



Habitar (n)a Natureza

**Projecto de uma habitação pré-fabricada em madeira com impacto residual
no ambiente para aplicação em zonas paisagisticamente sensíveis**

João Félix

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

Departamento de Arquitectura da FCTUC

Orientadores: Armando Rabaça e Pedro Maurício Borges

Julho 2014

Habitar (n)a Natureza – Volume I

Esta dissertação foi escrita ao abrigo do Acordo Ortográfico de 1945

*Aos orientadores,
à família,
aos novos amigos,
e aos mais antigos.*

Resumo

A elaboração da dissertação de mestrado pretende desenvolver uma solução arquitectónica standardizável, tipologicamente flexível e de baixa pegada ecológica, tendo como principal objectivo a incorporação da mesma em espaços naturais. Podendo ao mesmo tempo ser uma alternativa viável à habitação de construção e características convencionais. Esta dissertação prende-se assim com o recente debate sobre ecologia e arquitectura equacionada no contexto da pré-fabricação, focando-se em três premissas: flexibilidade tipológica, construção em madeira e reversibilidade da construção. Entende-se por reversibilidade da construção a possibilidade de recuperar o estado inicial do lugar ou paisagem através da simples remoção da construção.

Abstract

The ultimate aim of this thesis is to develop, a standardized and flexible architectonic solution with a low carbon footprint. It's main objective is the harmonious incorporation of architecture in sensitive natural areas, simultaneously providing an alternative to the conventional housing and construction.

The thesis thus relates to the recente debate about architecture and ecology, equating it within the theme of pre-fabrication and standardization. In so doing, it focuses on three main premisses: typological flexibility, timber construction and the reversibility of construction. "Reversibility of construction" is here understood as the possibility of recovering the original state of the landscape by simply removing the building.

Sumário

Primeira parte:

Capítulo 1 – Introdução	1
Capítulo 2 – Pré-fabricação na arquitectura	7
2.1 – Breve contexto histórico	9
2.2 – Prós e Contras	21
2.3 – Razões para a escolha da madeira	27
2.4 – <i>Engineered Wood</i> , Derivados de madeira	33
Capítulo 3 – Arquitectura e ecologia	37
3.1 – A tradição que se perdeu	39
3.2 – Sistemas passivos	45
3.3 – Sistemas activos	59
Capítulo 4 – Análise crítica de casos de estudo	63
4.1 – Tipologia	65
4.2 – Sistema construtivo / Reversibilidade	69
4.3 – Ecologia / Autonomia	73
Capítulo 5 – Considerações finais	75
Capítulo 6 – Bibliografia	79
Capítulo 7 – Fontes imagens	93

1 – Introdução

Este trabalho pretende desenvolver um projecto de um modelo habitacional unifamiliar pré-fabricado, de carácter reversível, que possa ser implementado em áreas sensíveis em que a construção convencional, de carácter permanente, não é permitida por lei. Entendemos como reversibilidade da construção a possibilidade de desmontagem e transporte da habitação, sem que haja danos permanentes na paisagem em que se encontra inserida. As áreas sensíveis referidas são: Reservas Agrícolas; Reservas Naturais; Parques Nacionais; Parques Naturais; Paisagens Protegidas; etc. Esta será vocacionada para o turismo, principalmente o turismo alternativo – um dos principais sectores de desenvolvimento económico em Portugal – quer para segunda habitação, garantindo um impacto paisagístico diminuto e um baixo custo de construção.

Na elaboração deste projecto pretende-se ainda equacionar as seguintes preocupações associadas ao conceito de pré-fabricação:

1. Custo da construção, tanto ao nível da produção como do custo de venda e construção;

2. Flexibilidade tipológica, por forma a permitir a mutação da habitação ao longo do seu ciclo de vida, respondendo às alterações das necessidades dos seus ocupantes, através de um sistema que permita variadas organizações interiores e que possibilite uma fácil ampliação numa fase posterior;

3. Facilidade e rapidez de montagem do sistema, não requerendo mão-de-obra especializada e não envolvendo trabalhos significativos no local. Isto não só permite uma grande economia de tempo, como evita a perturbação do ecossistema do local onde se insere durante todo o processo;

Como foi referido anteriormente, é pretendida a criação de um projecto de habitação unifamiliar que possa ser construído em zonas sensíveis do território. A construção nestes espaços é hoje em dia um dos pontos inexplorados pela arquitectura nacional, pois são zonas em que a construção de carácter permanente é considerada demasiado intrusiva no ecossistema local. Isto deve-se em grande medida ao facto da construção estar naturalmente associada a métodos e materiais construtivos convencionais, que são na sua generalidade (senão totalidade) de carácter permanente, pois utilizam o betão e a alvenaria como componentes construtivos. Este é um dos pontos-chave para a pertinência deste projecto, a reversibilidade da intervenção no território.

Hoje em dia é possível habitar alguns destes espaços, quer permanentemente em construções já existentes, quer sazonalmente em habitações móveis. A criação de uma habitação de carácter reversível, em que a “estadia” do objecto seja efémera, possibilita responder à procura de uma segunda habitação (residência não permanente) nestes locais, bem como fornecer uma resposta viável e de qualidade para o turismo alternativo, que se encontra presente maioritariamente nas áreas referidas anteriormente, e com uma grande margem de desenvolvimento a uma escala global.

Actualmente, as unidades de pernoite presentes no turismo alternativo, recorrem a construções que na sua maioria possuem na sua constituição materiais de elevada pegada ecológica, tais como o alumínio e o PVC, bem como outros derivados de plástico, o que não se enquadra no conceito de turismo alternativo associado a estas áreas, nem responde às actuais preocupações ambientais.

Neste sentido, a questão da pré-fabricação sugere a madeira como principal material construtivo, pois esta possui uma reduzida pegada ecológica, sendo o único material utilizado em construções com saldo de carbono positivo (absorve CO₂ da atmosfera).

Procura-se ainda a automatização dos processos construtivos, garantindo a minimização da interferência da fase de construção/montagem com o espaço natural onde se insere.

Além disso, através da pré-fabricação dos componentes é garantido um padrão de qualidade elevado de todos os componentes.

