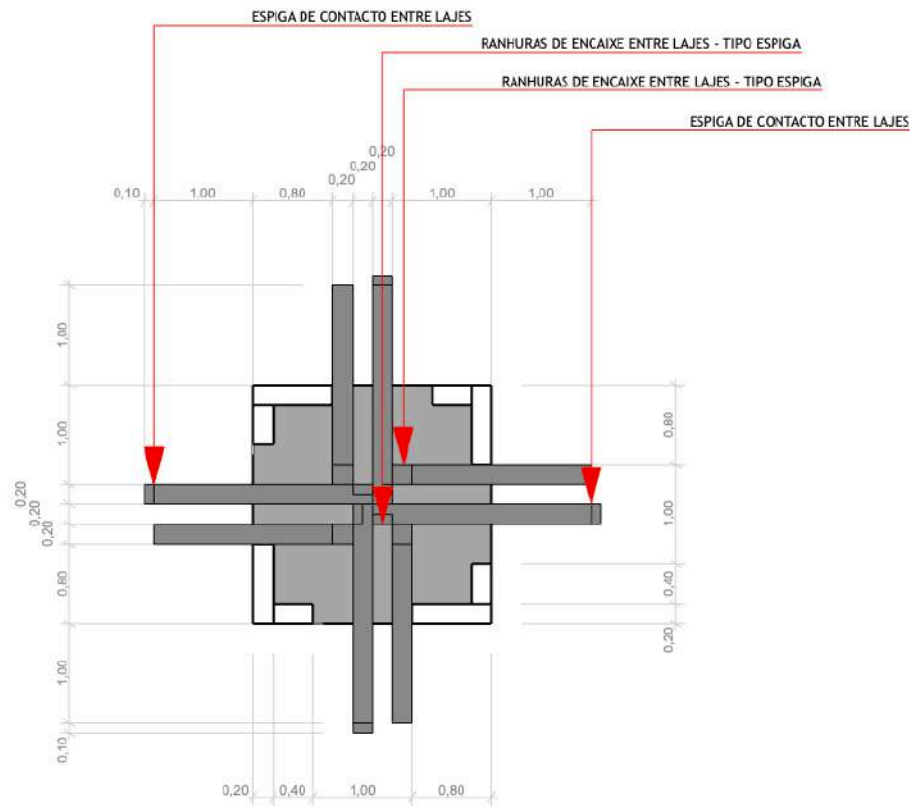


Figura 44 – Desenho técnico explicativo de encaixe entre lajes modulares;

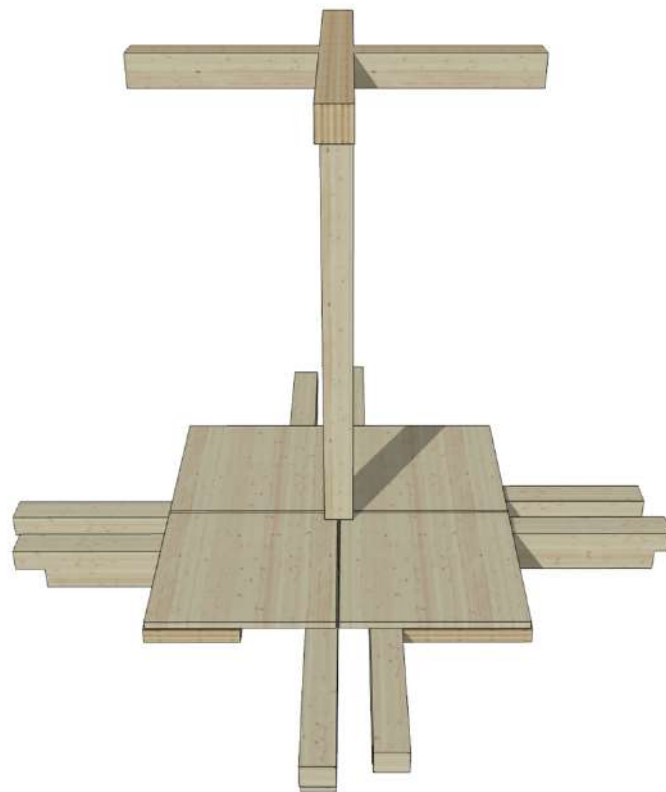


Figura 45 – Modelação da Estrutura Modular – Madeira MLC;

ESTRUTURA MODULAR

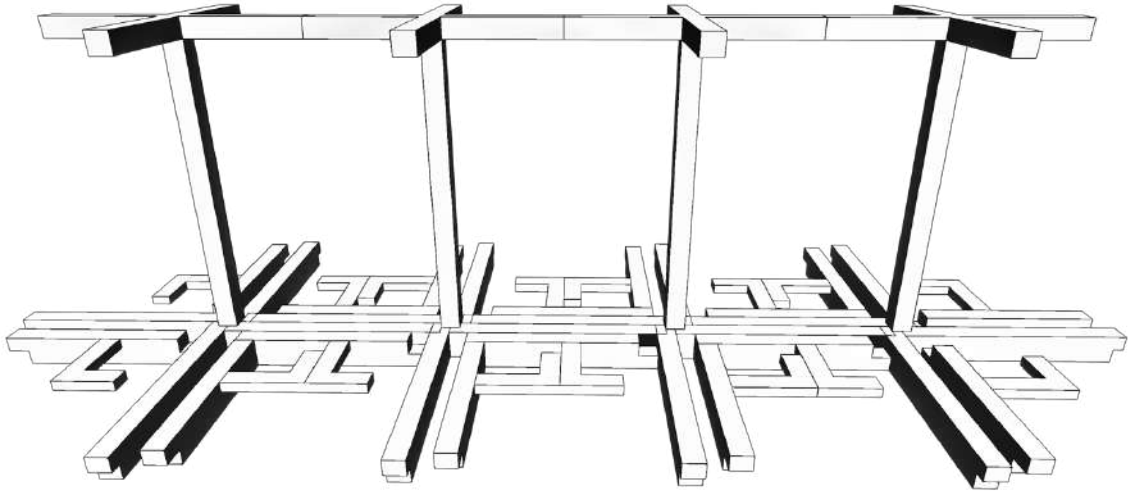


Figura 46 – Esquema de solução modular de expansão estrutural;

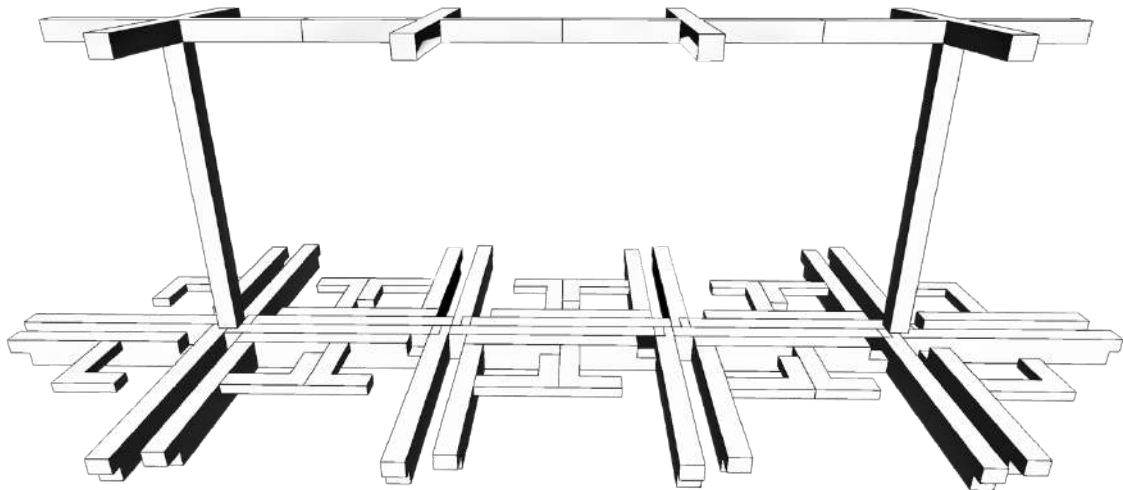


Figura 47 - Dimensionamento estrutural de vigas personalizado;

Este sistema serve o propósito estrutural de suportar todo o edifício e receber uma segunda estrutura onde se incluem todos os elementos móveis internos.

Nesse sentido, desenvolveram-se duas estratégias de forma a promover a flexibilidade espacial. Em primeiro lugar, as vigas de cada projeto deverão ser estrategicamente dimensionadas e colocados os pilares das unidades modulares no perímetro de todo o edifício. A Fig.47 representa a possibilidade de dimensionar o sistema de vigas e pilares, correspondentes a módulos sequenciais, num máximo de 3mM contínuos por vão. Assim, a planta-livre e desimpedida integra o princípio de um “espaço genérico e intemporal” que resiste a designações utilitárias e funcionais passageiras. Em segundo lugar, pretendem-se conciliar sistemas tecnologicamente avançados que permitam explorar os espaços de novas e diversas formas.

A utilização de componentes pré-fabricados possibilita a sua combinação de várias formas, viabilizando a criação de outros produtos individualizados. Os usuários podem escolher entre ter ou não salas de estar, áreas de serviço, multiusos, terraço e aumentar ou diminuir as suas medidas iniciais, consoante necessidade. Apenas adicionando as paredes pré-fabricadas necessárias, é possível estender as dimensões iniciais de uma habitação. Possibilitando oferecer ao utilizador uma habitação adaptativa e funcional ao longo da sua vida útil.

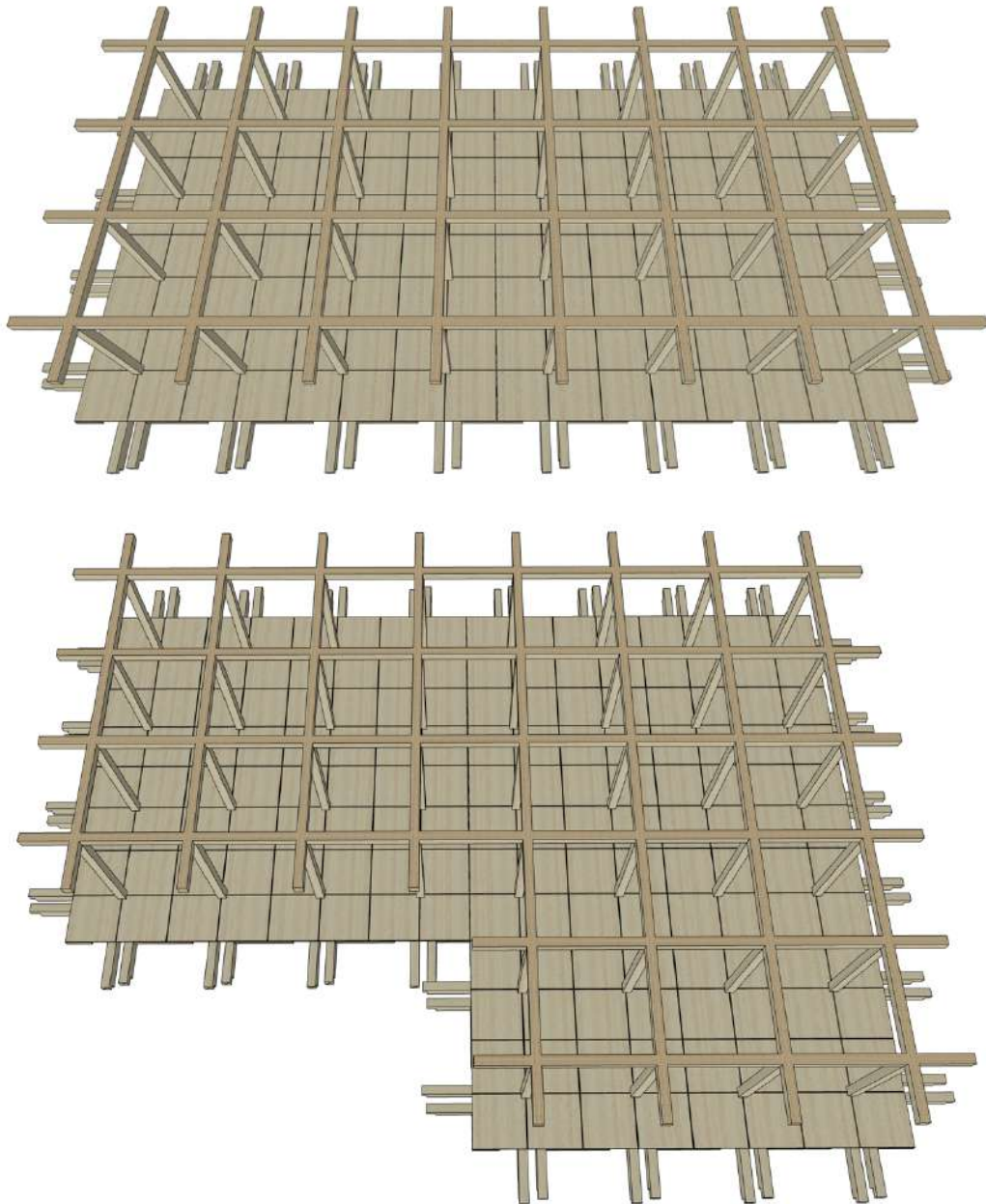


Figura 48 - Imagem ilustrativa da adição de 8 módulos à habitação modular;