Quanto à questão da flexibilização da tipologia do projecto, esta surge naturalmente, pois a ideia de pré-fabricação está intrinsecamente associada à de produção em massa, para garantir um baixo custo de produção. Procura-se assim aliar estandardização e flexibilidade tipológica. Para isto acontecer terá que existir uma ênfase na pré-fabricação do sistema construtivo de modo a que este se adapte às necessidades do consumidor final, incorporando a resposta às alterações tipológicas sem alteração do sistema construtivo ou elementos básicos do sistema.

2 – Pré-fabricação na arquitectura

Ao longo deste capítulo será realizada uma breve referência histórica ao aparecimento e desenvolvimento da pré-fabricação na arquitectura. Também serão analisados as condicionantes e benefícios do mesmo método. Por fim é feita uma análise acerca da madeira e suas propriedades aquando a aplicação no campo da arquitectura e construção, bem como os seus derivados.

“Three things you can depend 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.” (Pearman, H., 2003, citado por Smith, Ryan E., 2010, p. 3)

2.1 – Breve contexto histórico

A pré-fabricação na arquitectura esteve, está e estará sempre associada a dois factores principais: a necessidade e o desejo do arquitecto.

Desde sempre o ser humano construiu primeiramente com a simples função de abrigo. Aquando a necessidade de construção em locais remotos, construir em grande escala ou com uma grande rapidez levou à introdução pré-fabricação na arquitectura. Os componentes eram produzidos num local, geralmente uma fábrica ou local semelhante, e então transportados para o local desejado para assim suprir a demanda. Os processos foram-se automatizando, bem como a estandardização dos componentes.

A título de exemplo, referimos dois casos antecedentes à Revolução Industrial. O primeiro remonta aos tempos do renascimento, movimento iniciado na península itálica nos finais do século XIV. Aqui o arquitecto passou a ter um papel semelhante ao actual. Em vez de projectar enquanto a obra estava a ser construída, o projecto passou a ser feito previamente, podendo assim ser enviado para outro local e construído por outrem. Também podemos nesta época verificar a existência de estandardização de elementos construtivos tais como: capiteis e colunas de igual tamanho que poderiam depois ser transportadas para o local da construção; bem com os elementos da cobertura.

O segundo exemplo diz respeito à colonização de territórios longínquos. No Reino Unido, aquando a demanda de colonização no século XVII, habitações eram fabricadas em Inglaterra e os seus componentes enviados via Oceano Atlântico para a vila de Cape Anne, nos Estados Unidos da América. Durante o século XVIII e inícios do século XIX, quando a Inglaterra se expandiu para a Oceânia, novos equipamentos eram enviados por meio marítimo, nomeadamente casas, armazéns e pequenos hospitais. Todos estes componentes tinham a madeira como a sua matéria de origem. O facto de as peças de madeira necessárias serem enviadas cortadas e com as medidas necessárias, reduzia drasticamente o trabalho *“in loco”*, bem como aumentava a

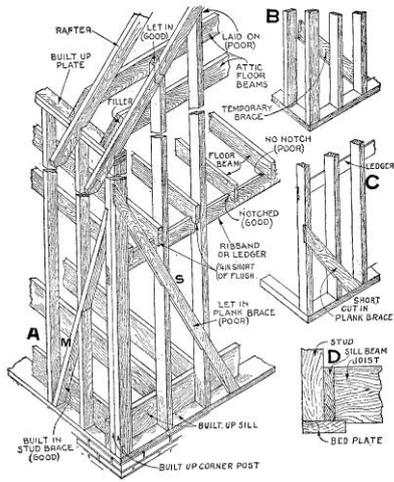


Fig. 1 – Balloon framing



Fig. 2 – Crystal Palace, Joseph Paxton



Fig. 3 – Vers une Architecture

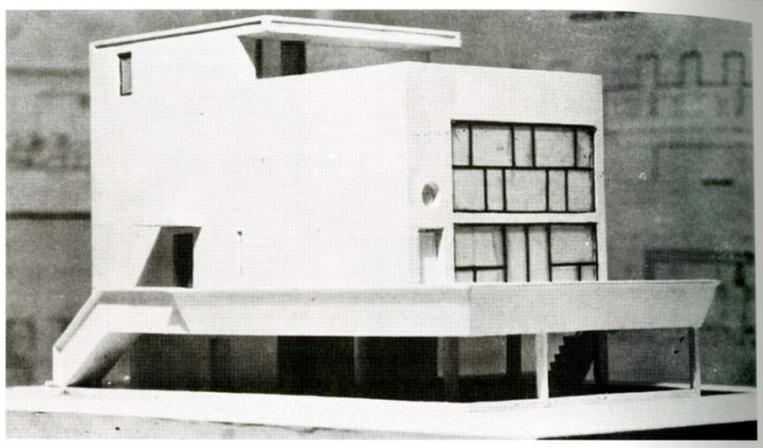


Fig. 4 – Citrohan House, Le Corbusier

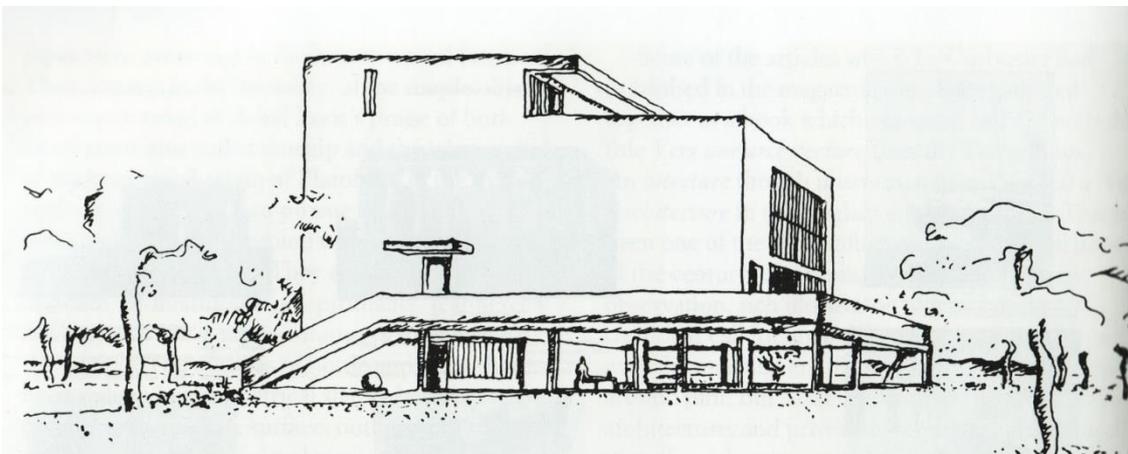


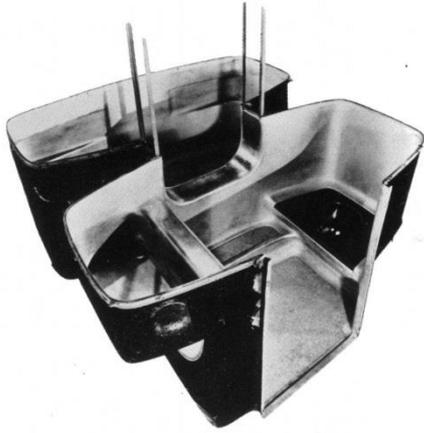
Fig. 5 – Citrohan House, Le Corbusier

rapidez de montagem dos mesmos. Durante a Corrida ao Ouro no do século XIX, na América do Norte, e com a divulgação do “balloon framing” como método construtivo (Fig. 1), as apelidadas “kit-homes” - casas com os seus componentes de madeira pré-cortados e estrutura leve - ganharam fama, devido à fácil construção e baixo custo.

O Crystal Palace (Fig. 2), da autoria de Joseph Paxton, em Londres no ano de 1851 para a Grande Exposição desse mesmo ano, trouxe a pré-fabricação de componentes a um novo nível. Com a Revolução Industrial, foi possível obter grandes peças em ferro fundido, produzidas de forma massiva, reduzindo assim o custo, bem como o tempo de construção do edifício. Este edifício marcou uma mudança na forma de pensar dos arquitectos, pois era a prova de que poderiam ser alcançados resultados de qualidade e belos tão simples quanto os meios de produção dos componentes.

Os avanços neste tipo de construção adoptaram mais tarde os processos e tecnologias de produção inseridos por Henry Ford aquando a construção do Modelo T, nomeadamente na utilização de uma linha de montagem, de modo a reduzir o tempo de produção e consequentemente o custo final. Aqui os princípios de standardização e produção em massa eram amplamente visíveis.

Le Corbusier também teve um papel importante na questão da pré-fabricação na arquitectura. Em 1923 escreve *Vers une architecture* (Fig. 3), um manifesto em que defende que a beleza da arquitectura moderna é descoberta na sua utilidade. Apreciador da perfeição construtiva e de concepção de aviões, automóveis e transatlânticos, estes eram vistos como exemplos máximos da nova estética decorrente da tecnologia e funcionalidade. Ideia que, pensava a arquitectura iria seguir. Le Corbusier via na arquitectura e na produção em grande escala uma das soluções para a sociedade, qualidade para todos e um preço acessível para todos. O arquitecto projectou a Citrohan House (Fig. 4 e 5), a qual ia ao encontro de uma das suas máximas: “*Une maison est une machine à habiter*” (Le Corbusier – Saugnier, Maio 1921, “Des yeux qui ne voient pas ... les paquebots”, *L’Esprit Nouveaux*, nº 8, p. 845-855). A ideia era criar um sistema construtivo baseado na standardização, do sistema construtivo e tipológico bem como dos componentes (janelas, portas, etc.).



ArchitectureWeek.com

Fig. 6 – *Unidade sanitária, Buckminster Fuller*

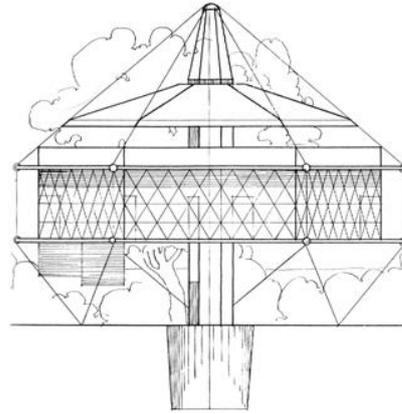


Fig. 7 – *Dymaxion House, Buckminster Fuller*



Fig. 8 – *Wichita House, Buckminster Fuller*



Fig. 9 – *Reconstrução do Pavilhão da Alemanha para a Exposição Internacional de 1929, Mies van der Rohe*

Outros intervenientes de referência na evolução da pré-fabricação na arquitectura foram o americano Richard Buckminster Fuller e o francês Jean Prouvé. Embora não possuindo uma formação tradicional como arquitectos, a influência de ambos no campo da arquitectura era inegável, pois grande parte do sucesso conquistado por ambos era devido às excelentes qualidades técnicas de que eram capacitados bem como a qualidade final dos seus projectos.

Em 1928, Buckminster Fuller, patenteia a Dymaxion House. Em 1936 cria uma unidade sanitária (Fig. 6) pré-fabricada que depois seria instalada nas habitações, sendo também fabricada para o exército americano durante a Segunda Guerra Mundial em 1940. No ano de 1944 redesenha a Dymaxion House (Fig. 7), apelidando-a de Wichita House. Com o fim da guerra Fuller ficou encarregue de converter fábricas de aviões, em unidades de produção de casas. A Wichita House (Fig. 8) era fabricada em alumínio e acoplada à estrutura com rebites. Esta tinha como vantagens ser muito leve, pesando menos de 3 toneladas, podendo ser enviada para qualquer lugar num camião e tendo ainda a capacidade de ser erguida apenas num dia.

Também em 1928, Mies van der Rohe, ficou a cargo do projecto do Pavilhão da Alemanha para a Exposição Internacional de 1929 em Barcelona (Fig. 9). Os componentes desta edificação foram produzidos na Alemanha e transportados para Barcelona onde seriam posteriormente montados. Este é um exemplo do debate alemão acerca da relação entre a Indústria e as Artes, diálogo sempre presente na Bauhaus alemã da época.

Gropius afirma *“The nature of an object is determined by what it does. Before a container, a chair or an house can function properly its nature must first be studied, for it must perfectly serve its purpose; in other words, it must fulfill its function practically, must be cheap, durable and beautiful”* (Gropius, Walter, Março 1926, p. 95 e 96) Isto demonstra a sua preocupação na arquitectura: industrialização e igualdade social. Em 1930 Walter Gropius, desenvolve um sistema de painéis de cobre, ideia que não foi concretizada devido ao início da guerra no continente europeu. Depois disso desenvolve então o projecto *“Packaged House”* (Fig. 10 e 11). Durante um período de cinco anos desenvolve juntamente com Konrad Wachsmann a ideia.