A estrutura modular, um sistema de vigas e pilares em madeira lamelada estrategicamente dispostos ao longo de todo o perímetro da habitação. Dá fisionomia ao edifício que posteriormente recebe todas as instalações da edificação no seu interior. Este sistema, internamente, poderá ser estruturalmente dimensionado pelo utilizador.

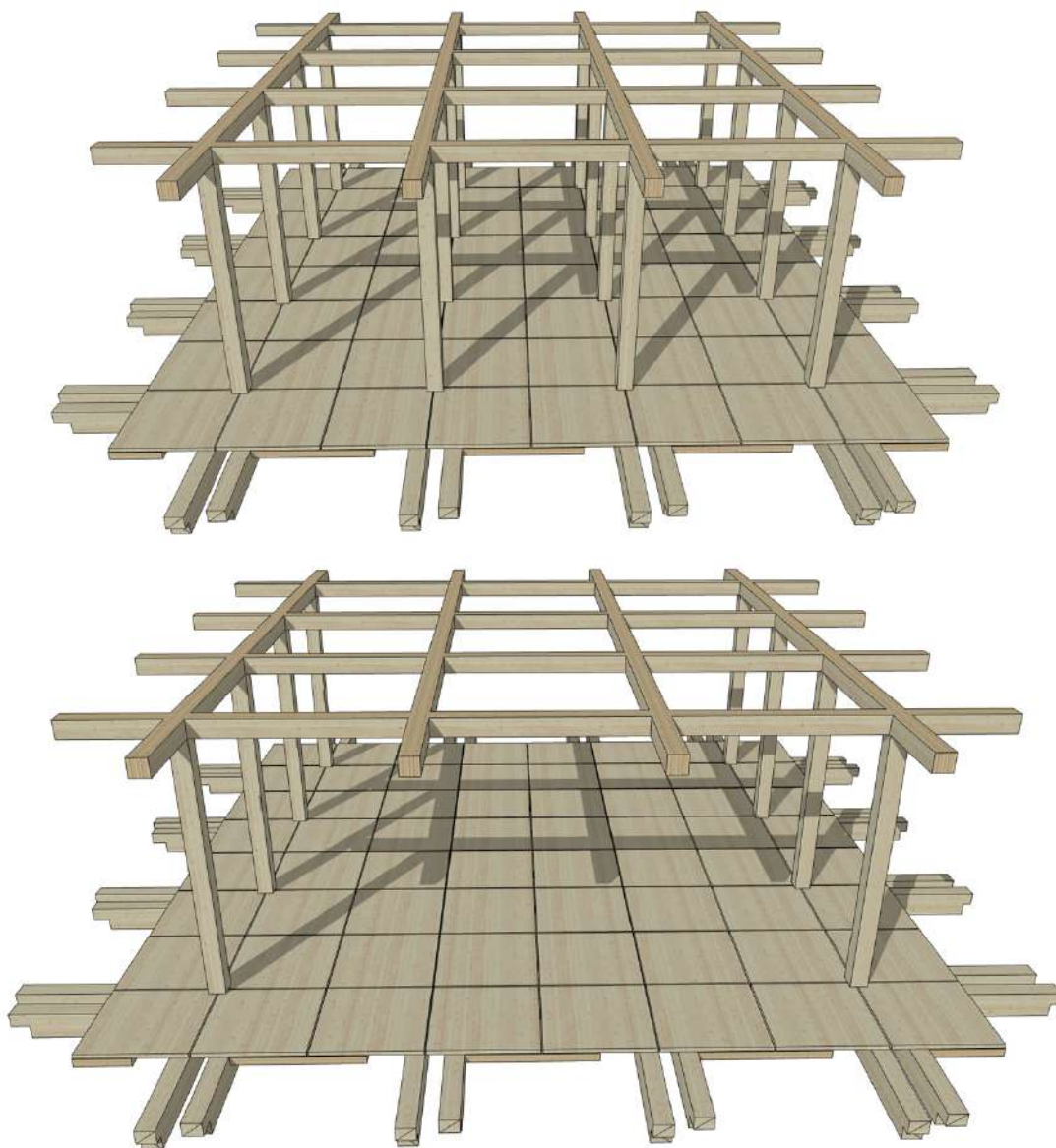


Figura 49 – Pré-dimensionamento de pilares e vigas até um máximo de 3mM contínuos por vão;

COBERTURA MODULAR

A cobertura, desenhada a partir de um sistema de duas águas que potencializa a sua captação e direcionamento na descarga, foi concebida e pensada também a partir de um padrão personalizável. Atua, neste caso, como uma nova secção modular que se encaixa e completa a estrutura existente. Foram previstas 4 tipologias, sendo que três delas possuem declives para um melhor e mais eficiente escoamento pluvial.

As coberturas dividem-se por:

- cobertura de 10° para 2mM;
- cobertura de 8° para 6mM;
- cobertura de 12° para 4mM;
- cobertura plana com variação entre 1% e 5%;

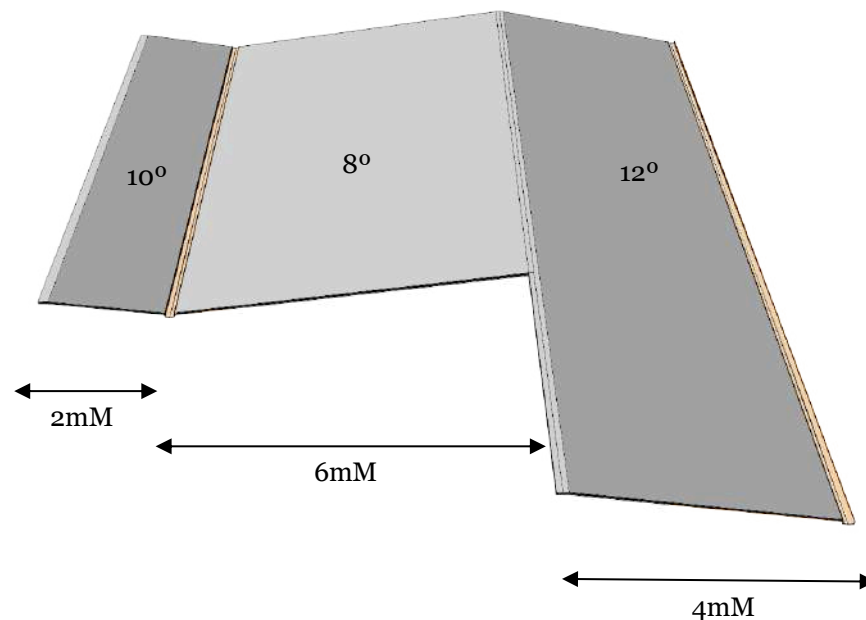


Figura 50 - Diagrama - Pendentes, ângulos e caleiras;



Figura 51 - Modelo da estrutura da cobertura – Madeira MLC;

ACABAMENTOS E INSTALAÇÕES

- **PAINÉIS DE PISO**

No seu interior, o edifício revela a sua própria identidade. Os elementos divisórios internos, que podem ser fixos ou amovíveis, consoante opção do habitante ou área onde estão introduzidos, reeditam a simplicidade espacial. Reconfigurando a organização interna das divisões e a simplicidade dos espaços através dos elementos divisórios internos amovíveis.

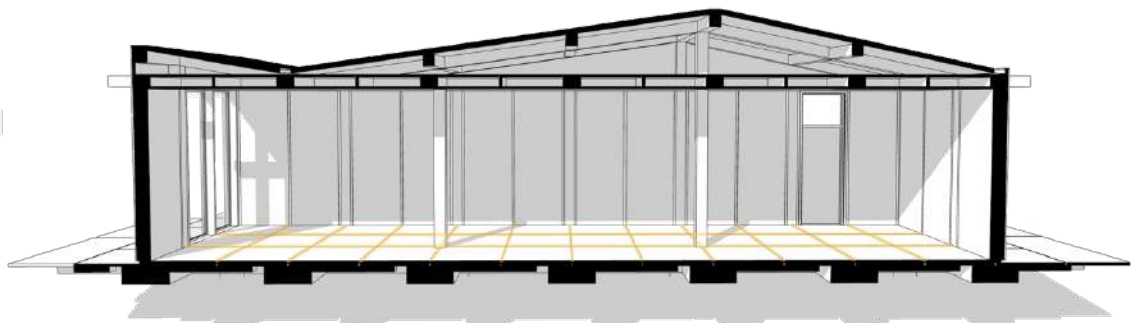


Figura 52 - Corte Tridimensional - sistema de calhas tipo carril;

Estas linhas (Fig.52) representam as ranhuras que permitem à habitação modular admitir painéis internos em qualquer uma das orientações previamente estipuladas.

A flexibilidade que estes elementos proporcionam, produz várias formas de relação com a própria habitação e com o seu exterior. Numa primeira instância, através do reposicionamento dos mesmos, o habitante passa a poder enquadrar um novo momento dentro da própria habitação, ou da vista da paisagem que integra a casa.

- **PAINEL TIPO 1 – EXTERNO/INTERNO - PNL-T1**

Os painéis externos/internos-perimetrais (Fig.53), à semelhança dos interiores são compostos também na sua maioria por madeira lamelada e revestidos a celulose. Estes, foram projetados de modo a conectarem-se perfeitamente através das suas extremidades aos pilares e viga estruturais nos mesmos módulos dos vãos. Facilitando a abertura ou de um novo vão em qualquer zona da habitação ao longo do tempo.