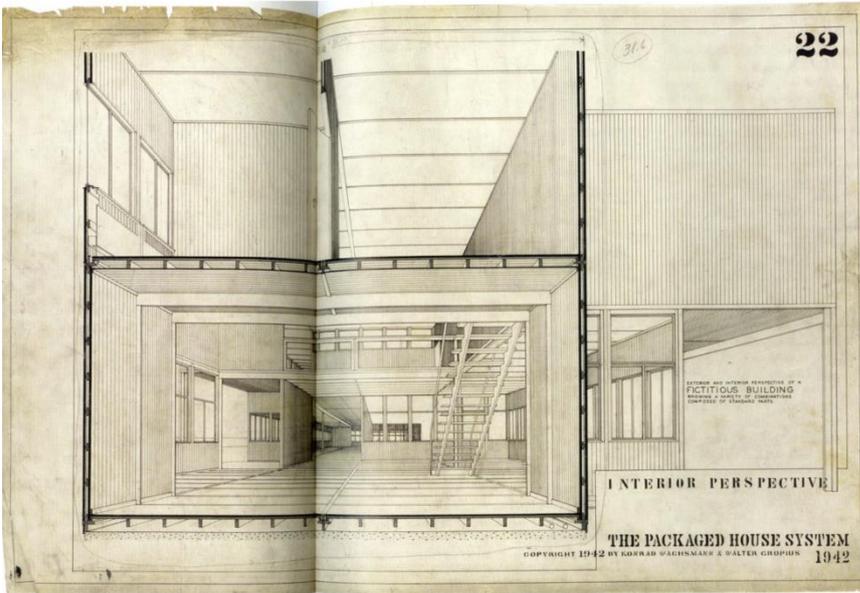


Fig. 10 – Packaged House System, Walter Gropius e Konrad Wachsmann

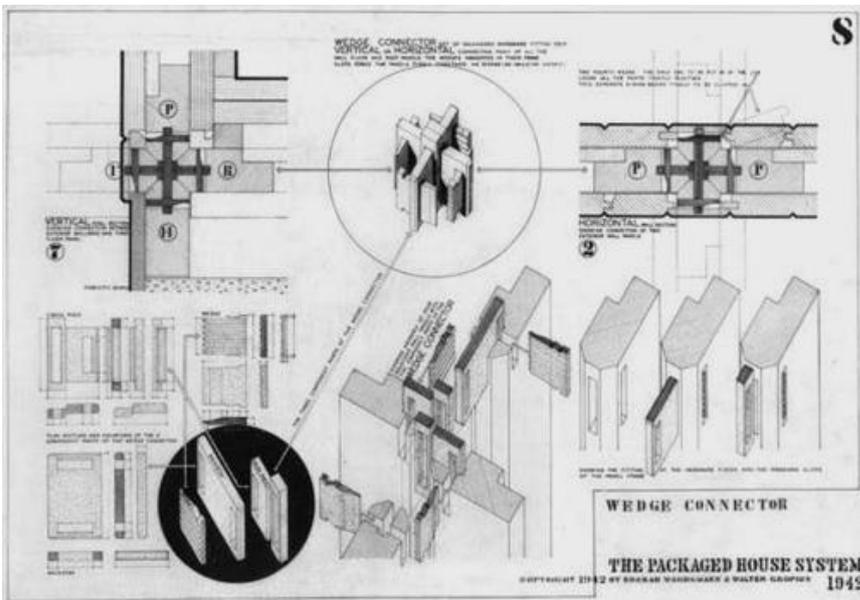


Fig. 11 – Packaged House System, Walter Gropius e Konrad Wachsmann



Fig. 12 – "kit-house", General House Corp.

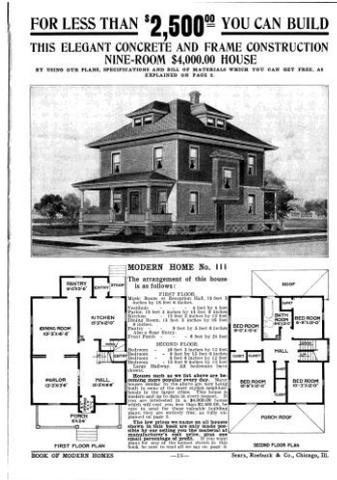


Fig. 13 – "kit-house", Sears



Fig. 14 – "kit-house", Aladdin

Em 1942 aparecia então um sistema de painéis que eram encaixados num sistema quadri-dimensional desenvolvido por Wachsmann, o que permitiria que os painéis tanto poderiam ser utilizados como parede chão ou cobertura. Todos os componentes eram produzidos em fábrica, “*offsite*”, e depois montados no local desejado. Apenas no ano de 1947 a linha de montagem estava preparada para a produção deste sistema construtivo de grande capacidade de personalização. Devido ao mau planeamento do produto na sua totalidade, foram investidos bastante tempo e fundos monetários, e aquando o seu início de produção já o governo norte-americano tinha utilizado os fundos para este tipo de iniciativas.

Em 1932, Howard T. Fisher desenvolveu a General Houses Corporation com o objectivo de produzir casas para abrigar a população no pós-guerra. Estas diferiam das casas de catálogo Sears e Aladdin, “*kit-houses*” tradicionais (Fig. 13 e 14), pois não era pretendido replicar a estética de antigamente, mas sim reflectir a nova maneira de produzir habitação, ou seja, a pré-fabricação (Fig. 12). Os esforços de Howard Fisher, similares ao de vários arquitectos da época, era produzir edifícios modernos, de cobertura plana, e com uma estética industrial. Ironicamente este produto não foi bem aceite e a General Houses Corporation foi mais tarde uma empresa de sucesso produzindo casa de estilo tradicional. Apesar de tudo, trouxe inovações para a pré-fabricação na arquitectura: uma habitação poderia ser construída “*offsite*” com componentes provenientes de variadas companhias diferentes, tal como os automóveis da época. O que se provou ser uma boa ideia. Em oposição, o projecto “*Packaged House*” de Walter Gropius e Konrad Wachsmann, obra referenciada anteriormente, tinha como característica o facto de todos os componentes serem produzidos na mesma fábrica. Além dos mesmos serem variados, existia a impossibilidade de utilização de outros elementos standard. Estes factores ajudaram para que o projecto se tornasse num falhanço comercial. Conforme notou Ryan Smith (Smith, Ryan E., 2010, p. 13) os avanços no pós-guerra não consistem na evolução técnica, mas sim num avanço metodológico e técnico ao nível do plano de negócios.



Fig. 15 – Meudon House, Jean Prouvé



Fig. 16 – HSBC, Norman Foster

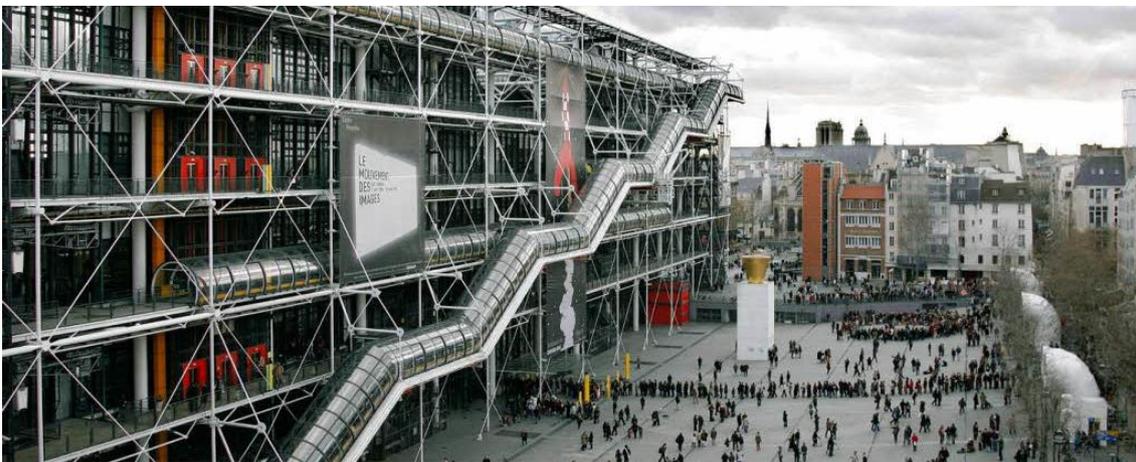


Fig. 17 – Centro George Pompidou, Richard Rogers e Renzo Piano



Fig. 18 – Parque Olímpico de Munique, Frei Otto

O tempo da Segunda Guerra Mundial foi marcado por uma forte evolução da indústria, bastante associados ao fordismo, bem como uma grande escassez de matéria-prima disponível para ser trabalhada, pois grande parte desta era destinado a projectos inseridos nas campanhas de guerra. Aquando o final desta, o número de soldados americanos que voltaram para o seu país fez disparar a procura no sector imobiliário. Por isso, em 1946, o governo implementou um programa para a produção de 850.000 casas pré-fabricadas no espaço de apenas dois anos. O projecto de Walter Gropius e Konrad Wachsmann, referenciado anteriormente, foi um dos que foram produzidos no programa acima mencionado, embora devidos a erros estratégicos esta ajuda não tenha sido utilizada.

Jean Prouvé teve também um papel importante na produção de habitação no período pós-guerra. Adoptou um design simples, leve e de fácil montagem, em ferro e com cobertura, chão e paredes em painéis de madeira. Todos os componentes eram pré-fabricados e a montagem era feita *“in loco”*. Em 1949 foi autor de um projecto experimental nos subúrbios de Paris, que consistia na construção de 25 unidades, conhecidas como Meudon Houses (Fig. 15), ainda existentes actualmente embora fortemente descaracterizadas.

Mais tarde, aquando o movimento da arquitectura *high-tech*, a partir dos anos setenta, a pré-fabricação na arquitectura voltou a estar fortemente presente. Aqui o intuito não era o da produção em massa e de baixo custo, mas sim a experimentação das novas tecnologias e novas formas de construir, impossíveis até então. Isto levou ao surgimento de obras de dimensões bastante grandes e na sua maioria das vezes associadas ao desenvolvimento e poderio económico, princípios relativamente contrários aos exemplos referidos anteriormente, embora este fenómeno não seja necessariamente causado pelos arquitectos, mas sim da sociedade. Nesta época temos como expoente máximo o Centro George Pompidou, em Paris, projectado pelos arquitectos Richard Rogers e Renzo Piano (Fig. 17). O Parque Olímpico de Munique (Fig. 18), da autoria Frei Otto, bem como a sede do banco HSBC em Hong Kong (Fig. 16), projecto do inglês Sir Norman Foster são outros exemplos de pré-fabricação da época.



Fig. 19 – *MIMA House, MIMA Lab*



Fig. 20 – *Modular System*

Na actualidade, o tema da pré-fabricação está novamente em destaque no panorama mundial da arquitectura. Por um lado, procura dar resposta ao grande crescimento económico e demográfico nas potências em desenvolvimento crescente, tal como o Brasil, China e Índia. Aqui muitas vezes a especulação imobiliária e a grande necessidade de criação de fogos habitacionais, vê na pré-fabricação uma rápida resposta a este problema, originando habitação que não corresponde aos standards de qualidade em vigor nos países ocidentais e/ou por outro lado cidades fantasma, como se tem verificado na China. Por outro lado, a cultura da madeira presente nos países nórdicos, aliada à grande qualidade de construção dos mesmos, tem originado obras de qualidade arquitectónica e construtiva. Exemplos mais pontuais, como o de pequenas habitações, estão também cada vez mais presentes, inclusive em Portugal, tal como o caso da MIMA House (Fig. 19), e da empresa Modular Systems (Fig. 20), como forma a dar resposta à actual contracção do sector da construção, oferecendo projectos de qualidade elevada e rápida construção, numa vertente pouco explorada no neste país: pré-fabricação e construção em madeira.

É importante referir que a história da arquitectura é sempre paralela à história da revolução industrial, embora seja sempre o último sector da indústria a adoptar as novas tecnologias.

2.2 - Prós e Contras

Até ao final do século XVIII, a manufacturação das peças para a construção, era uma actividade em que apenas um conjunto estava encarregue de todo o processo. Esta tratava do processo de concepção e transformação das peças. Não existiam os conceitos de linha transformadora e linha de montagem.

Com o aparecimento da Revolução Industrial, no final do século XVIII, a nova maquinaria permitiu introduzir grandes vantagens na pré-fabricação, principalmente a seguintes:

- Permutabilidade (*interchangeability*): permitiu que várias peças diferentes pudessem ser seleccionadas e montadas/encaixadas para dar origem a um único produto.