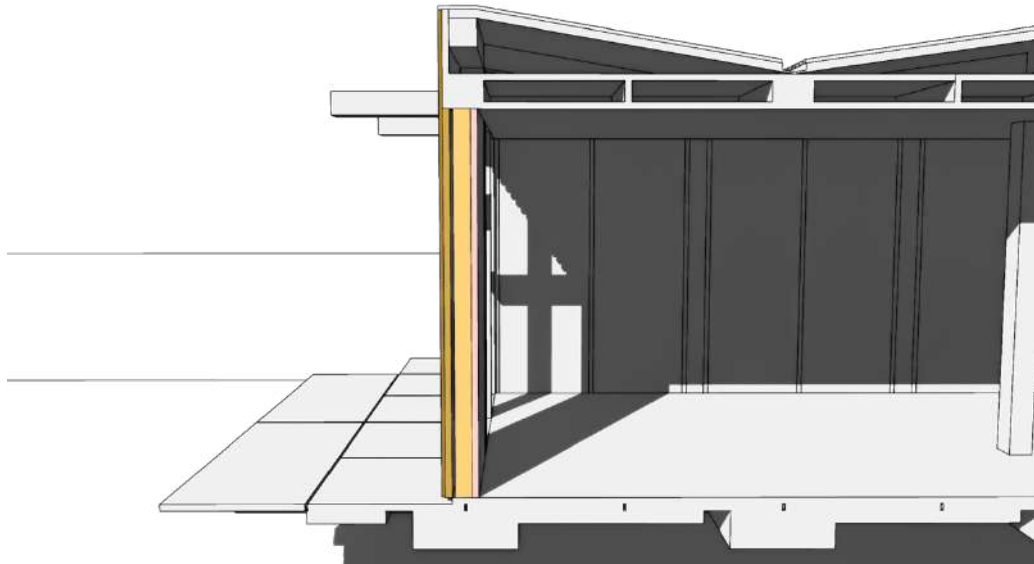


Figura 53 - Corte tridimensional - Painéis tipo 1, PLN-T1 – Externo/interno;

Os painéis PLN-T1 são elementos isolados de 28cm. Cada um inclui isolamento próprio de 150mm em placas de fibras celulósicas compactadas e revestimento personalizável (chapa perfilada em alumínio, ripado em madeira ou outros).

- **PAINEL TIPO 2 – INTERNO/DIVISÓRIO - PNL-T2**

Os painéis PNL-T2 são as paredes Interiores/divisórias. Em gesso madeira MLC, pintados em cor à escolha ou envernizados. Possuem ainda isolamento acústico de cortiça. Garantindo a cada divisão as devidas propriedades térmicas e acústicas necessárias.



Figura 54 - Perspetivas – Painéis PNL-T2;

Com 15mm de espessura e 5mm de revestimento, estes elementos podem ser fixos ou móveis, através de um sistema de rolamentos e guias do tipo carril. Desta forma, a rigidez formal da estrutura não implica obrigatoriamente uma rigidez funcional. Devido às divisórias internas amovíveis e facilmente adaptáveis é conseguida a flexibilidade espacial interna, que responde de forma permanentemente às necessidades específicas de cada um. Estes painéis internos cumprem a função de divisão espacial e permitem ao edifício a sua metamorfose interna ao longo do tempo. Com esta flexibilidade espacial, permite-se alcançar um sistema estrutural que oferece autonomia e liberdade na sua alteração.

Acabamentos

Em madeira maciça, MLC ou OSB com acabamento à escolha.

Pretende-se expressar algum do carácter presente nas diversas materialidades, mas principalmente, facultar ao morador a possibilidade de personalizar e configurar determinadas cores e texturas ao seu critério.

- **PAINEIS DE PISO – PNL-TA**

O painel de acabamento de piso PNL-TA, é o final e finaliza o soalho que cobre a laje. Este será constituído a partir de piso ecológico de soalho flutuante, mas poderá ser composto a partir de outro qualquer material de piso utilizado convencionalmente.

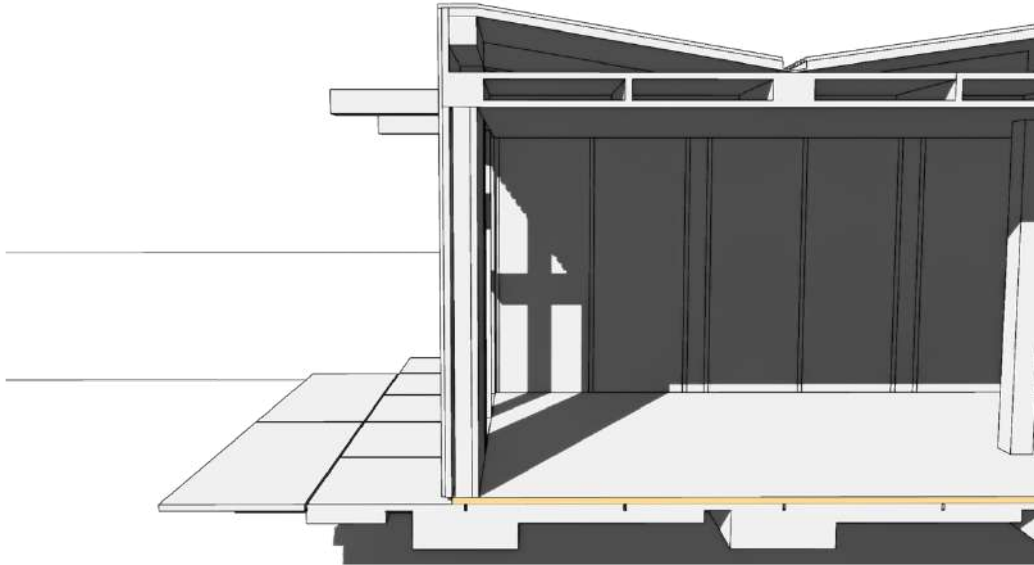


Figura 55 – Corte Tridimensional - Painel de acabamento inferior, sem calhas do tipo carril;

Na Fig.55 os painéis PNL-TA, sem calhas do tipo carris, que respetivamente não incorporam a possibilidade de metamorfose das paredes divisórias internas.

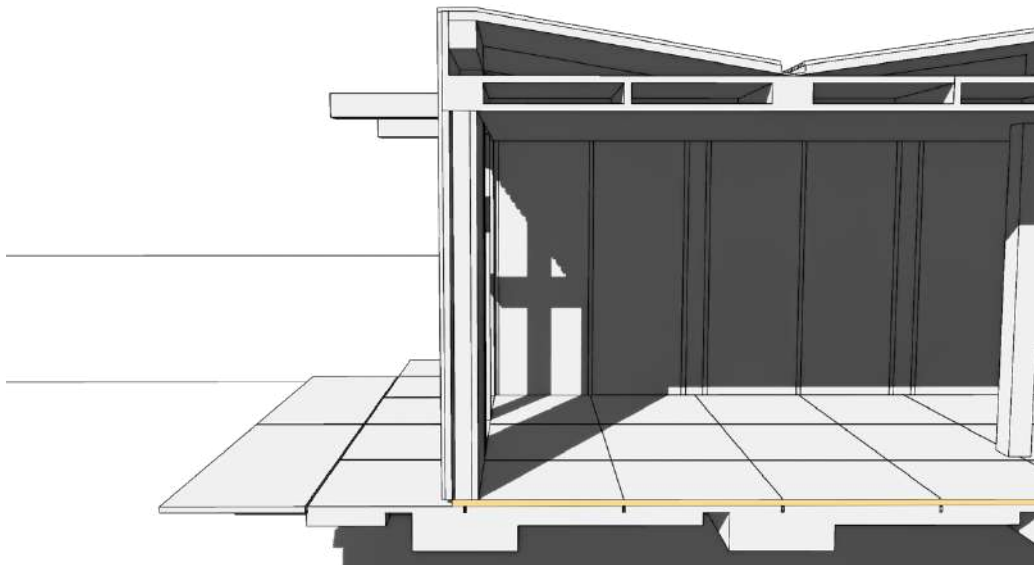


Figura 56 - Corte Tridimensional - Painel de acabamento inferior, com calhas do tipo carril;

Na Fig.56 os painéis PNL-TA, com calhas do tipo carril, incorporando a possibilidade metamórfica espacial. Na Fig.57, o painel estrutural em madeira MLC da estrutura modular.

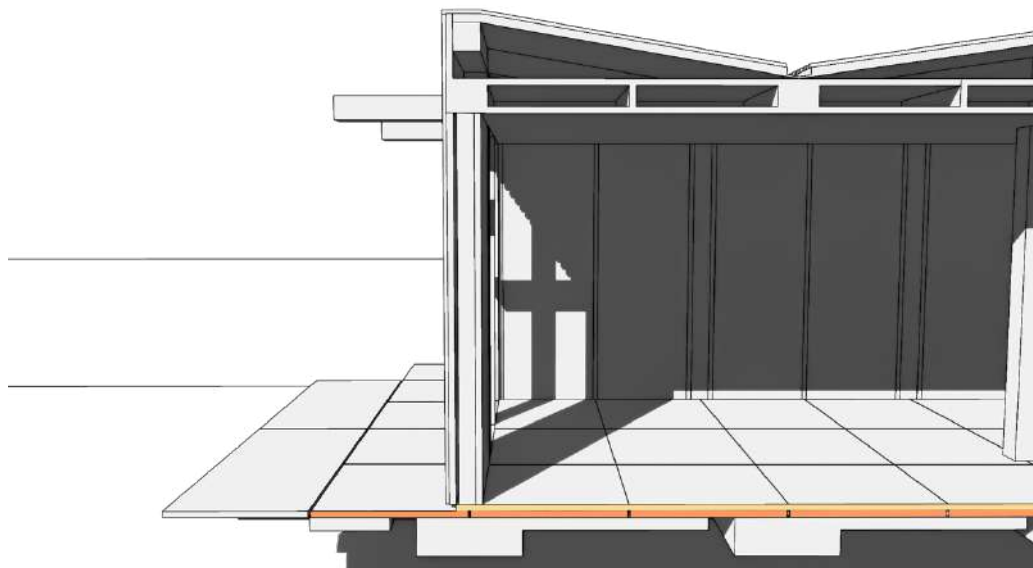


Figura 57 - Corte Tridimensional - Painel estrutural em MLC;

- **PAINEL TIPO 1 DE ACABAMENTO SUPERIOR – PNL-TB**

Devido ao sistema estrutural e de cobertura serem distintos, existe a possibilidade de mecanizá-los ambos no mesmo e diversificar o pé direito interno da habitação, por unidades modulares. Isto significa que, existem 2 locais capazes de receber os painéis PNL-TB:

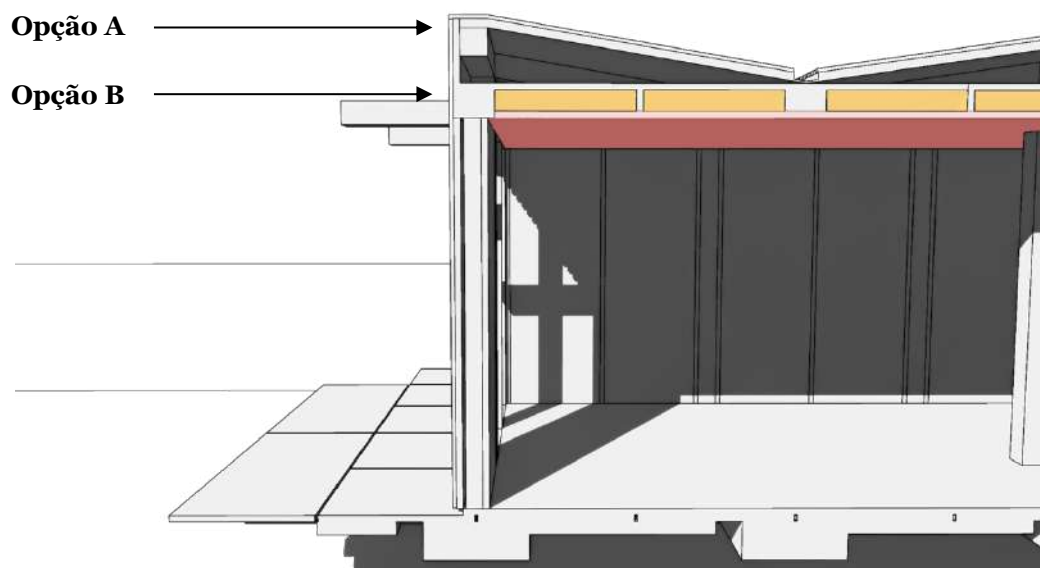


Figura 58 - Teto com opção de pé direito B. Com ou sem calhas do tipo carril;

- **PAINEL DE COBERTURA – PNL-TC**

A instalação da cobertura procede-se de forma semelhante aos restantes painéis, o seu núcleo é o mesmo das paredes externas, em placas de fibras celulósicas compactadas ou outro qualquer isolamento térmico conhecido e o seu acabamento é personalizável.

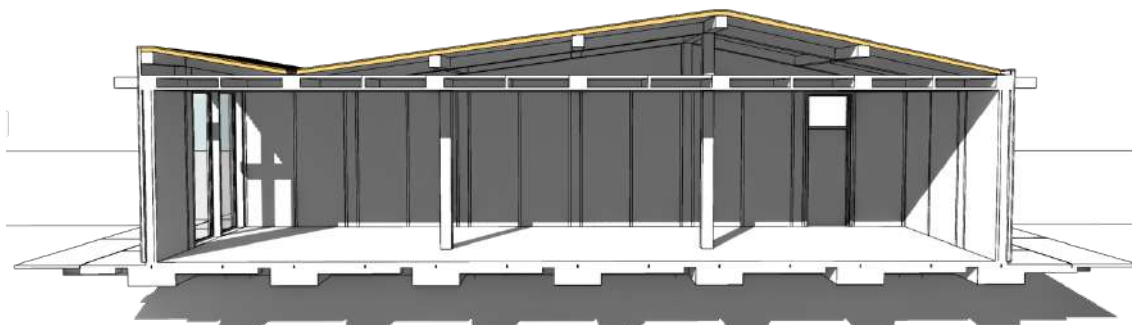


Figura 59 – Corte tridimensional - Declive da cobertura de 10° para 2mM, 8° para 6mM e 12° para 4mM

As tipologias de cobertura previstas, incorporam uma inclinação que varia entre 10°, 8° e 12°, permitindo o fácil escoamento das águas pluviais e direcionando-as até às caleiras. Os tubos de drenagem são totalmente embutidos no interior da estrutura e, portanto, encontram-se completamente escondidos.

VÃOS/PORTAS INTERNAS E EXTERNAS

As estruturas e sistemas de vãos internos ou externos, são também modulares e conectam-se de forma semelhante aos restantes elementos, podendo ser introduzidos como qualquer outra parede. Estes, são elementos isolados, no caso das janelas, com corte térmico e proteção UV; Preferencialmente em madeira, mas disponível também em PVC ou alumínio e de medidas standardizadas. No caso das portas, em madeira, PVC ou WPC com proteção UV e medidas standardizadas.

SISTEMAS/INSTALAÇÕES

Todas as instalações e sistemas vêm programados e por opção, de forma parcial ou totalmente instalados. As localizações estipuladas para a montagem destes elementos, possuem caixas técnicas apropriadas, previamente dimensionadas e embutidas em painéis específicos para determinada função. Os tubos de saneamento e instalações elétricas são totalmente embutidos no interior das paredes e, portanto, encontram-se completamente escondidos.

2º PISO

É possível a construção de habitações com 2 ou mais pisos, segundo os princípios deste sistema, porém, devido ao tempo reduzido de desenvolvimento deste modelo de dissertação não foi possível explorar essa vertente.

4.2.1. Sistema de referência modular

O dimensionamento estrutural é determinado a partir de um sistema de proporções que estabelece relações de altura, largura, comprimento e espessura entre os vários componentes do edifício. Gerado a partir da medida de 1mM estandardizada que determina toda a ordem estrutural e espacial do projeto.

O sistema introduz uma matriz estrutural regular de raciocínio planimétrico tridimensional, adaptável, que regulamenta as medidas e possibilidades da estrutura. Assumindo uma grelha de malha ortogonal tridimensional, a introdução dos elementos será feita por acréscimos de 1mM.

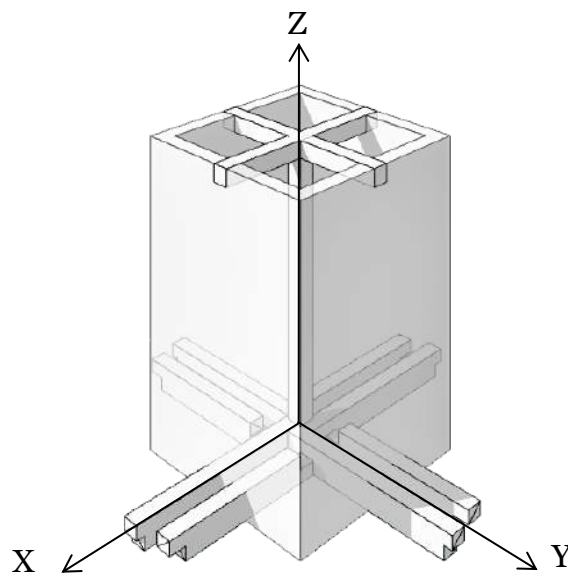


Figura 60 – Axonometria do sistema de referencia modular;

O que emerge desta ordem é uma malha estrutural de referência dividida em intervalos de 2,4m, sendo que a articulação espacial final da habitação só é conseguida através da coordenação em planta de todos os módulos.

A modulação espacial a partir das dimensões do módulo forma, além de conferir um sentido de coerência entre os diversos espaços também promove a sistematização e regulamentação de unidades e espaços. A malha ganha expressão mediante as inúmeras combinações possíveis dos módulos e elementos modulares.

4.2.2. Sistema de medidas modulares

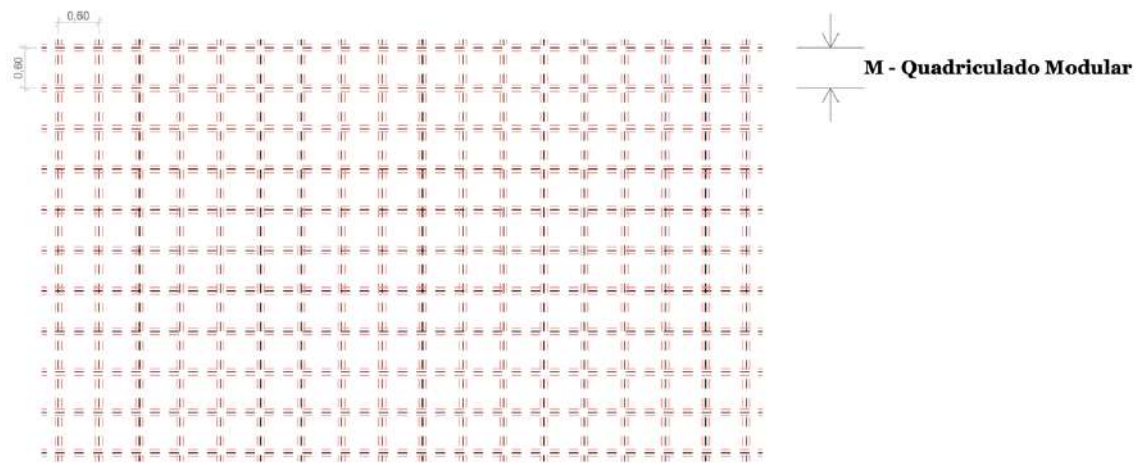


Figura 61 - Quadricula de organização modular utilizada para a construção de elementos e secções;

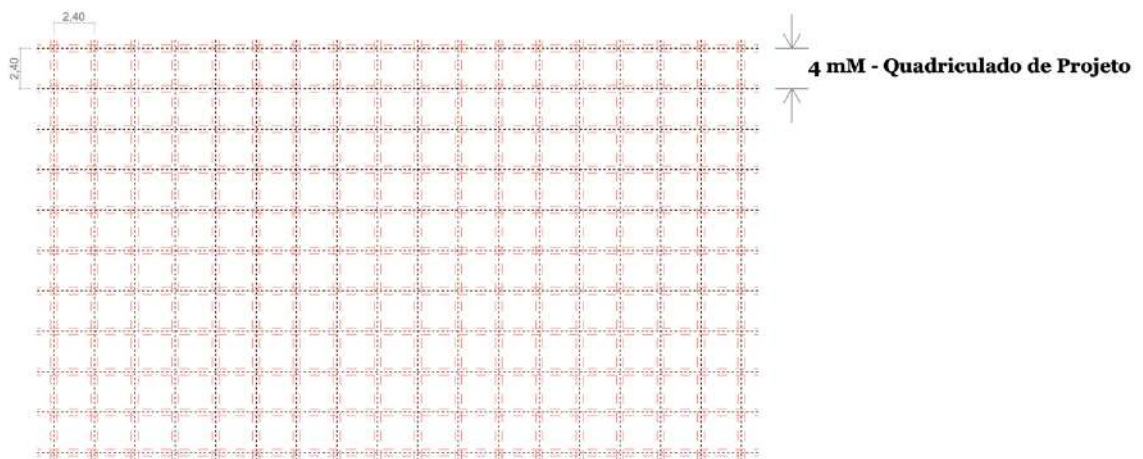


Figura 62 - Quadricula de sistema para dimensionamento da laje modular, pilares e fundações;

4.2.3. Sistema de coordenação e malhas modulares

No ato da articulação, onde se estabelece a correspondência entre dois ou mais módulos, o sistema de coordenação de malhas modulares introduz diversas variações ao M regular onde cada um dos módulos é objeto de proporções.

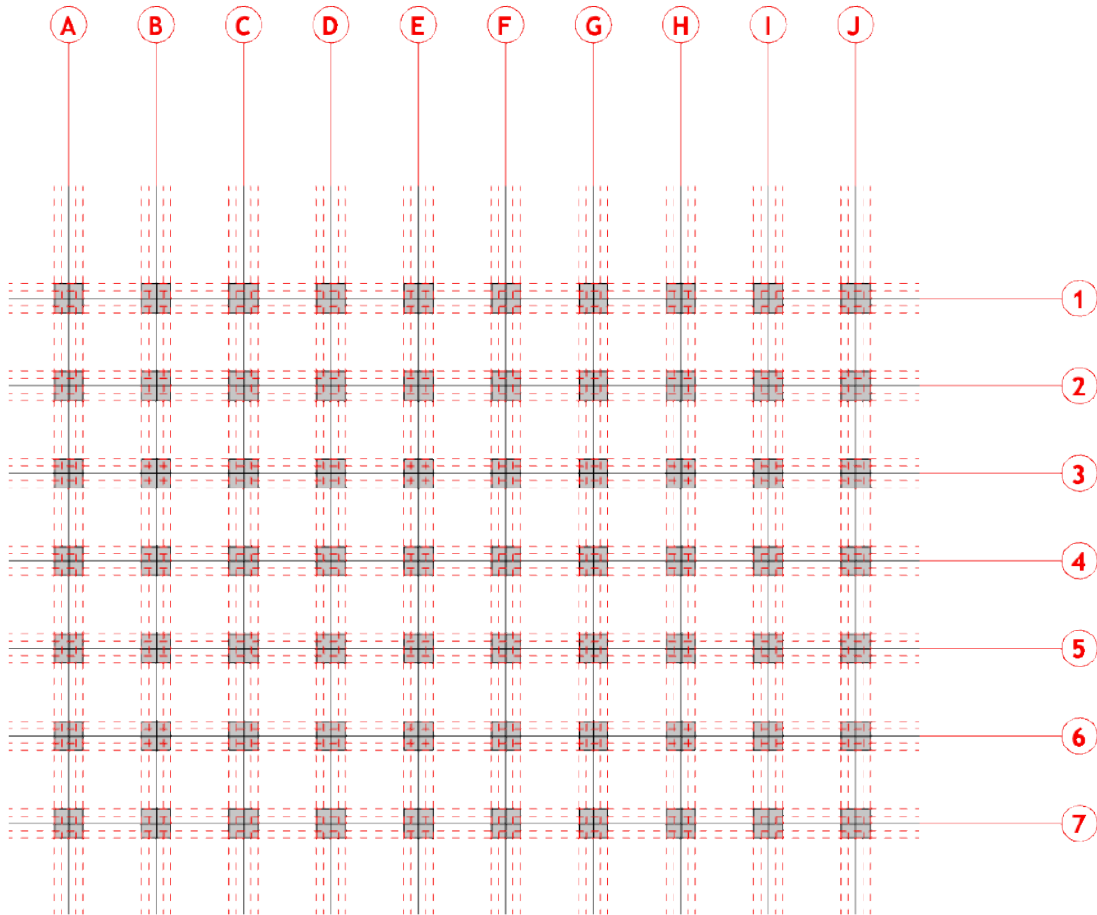


Figura 63 – Quadriculado modular com espaçamentos de 1mM;

A ordem é baseada na unidade de medida de 1mM, assim como a distância entre os pilares estruturais que também é equivalente a 1mM e da qual derivam todas as restantes dimensões. O comprimento de uma viga de madeira MLC sem apoio abrange um máximo de 3mM.