- Aumento da quantidade e qualidade da produção: passou a existir uma separação entre a manufactura primária e a linha de montagem (linha transformadora e linha de montagem), podendo esta ser feita "*off-site*" ou "*in loco*").

Principles	Offsite	Onsite
Cost		
Financing	interest reduced on shortened schedule, even draws, and leasing options, alternative methods might be seen as risky for lenders	traditional construction loan / mortgage financing, lending freezes make construction actuation difficult
Administration	administrator overhead reductions	bureaucratic layers for decision making
Insurances	lower contingency costs	higher contingency costs
Transportation	two stage delivery shop and site	raw material delivery only
Change orders	extra cost and delay	accommodated changes
Overhead	larger shop overhead—people, equipment, space, utilities	overhead is absorbed into construction budget
Schedule	duration reductions recapture investment earlier	schedule overruns are common increasing overall budget
Material	less scaffolding, formwork, and shuttering	increased scaffolding, formwork and shuttering
Craning	costly heavy duty cranes for setting	no cranes for small projects, large stationary crane for larger
Initial cost	higher investment in product	lower initial cost for normative projects
Lifecycle cost	greater ROI over long term	greater maintenance requirement
Profit	subcontractor overhead costs project more, savings from scope, material may not be passed onto customer	overhead fees are more transparent to owner
Design fees	higher due to coordination requirement	standard fees
Lean	reduce time waste increase value	waste laden process
Productivity	full 8 hours of work, sophisticated machines, digital tools available	productivity increases difficult
Economy	when strong plenty of residential work, but less commercial, when weak, less residential and more commercial	residential and commercial ebb and flow with markets
Schedule		
Duration	finish date met 50% reductions	schedule overruns are common
Scope coordination	extra coordination needed between site and plan	more time for coordination and opportunity to adjust dimensions
Schedule reliability	longer lead time, reduced erection time, reliable duration	shorter lead time, longer construction and less reliable
Permitting	streamlined in familiar jurisdictions opposite in unfamiliar	dependent on jurisdiction
Weather	sun always shines	delays due to weather are common
Work flow	concurrent scheduling	linear process
Subcontractors	fewer conflicts better sequencing	simultaneous trade crowding difficult
Supply chain management	coordinated and streamlined	uncoordinated and wasteful

Fig. 21

Principles	Offsite	Onsite
Labor		
Local labor	less local labor needed	local labor needed
Working conditions	improved working conditions and more stable job market	variable working conditions and more sporadic job market
Skill level	craft and technical skills needed	craft and problem skills are elevated
Subcontractors	fewer conflicts better sequencing	
Unskilled labor	supervision of labor, quality control process	unsupervised labor leads to portions of project being reconstructed
Labor comfort	ergonomics increased	physically difficult
Safety	reduced exposure to accident	accident prone job site
Health	better life style and mental health	more opportunity for variety in work
Skilled labor	less chance for skill development	more chances for skill development
Commute	factory near house—full 8 hour days and no out of town travel	out of town projects require commute times
Productivity	full 8 hours of work, sophisticated machines, digital tools available	less productive use of labor force
Union	declining due to immigrant population making less room for offsite	accommodates variety of labor types
Scope		
Supply Chain Management	long term supply chains for materials established	supplies restricted to project-based purchases
Coordination	extra coordination needed between site and plan	More time for coordination and opportunity to adjust dimensions
Flexibility	changes often cannot easily be made in field	Limited adjustment can be made easily in the field
Impact of changes	less accommodation	more accommodation
Maintenance	reduced maintenance and operations	higher maintenance and operations
Transportation	two stage delivery shop and site	raw material delivery only
Flexibility	changes not made in field	adjustments made in field
Design	requires higher level of detailing for assembly, only 50% with bridging documents	design intention communicated only
Production	predictable output, mockup and prototype required	difficult to anticipate, depends on skill level of construction crew
Regulatory	3rd party verifiers	local agency to inspect
Predictably	increase expected outcome	less predictable delivery
Staging	less material on site, but must be coordinated well	staging is logistically difficult
Accessibility	specialized companies, takes research and work	smaller construction companies

Fig. 22

PRÓS

Quando a pré-fabricação está presente na arquitectura existe a grande capacidade de realização de projectos de grande dimensão e importância através da produção em grande escala de todos os componentes. O facto de os produtos serem todos produzidos *“off-site”* reduz drasticamente o tempo de construção, pois não existe a necessidade de produção e/ou transformação dos materiais, sendo apenas necessária a montagem/montagem dos mesmos. Ao mesmo tempo o processo construtivo é independente das condições climáticas, pois os materiais são produzidos em ambiente controlado. O controlo de qualidade de todos os componentes é muito superior ao da construção convencional, pois todos eles passam por rigorosos testes, desde a fase de protótipo até à produção em grande escala. Existe também uma considerável redução do consumo de energia em obra. O factor económico está sempre presente na pré-fabricação tendo sempre todas as soluções em conta o factor *“custo-benefício”*. A pré-fabricação permite ao mesmo tempo a inexistência de derrapagens orçamentais durante a obra, pois o desperdício de materiais é muito reduzido e controlado, bem como existe plano de trabalhos estruturado e calendarizado. O facto de apenas existir a necessidade de montagem dos componentes no local da obra reduz imensamente o impacto ambiental aquando a montagem do(s) edifício(s). Outro factor não menos importante é a elevada qualidade da obra, bem como a maior segurança da mesma oferecida aos intervenientes humanos em todo o processo.