4.2.4. Sistema de ajustes e tolerabilidade

Na impossibilidade de desenvolver um projeto real com fundamentos realistas e conhecimento de todos os processos, este subcapítulo serve meramente enquanto informação relativa a imperfeições de fabrico, imperfeições de movimentação e imperfeições de montagem referentes aos elementos modulares.

No eventual futuro decorrer do projeto, com conhecimento dos ambientes, materiais, dilatações, imperfeições e erros, deverá concluir-se que a limitação de medidas de um elemento não tolera valores rigorosos, mas valores máximos e mínimos. A tolerância/margem, representa simultaneamente o máximo de imperfeição admissível para a correta aplicação do componente e o máximo de perfeição que pode ser conseguida.

Desta forma, pode-se somente estabelecer algumas definições fundamentais:

- Não existe nenhum processo de fabrico capaz de produzir uma quantia ilimitada de peças com precisão absoluta.
- Medidas de referência serão sempre valores teóricos de recomendação que fixam as dimensões dos múltiplos elementos modulares.
- É estritamente necessário que todos os elementos sejam passíveis de serem trocados por outros com as mesmas características dos originais, qualquer que seja o lote, a data ou o local de fabrico.
- No processo de conceção técnica dos modelos deverá existir um perfeito conhecimento de que as dimensões reais são diferentes das dimensões nominais.

4.3. Projeto de execução

FUNDAÇÕES

Demonstrando a potencialidade de adaptação deste sistema construtivo a qualquer tipo de terreno, consoante o volume da habitação e o tipo/qualidade do solo, podem ser aplicados dois tipos diferentes de fundações. Uma estrutura em estacaria de madeira (Fig.64) no caso de uma habitação de dimensões mais reduzidas, ou quando o terreno permitir, sendo esta a solução menos dispendiosa e mais ecológica. Ou poderão ser utilizadas sapatas de fundação em betão armado, geralmente para habitações de maior dimensão ou a implantar em solos de menor capacidade resistente.

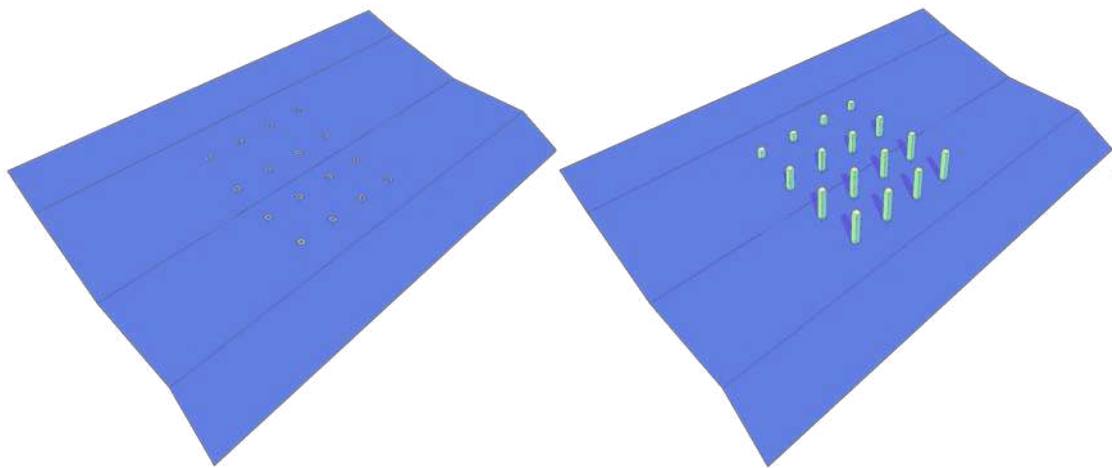


Figura 64 – Dimensionamento de sistema de sapatas e pilares;

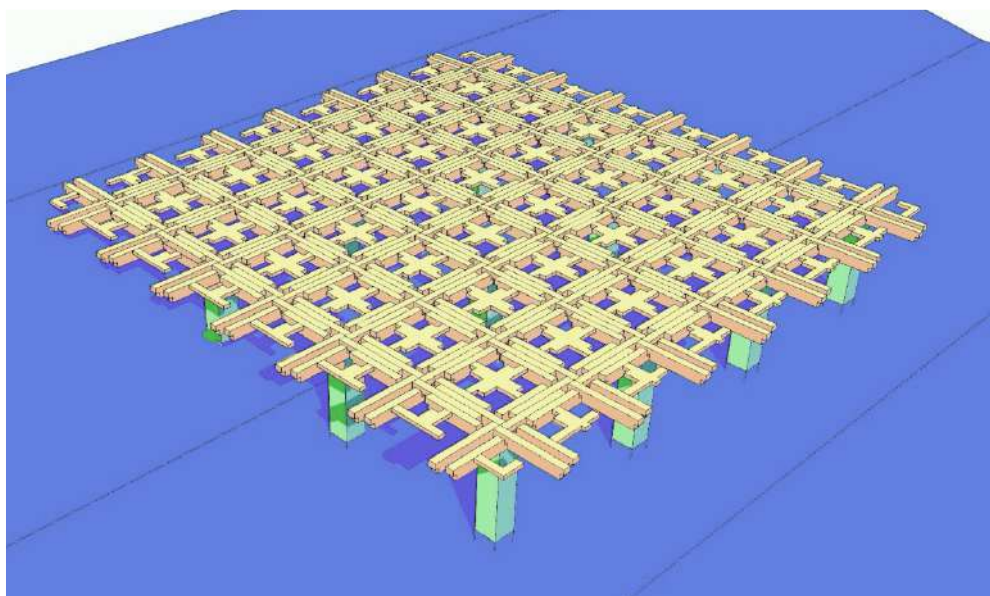


Figura 65 - Construção da malha modular pré-dimensionada sobre as sapatas;

SOLUÇÃO ARQUITETÔNICA

A simplicidade do design exterior do edifício facilita a sua adaptação a diversos tipos de ambiente, seja a montanha, floresta, campo ou até mesmo um espaço urbano, onde e em qualquer contexto o sistema adapta-se de forma orgânica.

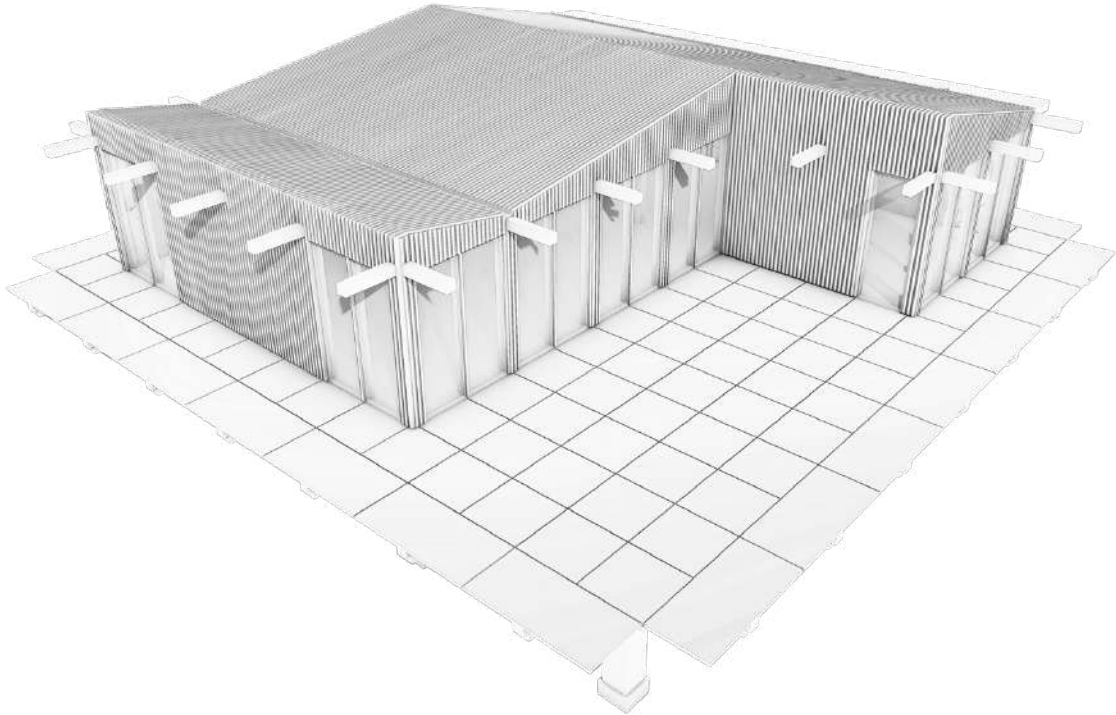


Figura 66 - Solução construtiva progressiva com elementos de expansão estrutural;

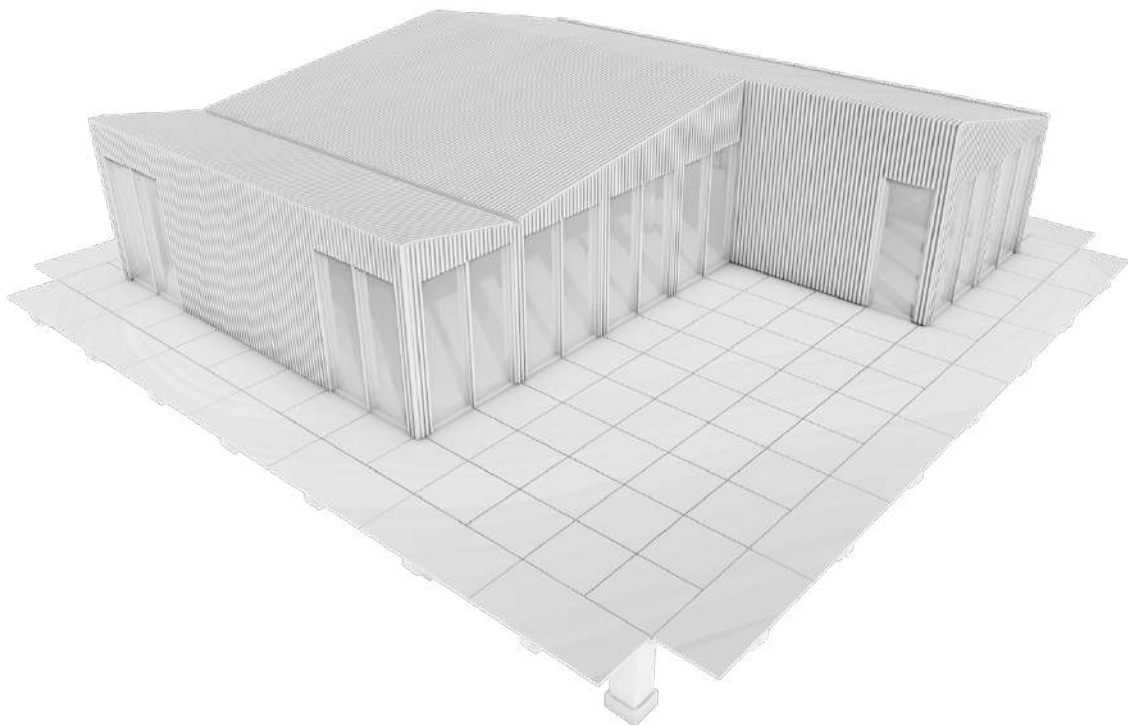


Figura 67 - Solução construtiva definitiva sem elementos de expansão estrutural;

Ao utilizar princípios de construção passiva, como o aproveitamento da luz natural através das fachadas envidraçadas, orientação priorizada a nascente/poente, simplicidade de design e estrutural, assim como a ausência de pontes térmicas, permite-se ao projeto a condição de um microclima saudável e sustentável do ponto de vista energético no interior da habitação e no seu exterior.

SOLUÇÃO CONSTRUTIVA

A modularização divide-se em três partes:

- Fundações, Fig.68;
- Estrutura modular pré-fabricada, Fig.68;
- Acabamentos, Fig.69, 70 e 71;

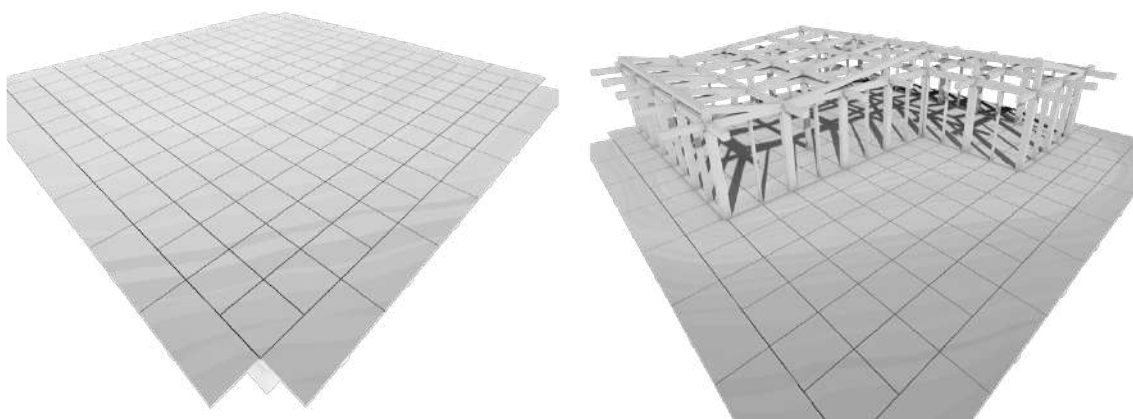


Figura 68- Fundações e estrutura modular pré-dimensionada;

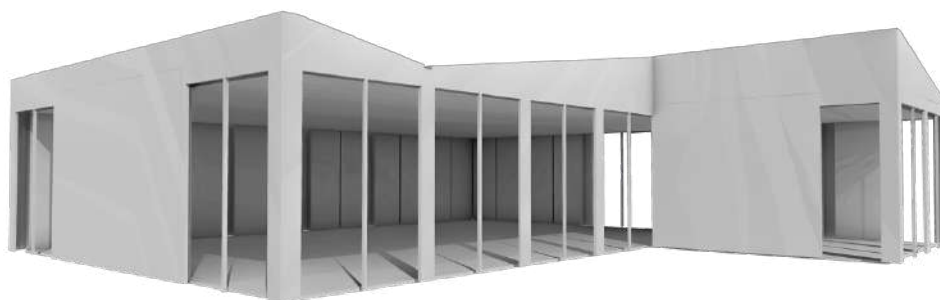


Figura 69- Acabamentos - em painel – Internos/externos estruturais;

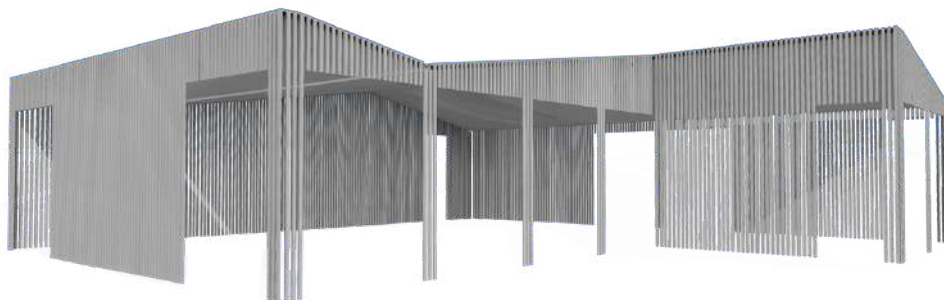


Figura 70 - Acabamentos - em painel – Externos ornamentais;



Figura 71 - Acabamentos – Vãos e acessórios;

4.3.1. Sistemas de piso, fachada, cobertura e juntas

O sistema de piso e cobertura que permite o reposicionamento de paredes é composto a partir de calhas do tipo carril que recebem os painéis PNL-TA fixo ou móveis, escorados sobre um perfil de rolamentos e guias do tipo carril. Ao longo do painel existe um pivot que permite o bloqueio ou desbloqueio do sistema. Os painéis PNL-T2, por sua vez são, de rebatimento central simples e possuem um sistema de fecho que executa a vedação na calha superior e inferior, permitindo a fixação dos mesmos no local, assim como um melhor isolamento acústico.

A fachada será também composta por painéis em madeira MLC ou OSB, com devido tratamento para puderem ser utilizadas no exterior do edifício e cobertas com uma membrana monolítica, que impermeabiliza todo o edifício à passagem de águas pelo exterior e promove a respirabilidade da habitação. Assim como a cobertura, que à semelhança do resto do edifício modular, também se desenvolve a partir de painéis PNL-TC. Estes painéis já possuem a membrana monolítica assim como os acabamentos externos da edificação.

Também na cobertura, as caleiras foram especialmente desenvolvidas para rematar o acabamento dos painéis PNL-TC e foram localizadas em zonas estratégicas. Com o auxílio destas, torna-se possível a drenagem das águas à rede ou para um depósito de acumulação.

Os diversos sistemas estruturais e conectores de juntas, foram retirados na sua maioria do catálogo de chapas e conectores para madeira da Rothoblaas⁴⁰. Estas conexões adaptam-se às necessidades específicas de cada materialidade e circunstância, assim como permitem simultaneamente uma diversidade de formas de utilização. Na sua maioria foram selecionadas preferencialmente, ligações ocultas, que são integradas inteiramente nos elementos. Estas, sendo adequadamente embutidas e incorporadas na madeira, não sofrem redução de resistência e mantêm intactas as suas propriedades mecânicas ao longo do tempo.

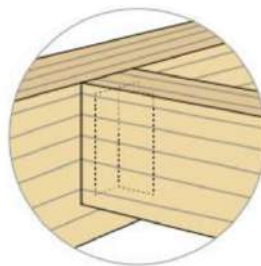


Figura 72 – Diagrama de ligação oculta. Imagem de catálogo Rothoblaas;

⁴⁰ Catálogo de chapas e conectores para madeira da Rothoblaas - Solutions for Building Technology

Para as ligações entre lajes e unidades modulares, as anilhas de 45°, permitem a instalação de parafusos com inclinação de 45° em chapas de aço, garantindo uma boa e precisa instalação.



Figura 73 - Anilhas de 45° - Retirada do catálogo Rothoblaas;

Para a fixação pilar-laje modular, serão utilizados os sistemas *Pillar*. O seu núcleo central em aço impede que os painéis sejam esmagados e auxilia a transferência de forças entre pilares e estrutura. Oculto e dentro dos pilares, este sistema permite a redução das espessuras nos acabamentos das lajes.

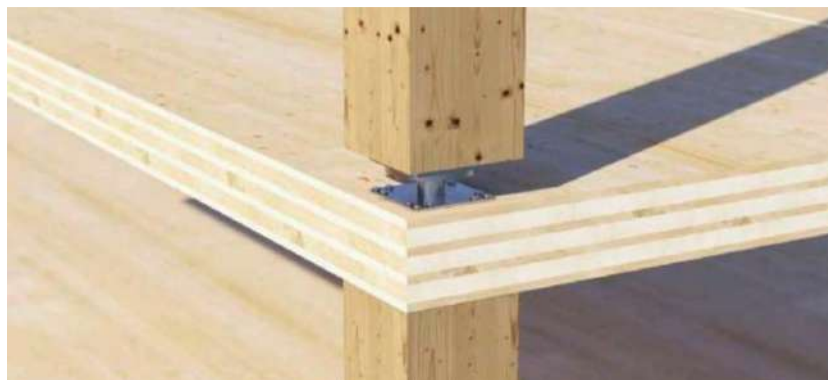


Figura 74 - Fixação *Pillar* - Retirada do catálogo Rothoblaas;

Para o suporte de vigas, os ligadores ocultos *Alumini* e respectivas derivações, isentos de soldaduras, permitem a ligação das vigas de forma oculta e discreta. A sua fixação é simples e rápida e é feita através de parafusos que se inserem através das laterais.

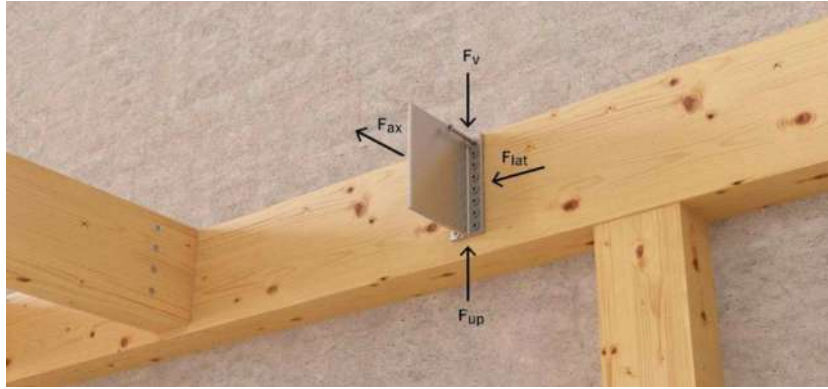


Figura 75 – Ligador *Alumini* - Retirada do catálogo Rothoblaas;

4.4. Instalação

Cada um dos módulos é pré-fabricado de forma completa, incluindo vãos, instalações elétricas, hidráulicas, eletrodomésticos, acabamentos e até mesmo mobiliário. Assim que cheguem ao local de obra, deverão ser imediatamente instalados, com recurso a uma grua, nas suas posições finais.