Principles	Offsite	Onsite
Quality		
Reliability	more reliable quality can be achieved in shorter amount of time	less reliable (depending on the site conditions and skill level of labor)
Coordination	integrated effort between factory and site	flexible coordination and adjustments
Design	integrated design and construction process	separation of design and construction
Production	predictable output, mockup and prototype required	difficult to anticipate, depends on skill level of construction crew
Regulatory	3rd party verifiers with industry knowledge	local jurisdiction with varied experience
Predictability	increase expected outcome	unpredictable quality
Innovation	R&D capacity and control	no research and development time or resources
Design flexibility	more restricted	more freedom
Equipment	easier access	equipment to and from site
Environment	lower waste, air and water pollution, dust and noise, and overall energy costs	difficult to manage waste and energy in construction
Handling	potential for damage during handling	smaller elements easier to handle
Joining	fewer joints, but difficult to detail	more joints, more potential for failure
Tolerances	great capacity, not forgiveness in module on site	forgiveness with details constructed on site
Fit	fewer points for water and air infiltration	more locations for infiltration
Quality of materials	quality control in SCM sourcing	contingent upon source
Warranty	opportunity for comprehensive warranty of products from one supplier	dedicated to each system supplier
Risk		
Cost	overall higher cost potential, more predictable	standard bidding process brings waste, cost is unpredictable
Handling	transit damage potential, cumbersome large scale unit install	multiple trips, smaller pieces for easier per install handling
Public perception	negative	NA
Innovative	greater innovation possible	more difficult to achieve innovation complexity
Safety to labor force	safe indoor labor conditions	statistically more dangerous
Tolerances	discrepancy between onsite and offsite elements present problems, element tighter tolerances	tolerances can be accommodated easily in onsite installation
Fit	if not fit, changing size of element is costly	onsite accommodation to fitting issues resolved without added cost
Quality	when increased, risk goes down	higher exposure to risk due to material and joint failure

Fig. 23

CONTRAS

A pré-fabricação no contexto da arquitectura não tem apenas aspectos positivos, embora os benefícios sejam amplamente superiores às desvantagens.

Dentro dos aspectos menos positivos é de destacar a menor facilidade de personalização do projecto, pois os componentes do mesmo estão dependentes dos modelos produzidos em fábrica. É necessário referir que esta desvantagem, pode e deve tornar-se um factor aliado dos arquitectos para os mesmos desenvolverem novas soluções económicas, engenhosas e de qualidade. Quando a pré-fabricação é utilizada em peças de grande escala, geralmente é requerida maquinaria pesada para o transporte e manuseamentos das mesmas, acarretando um maior custo económico. Este factor pode ser agravado quando existe uma grande distância espacial entre o local de fabrico dos componentes e o local de montagem dos mesmos. Outro factor apontado como negativo é o da repetição descontrolada de um edifício em particular no mesmo espaço. Quando este processo não é planeado por um arquitecto e inserido num projecto ou plano, os edifícios podem tornar-se monótonos e descaracterizados.

2.3 – Razões para a escolha da madeira

Em termos gerais, os edifícios podem ser divididos em três partes distintas, no que diz respeito a elementos construtivos, podendo estes ser associados: estrutura, paramento e infra-estruturas. A estes pode-se acrescentar um elemento de adaptação ao terreno (embasamento, por exemplo). Podem ainda dividir-se em dois grandes grupos: os que possuem uma estrutura de paredes autoportantes (Fig. 24) e os que possuem uma estrutura independente dos paramentos (Fig. 25). A pré-fabricação pode e deve ser utilizada para produzir todos estes componentes principais.

A estrutura deve ser resistente o suficiente para suportar o seu próprio peso, bem como o que lhe será adicionado posteriormente (sendo este variável), cargas verticais e horizontais, bem como se deverá adaptar a elementos climatéricos (temperatura) e atmosféricos (chuva/neve/granizo). As estruturas maciças são compostas por superfícies sólidas e contínuas. Estas podem ser em madeira empilhada, madeira laminada, betão, rochas, ou painéis metálicos. As estruturas leves funcionam como o esqueleto de um edifício (pilares, vigas, etc.) e são geralmente construídas em madeira, aço, alumínio, betão pré-esforçado, ou combinações de vários materiais.

A madeira é um material natural, existente em praticamente toda a superfície terrestre, sendo formada por água e celulose ligados por lignina. É fácil de manusear/manipular, baixa toxicidade, biodegradável e fácil de reciclar e/ou reutilizar. Este é também o único material utilizado na construção que possui um saldo de carbono positivo, ou seja, absorve CO₂ (dióxido de carbono ao invés de produzir).

A granulação da madeira é o que vai determinar as características mecânicas de cada espécie e é sempre mais resistente às cargas orientadas paralelamente à sua granulação. A madeira pode ser dividida em duas categorias. As madeiras duras e macias. Quase sempre a nomenclatura da sua classificação manifesta-se no seu comportamento mecânico, embora casos como o da balsa apresenta simultaneamente dureza e baixa densidade.



Fig. 24 – Sistema de paredes autoportantes



Fig. 25 – Estrutura independente dos paramentos / “light-framing”

As madeiras duras são geralmente utilizadas para acabamentos, chão e caixilharia. Historicamente as madeiras macias, economicamente mais acessíveis, são comumente utilizadas na construção de estruturas leves (*light-framing*). A evolução da ciência e da tecnologia permitiu que actualmente disponhamos de vários produtos derivados da madeira com características adequadas para a construção e muitas vezes economicamente mais acessíveis comparativamente à madeira maciça.

A madeira é ainda um excelente isolante, pois a sua condutividade é relativamente baixa, quando comparada com o vidro (23 vezes), mármore (90 vezes) e aço (1650 vezes). Isto significa que existiram menos trocas com o exterior. Tem também, contrariamente ao senso comum, um excelente comportamento no que diz respeito à resistência estrutural ao fogo, pois apesar de ser um combustível, arde lentamente e não sofre uma deformação na estrutura quando sujeito a altas temperaturas, em contraste com o aço e o betão. Também possui um bom comportamento em casos de sismos, ou do terreno ser volátil, pois as características mecânicas da madeira permitem que esta se dobre ligeiramente, não partindo nem criando rachas, como acontece quando a construção é em alvenaria e/ou betão. Além dos benefícios já referidos, a madeira é também um isolante acústico por excelência, bem como é agradável sensorialmente ao utilizador (tacto, olfacto, e visão).

A construção "*in loco*" em madeira requer um trabalho intensivo e desnecessariamente complicado. Também existe um grande desperdício de material, quando se efectua este processo. Daí a pré-fabricação dos componentes ser um factor chave para o sucesso deste tipo de construção. A pré-fabricação também permite que a madeira esteja sempre seca e a uma temperatura constante durante todo o processo de modo a que no futuro, enquanto parte estruturante de um edifício, não sofra contaminação por agentes nocivos à madeira, tais como certos tipos de fungos, de modo a manter todas as características de qualidade ao longo do seu ciclo de vida. Outra grande vantagem é a possibilidade de todos os componentes poderem ser cortados com uma enorme precisão, com a forma desejada, facilitando depois a sua montagem futura com tolerâncias extremamente pequenas. Tendo a capacidade de ser manipulada, laminada, reutilizada e reciclada, a madeira é uma escolha óbvia na

pré-fabricação de pequenos edifícios e cada vez mais de grandes complexos, pois cada vez mais a tecnologia nos permite resultados impressionantes.