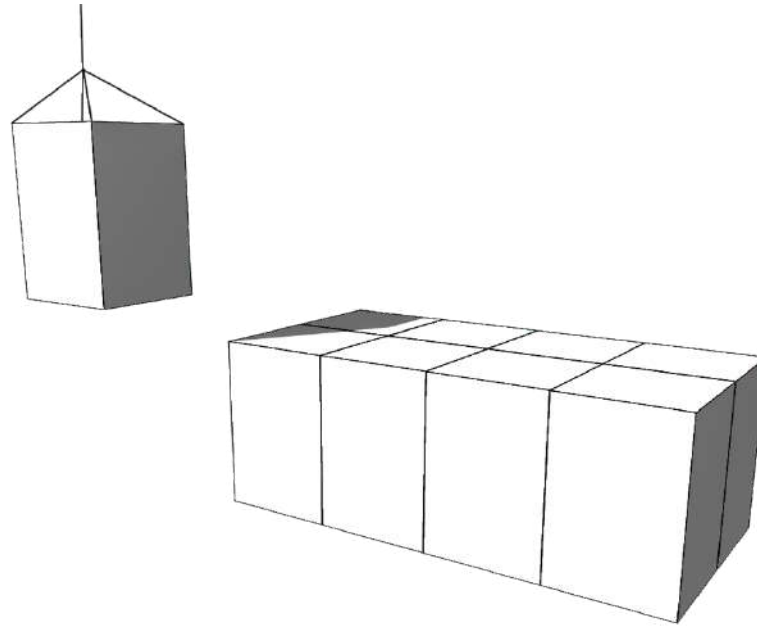


Figura 76 - Instalação modular no local com auxílio de grua;

Todos os acabamentos e especificidades de projeto serão previamente definidas em fase projetual, sendo totalmente executados em fábrica, em função disso e posteriormente transportados para o local de forma definitiva ou semifinal.

Em fábrica, uma vez concluídos, cada um dos elementos é isolado, carregado num camião e transportado até ao local. Alguns dos acabamentos e sistemas serão unidos à estrutura final apenas no local.

Em obra, a implantação dos elementos ou módulos no terreno é realizada recorrendo ao auxílio de uma grua ou auto-grua, sendo que se torna necessário o acesso ao local através de um veículo de pelo menos 12m, com largura de 2m a 3m em função das dimensões modulares e do respetivo transporte.

As unidades modulares, assentes num chassi modular autoportante, são fixadas sobre sapatas pré elaboradas em betão armado com as devidas ligações e conectores. A atividade laboral em obra, consiste essencialmente na coordenação do estabelecimento das unidades, na execução dos acabamentos e uniões entre módulos assim como a finalização de algumas instalações. As ligações externas às redes de água, saneamento e eletricidade, serão feitas no fim da montagem do edifício.

Notas:

- 1- É necessária sempre a análise dos substratos, áreas e condições para a conformidade com os requisitos da instalação.
- 2- Sempre que o terreno de fundação não permita a conceção de uma solução de fundações diretas através de sapatas isoladas, ou contínuas, deverão ser consideradas e estudadas outras opções.
- 3- O dimensionamento e colocação das fundações deverá ser sempre efetuado recorrendo ao auxílio de programas de cálculo automático, por um profissional;
- 4- A proposta não sugere a sobreposição de unidades modulares;
- 5- Sempre que possível, a orientação da fachada frontal da habitação, com o maior número de vãos, deverá ser ditada através da orientação solar;

4.5. Processo de produção

O módulo, na sua constituição distribui-se ao longo de um vasto conjunto de componentes pré-fabricados que são standardizados e produzidos de forma individual. A produção isolada de cada um dos componentes é realizada em ambiente fabril, com recurso a software que sustenta o planeamento e sob condições altamente controladas, permitindo um considerável e significativo controlo do projeto e da sua fabricação durante e após todas as etapas. Consequentemente maximizando a precisão, testando a qualidade de cada elemento e garantindo o perfeito desempenho na confeção do produto, atendendo aos objetivos anteriormente projetados. Desta forma, evitam-se inclusive certas patologias construtivas observadas na construção tradicional e potencializa-se a redução de desperdícios.

A contribuição da tecnologia nos processos de pré-fabricação e industrialização, pode variar e tipicamente o processo é acompanhado não só por mudanças tecnológicas, mas também organizacionais que levam aos níveis mais altos de produtividade. Alguns desses exemplos são:

- O auxílio de ferramentas BIM⁴¹, que permitem o desenho auxiliado, com alto grau de detalhe e a modelação de elementos e modelos, que poderão ser tridimensionalmente modelados e conectados de forma virtual conjugando todos os elementos.
- Ferramentas de CAD e fabrico auxiliado por computador CAM, que permite passar a informação diretamente entre o Arquiteto e a máquina, eliminando o erro humano da equação.
- Engenharia auxiliada por computador (CAE) e outras ferramentas de simulação.
- As máquinas de corte CNC⁴², os instrumentos de corte bidimensionais e a impressão tridimensional em escala real vieram revolucionar as formas de construção.
- Possibilidade de criação de linhas mecânicas de produção, possibilitando remover completamente o trabalho manual completamente do processo de industrialização, eliminando desta forma, erros humanos de produção.
- O planeamento e a partilha em tempo real da informação técnica, que pode ser transmitida a todos os intervenientes durante todos os variados momentos da construção.

⁴¹ BIM, ou *Building Information Manager tools*.

⁴² CNC, ou Controlo Numérico Computadorizado.

- A internet enquanto ponto central de vendas.

A modelagem de elementos construtivos (BIM), por exemplo, oferece novas oportunidades para auxiliar a fase de projeto e até a fabricação computadorizada dos elementos, proporcionando uma maior produtividade e economia de outros recursos.

Esta indústria possibilita assumir e adaptar a visão de *smart factory*, no futuro, passando de um processo de produção, padronizado, para uma automatização de produção que permitirá alcançar um maior controlo de qualidade e redução de custos. Desta forma, revela-se, portanto, conveniente que as características e particularidades de cada equipamento e matéria-prima, assim como respetivos processos de fabricação e transporte sejam devidamente considerados e enquadrados de forma inicial nos processos e respetivas linhas de montagem e execução.

Um dos principais objetivos da pré-fabricação, para o presente caso, é a economia de escala aliada à qualidade de construção dos ambientes controlados, logo, as linhas de produção e montagem deverão ser otimizadas, ergonómicas e simplificadas, com a finalidade de reduzir os custos associados, ao mesmo tempo que entregando um produto de elevada qualidade ao cliente final.

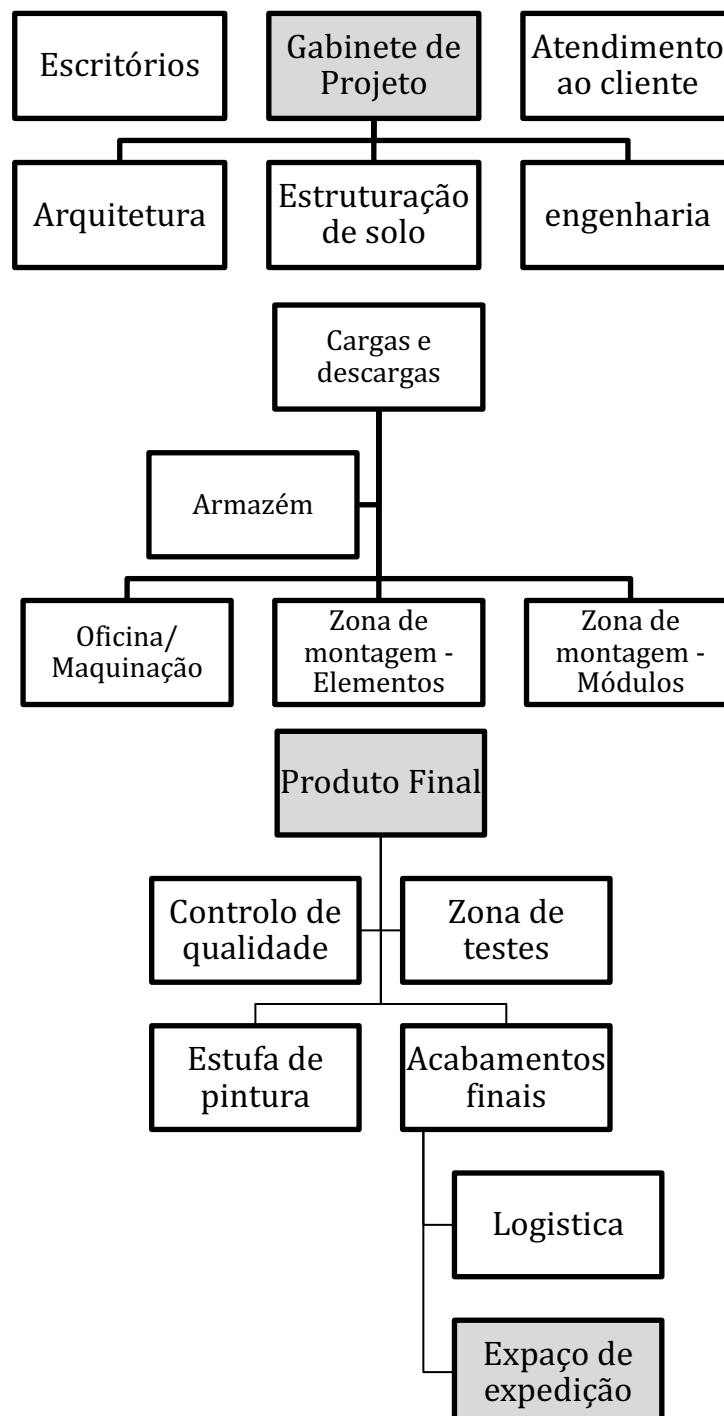
Este sistema prevê e simplifica, também, a hipótese do desenvolvimento de "fábricas adaptativas locais", espaços estes, de fabrico temporário que poderão ser adaptados junto do local de montagem/edificação e movidos de forma fácil e simples, sempre que necessário. Através do transporte da maquinaria para junto dos locais, com a finalidade de minimizar os requisitos energéticos, recursos utilizados e custos acrescidos, possibilita-se que a maioria dos elementos sejam pré-fabricados no local, ou relativamente perto deste. Desta forma revela-se uma outra estratégia que conseqüentemente, reduz o custo bruto da habitação e apela a uma construção sustentável e adaptativa, tanto no seu processo de fabricação, como no produto final.

Em vista disso, revela-se pouco rentável do ponto de vista económico produzir e fazer stock de vários módulos e elementos. Constatando que será, portanto, oportuno trabalhar sempre de forma racional e de acordo com a procura/disponibilidade.

4.6. Sequência de construção em fábrica

O fabrico de módulos volumétricos que são expedidos totalmente montados, prontos a colocar no local de implantação final, ou o fabrico dessas mesmas unidades para assimilação em obra, requerem um ambiente fabril personalizado e percebido à medida de todo o projeto.

Nesse sentido identificam-se algumas das secções mais relevantes no âmbito do desenvolvimento do *layout* do espaço de produção e construção do sistema.



4.7. Usos, Apropriações e Potencialidades

As novas ideias ao serviço das suas ambições traduzem-se através de várias gamas de soluções sobre a premissa do sistema modular de Arquitetura. A partir deste, foram desenvolvidos alguns estudos tipológicos de aplicação desse sistema sem contexto específico. As tipologias apresentadas neste primeiro contacto servem meramente um propósito exemplificativo e explicativo.

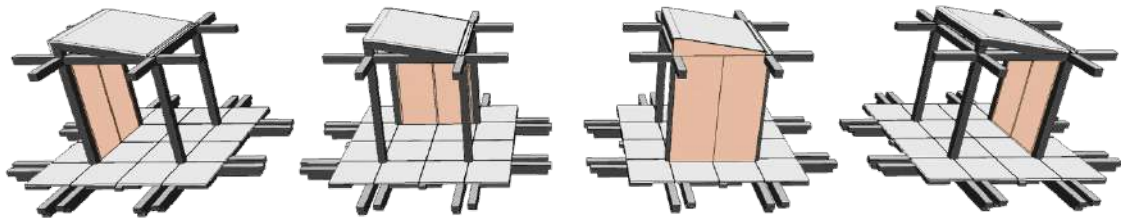


Figura 77 - Possibilidades de modulação;

Futuramente, num sistema completamente desenvolvido e adequado todos os projetos serão totalmente personalizáveis. A simplicidade da geometria proposta dá inteligibilidade a um sistema flexível, que pode ser utilizado para diferentes programas para além da habitação, a diferentes condições de terreno, diferentes contextos e funcionalidades.

Este sistema mostra que é possível, através de uma série de módulos pré-configurados, criar uma ampla variedade de estruturas de diferentes tamanhos e tipologias, quase como o conceito dos Legos®. Através da junção de diferentes formas e componentes, torna-se possível a aplicação do sistema em contextos diversos do originalmente desenvolvido.

A perspetiva de instalação das habitações modulares em terrenos sem viabilidade construtiva tem de ser analisada particularmente caso a caso, em função das regras estipuladas em cada PDM e respetivo uso pretendido, porém, o sistema tem o potencial de ser mais umas das alternativas que viabiliza este tipo de construções.

4.8. Materiais e Acessórios

Os materiais escolhidos e a qualidade dos mesmos, decidirão o aspeto final do projeto e são essenciais para estabelecer a sensação desejada de atemporalidade e identidade deste tipo de edificação. A partir da ideia arquitetónica, a escolha dos materiais que mais se apropriam, tende a comunicar um certo sentimento, contribuindo para a produção de um ambiente interno variado. Dos materiais selecionados, a madeira lamelada colada (MLC) é, sem dúvida o material predominante e foi selecionado pelas suas características, propriedades mecânicas e tecnológicas no contexto estrutural. Posto isto, no sistema proposto é possível a utilização de qualquer outro vulgo material de construção típica tradicional. Dado que o sistema se refere a um método construtivo, o leque de materiais, acabamentos e acessórios é idêntico ao de outro qualquer edifício. Desta forma, o cliente tem ao seu dispor um leque quase infinito de materiais e acabamentos interiores e exteriores que é livre de escolher, assim como mobiliário e acessórios que se adaptam e encaixam no edifício de forma idêntica a qualquer outro.

Posto isto, aconselha-se a instalação de equipamentos que permitam caminhar na direção da autossustentabilidade, através de painéis solares e fotovoltaicos, salamandras a *pellets*, janelas com corte térmico e proteção UV, assim como, eletrodomésticos eficientes e reutilização das águas pluviais.

Durante o ciclo de vida da construção modular devem ser feitas as normais manutenções que uma edificação do género necessita. Como é o caso de tratar as madeiras das fachadas exteriores, pois as mesmas exigem uma manutenção algo superior a uma casa que tem um revestimento em *ETICS* (por exemplo).

4.9. Resumo de Capítulo

Neste capítulo abordou-se a concepção teórica e prática do sistema, inicialmente através de uma abordagem criativa e conceptual e posteriormente com auxílio a sistemas de referência e coordenação.

Foi desenvolvido um projeto, executado de forma tridimensional e detalhado, assim como todo o processo de produção e construção em fábrica e todas as possibilidades materialísticas a serem empregadas.

Foram referidos conjuntamente os usos e apropriações possíveis, tal como as potencialidades do sistema.

Capítulo 5 - Conclusão

O sistema de construção revelou-se desafiador e oferece a conveniência de colocar a Arquitetura à frente dos seus limites disciplinares.

Enquanto o tempo disponível ao seu desenvolvimento não foi suficiente para a formulação de soluções definitivas, a liberdade de experiência e exploração permitiram o desenvolvimento e a descoberta de uma fonte de alternativas que servem o propósito de expandir os limites estabelecidos à data. A modulação assume-se enquanto uma estandardização geral de medidas e elementos que carece de um desenvolvimento futuro onde se possam adaptar e desenvolver novos elementos de forma conjunta com futuros clientes.

A qualidade que faz com que o objeto arquitetónico não seja igual aos demais é a apropriação que este método potencializa ao edifício ao longo da sua existência. Desta forma, o sistema pretende ser considerado enquanto uma opção projetual que visa simplificar os métodos de construção tradicionais, reduzir custos e oferecer um produto de melhor qualidade às grandes massas.

O projeto tornou-se num trabalho de geometria e design, através do qual se revelou possível a conquista da simplicidade projetual, técnica e visual, que transformam este sistema num exemplo ao raciocínio do desenvolvimento tipológico a partir de uma ideia matriz, que pretende a cada nova implantação, explorar novas e diversas variações sobre o mesmo sistema.

Com a capacidade de inspirar projetos futuros, este exercício foi proposto enquanto estímulo e ambiciona que outros colegas o testem e desenvolvam de forma livre e genérica, contribuindo para o desenvolvimento de novos e inovadores projetos que partem de novos princípios e potencializam novas ideias.

5.1. Considerações finais e desenvolvimentos futuros

O culminar de toda a articulação que se tem vindo a demonstrar entre todos os temas, tempos e problemáticas, tem a intenção de servir enquanto alicerce para a formação de um pensamento programático. Os fatores culturais e sociais são os menos referenciados, mas talvez os mais condicionantes. No primeiro e mais generalizado problema, devido à ubiquidade de projetos de baixa qualidade, de fraca adaptação contextual e poética, revela-se ainda existente um preconceito generalizado de que as casas modulares são inferiores às habitações estáticas, construídas no local recorrendo a técnicas mais comuns e arcaicas.

Outro obstáculo surge na indústria, construtores e empreiteiros não estão familiarizados com o processo e temem o que desconhecem. Existem muito poucos bons exemplos de projetos que foram bem-sucedidos, particularmente a nível nacional, que possam atuar enquanto precedentes. Conjuntamente, dado o elevado investimento envolvido na construção de novos edifícios, poucos se dispõem a correr o risco de tentar algo novo que ainda não tem provas dadas perante determinada comunidade. Por outro lado, o valor deste sistema e tecnologia é obtido apenas quando é comercializado em escala, através de um modelo de negócios apropriado. Para que a construção modular funcione é necessária, conjuntamente, uma mudança significativa na forma como as empresas conduzem o seu negócio.

Adicionalmente, outro obstáculo e talvez um dos mais acentuados e menos salientado, é que não há apenas medo, como também, uma forte oposição do setor construtivo. Embora os benefícios da pré-fabricação sejam incomparáveis, o modelo de negócio tradicional proporciona maior lucro aos construtores, fazendo com que estes sejam os únicos perdedores no crescimento da eficiência de um sistema semelhante.

Através do auxílio de parcerias estratégicas, métodos empresariais e novas tecnologias, o autor desta dissertação acredita que no futuro as mentalidades irão inevitavelmente evoluir, abrindo portas a novas empresas e inclusive à perspetiva de viabilização deste modelo de sistemas. Ciente da importância do marketing e da marca, das necessidades e limites dos processos de modularização e pré-fabricação, pretende-se posteriormente pensar num modelo de negócio reverso, liderando o caminho em direção à mudança racionalizada da indústria em benefício de todos nós. Ambiciona-se que esta habitação e respetivo método construtivo iniciem um novo *boom* no setor construtivo, ou até mesmo na construção híbrida, ajudando a promover simultaneamente um novo mercado, em ampla escala para a silvicultura sustentável. Além de oferecer habitações sustentáveis e autossuficientes espera-se introduzir, também, um raciocínio linear e sequencial que parte de uma construção modular com elevado grau de racionalização. Ao nível social, este projeto tem variáveis significados para diversos clientes, públicos e negócios.

Referências Bibliográficas

Bibliografia selecionada

BAHAMÓN, Alejandro; SOLER, Anna – Cabana, Da Arquitectura Vernácula à Contemporânea. [s.l.] Argumentum, 2008

EDWARDS, Brian & TURRENT, David - SUSTAINABLE HOUSING – PRINCIPLES & PRACTICE. 1.ed. [s.l.] Taylor & Francis, 2002

GREVEN, Hélio Adão; BALDAUF, Alexandra Staudt Follmann - INTRODUÇÃO À COORDENAÇÃO MODULAR DA CONSTRUÇÃO NO BRASIL: Uma abordagem atualizada, Coleção HABITARE / FINEP. [s.l.] Porto Alegre, 2007

GROAK, Steven - Thought and action in the design and production of buildings, 1.ed. London, UK, Taylor & Francis, 2002

LEACH, Neil - Rethinking Architecture - A reader in Cultural Theory. [s.l.] Routledge, 1997

LEINDECKER, Herbert & KUGFARTH - Mobile Tiny Houses – Sustainable and Affordable? [s.l.] IOP Conf. Ser. Earth Environ, 2019. Sci.323 012010.

NISSEN, Henrik - Construcción industrializada y diseño modular. [s.l.] Blume ed, 1976

PIRES, Nayara - FLEXIBILIDADE, Arquitetura em movimento. 1.Ed. [s.l.] Editora e Livraria Appris Ltda, 2020.

PRESI, Stefanocoord & PÉREZ, Mata - MÓDULO ASISTENCIAL NÓMADA – Proyecto piloto de carácter industrializado de pequeña escala. Madrid: NUNC ediciones, 2015

RABENECK, A; SHEPPARD, D; TOWN, P - “Housing Flexibility?”. [s.l.] Architectural Design. 43, no.11, 1973

SMITH, Ryan - PREFAB ARCHITECTURE - A guide to modular design and construction. 1.ed. [s.l.] John wiley & Sons, 2010

TILL, Jeremy; SCHNEIDER, Tatjana - Flexible Housing. [s.l.] Architectural Press, 2007

WALLACE, Andrew; IUORIO, Ornella; SIMPSON, Kate - Prefabs in the North of England: Technological, Environmental and Social Innovations. Leeds: University of Leeds, 2019

Webgrafia seleccionada

Artigo: The Manning Portable Colonial Cottage

Disponível em: www.quonset-hut.blogspot.com/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html

- Consultado em Março 2020

Artigo: Sistema Kitur, empresa de construção modular Portuguesa

Disponível em: www.kitur.pt

- Consultado em Abril 2020

Artigo: Sistema Wikkel House

Disponível em: www.wikkelhouse.com

- Consultado em Abril 2020

Artigo: Sistema Summary

Disponível em: www.summary.pt

- Consultado em Abril 2020

Artigo: Sistema Ilke Homes

Disponível em: www.ilkehomes.co.uk

- Consultado em Abril 2020

Artigo: Energy Efficiency Report - Agência Internacional de Energia

Disponível em: www.iea.org/topics/energy-efficiency

- Consultado em Março 2020

Artigo: *Boston albergará uno de los edificios prefabricados de madera más grandes de EE.UU. con nivel de carbono neto cero*

Disponível em: www.construible.es/2020/04/14/boston-albergara-edificios-prefabricados-madera-grandes-ee-uu-boston-albergara-uno-de-los-edificios-prefabricados-con-madera-mas-grandes-de-ee-uu-nivel-carbono-neto-cero#.XpV1tknBoD4.mailto

- Consultado em Abril 2020

Anexos

Desenhos técnicos

- Planta principal – Folha nº 1
- Planta estrutural de piso – Folha nº 2
- Planta de acabamentos de cobertura – Folha nº 3
- Planta de painéis de cobertura – Folha nº 4
- Planta estrutural da cobertura – Folha nº 5
- Plantas síntese do sistema estrutural – Folha nº 6
- Alçado Norte – Folha nº 7
- Alçado Sul – Folha nº 8
- Alçado Este – Folha nº 9
- Alçado Oeste – Folha nº 10