2.4 – *Engineered Wood*, Derivados de madeira

Os derivados de madeira, comumente conhecidos como *Engineered Wood*, são produtos obtidos através da madeira com a intenção de colmatar as limitações desse material. Estes materiais podem ser divididos em dois tipos principais de compósitos, maioritariamente usados no sector da construção: o OSB (Fig. 26), painéis de partículas orientadas, e o LSL (Fig. 27), madeira lamelada colada. O OSB é um painel de madeira, sem função estrutural na construção, ao contrário dos LSL que são compósitos estruturais, substitutos da madeira maciça. Ambos os produtos são fabricados com partículas de madeira e colados com resinas naturais.

Comparativamente aos componentes de madeira maciça, os derivados de madeira, possuem uma maior capacidade de suporte de carga, tornando a estrutura não só mais resistente à sua carga própria como também aos ventos e terremotos. Quando aplicada correctamente, este material possui também uma maior durabilidade.

Tal como toda a madeira, este é um material “verde” pois é renovável. Apenas é necessária uma pequena percentagem de combustíveis fósseis para a produção destes materiais, existindo por isso uma diminuta pegada ecológica, bem como comparativamente às peças de madeira maciça existe um menor desperdício de material, cerca de 10 % comparativamente com cerca de 40 % de resíduos.

Dentro dos painéis LSL, existe um que possui características muito interessantes, que o tornam num dos materiais com mais futuro no sector da arquitectura e construção, sendo este o X-LAM (Fig. 28), madeira lamelada colada cruzada.

Este compósito é produzido a partir de lamelas de madeira coladas em extractos ortogonais. Maioritariamente feito a através de pinho, esta tecnologia pode ser adaptada a outras espécies arbóreas. Através da disposição num sistema de grelha das lamelas longitudinais e transversais, é possível reduzir praticamente a um valor



Fig. 26 – OSB



Fig. 27 – LSL



Fig. 28 – X-LAM

desprezável os empenamentos e variações dimensionais dos painéis X-LAM, como também aumenta consideravelmente a resistência e rigidez do mesmo.

Comparativamente a estruturas tradicionais em madeira, as estruturas com painéis de madeira lamelada colada cruzada oferecem diferentes formas de transferência de carga. Esta consiste na colagem de lamelas de madeira por camadas cruzadas usando 3, 5, 7 ou mais extractos dependendo da exigência do projecto. Para além da transferência unidireccional de carga (vigas e pilares), é também possível transferir cargas bidireccionalmente, sendo este um comportamento comum em elementos planos, tal como as lajes. Devido a estas características, esta tecnologia tem sido muito utilizada em elementos tipo parede, o que permite a inexistência de elementos lineares tipo viga ou pilar. Isto proporciona uma enorme estabilidade e capacidade estrutural, bem como permite a existência de zonas em consola ou em altura. Esta capacidade do X-LAM distancia-o dos sistemas construtivos tradicionais de madeira. É também necessário referir que as características mecânicas presentes neste sistema construtivo reflectem-se num comportamento sísmico superior às estruturas de betão e aço.

As características de condutibilidade térmica destes painéis apresentam valores ímpares de entre os materiais de construção com capacidade estrutural. Com apenas um painel simples de 95 mm de espessura, sem qualquer camada isolante extra, é possível satisfazer o desempenho mínimo requerido pelo RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios). O bom desempenho deste material na estação fria é suportado pela ausência de pontes térmicas planas e reduzidas pontes térmicas lineares. É também importante referir que as paredes compostas por painéis X-LAM apresentam características de resistência térmica por si só relevantes estas traduzem ainda uma melhoria significativa comparativamente às paredes de alvenaria que compõe a maioria dos edifícios em território nacional. Como já foi referido anteriormente, a madeira, pelas suas características higroscópicas é capaz de absorver, reter e libertar humidade. Isto permite que a construção tenha alguma capacidade natural de regular o teor de humidade no interior, resultando num óptimo ambiente interior e bons níveis de salubridade nas habitações.

3 – Arquitectura e ecologia

Neste capítulo será abordada a temática da arquitectura e ecologia. Relação muitas vezes apelidada de arquitectura bioclimática. Inicialmente será realizado uma pequena introdução, um breve contexto histórico, para percebermos quando foram iniciadas as relações entre as construções humanas e a natureza. Seguidamente irão ser analisadas várias componentes da fase projectual para o edifício ser ambientalmente responsável. Aqui podemos dividir em duas partes: sistemas passivos e sistemas activos. No contexto desta dissertação irão ser naturalmente mais analisados os sistemas passivos, tais como a luz solar, os ventos, os materiais, e o dimensionamento, para efeitos de climatização confortáveis ao ser humano sem recorrer a meios mecânicos.

3.1 – A tradição que se perdeu

Se nos deslocarmos temporalmente até às civilizações milenares, poderemos observar variados princípios de construção sustentável e com bons comportamentos térmicos. É também necessário ter sempre em conta que estas habitações primórdias de carbono-zero, possuíam níveis de conforto e qualidade de vida, não comparáveis aos necessários para o dia-a-dia na actualidade.

O uso de materiais locais e de formas simples é sempre um factor constante. O número de aberturas e formas das coberturas é variável, consoante o clima em que estas construções se encontram. Quando observamos as construções vernaculares do Norte da Europa (Fig. 29) é sempre observável a presença de cobertura inclinada e vegetal, de modo a reter o calor no interior, bem como a sua forma é devida a factores climatéricos como a queda de neve, de modo a que a estrutura não sucumba ao peso desta. Em zonas áridas e quentes, a argila foi sempre utilizada largamente pelas populações não nómadas como material de excelência na construção de habitação. Estes moldavam a argila misturada com água para formarem tijolos que secavam à temperatura ambiente.

O arquitecto egípcio Hassan Fathy, conduziu duas experiências, a primeira em 1946 e a segunda em 1967, na qual realizou projectos de habitação de custo controlado, em New Gourma (1946) e Kharga (1967) (Fig. 31 e 32), uma cidade localizada num oásis, atingindo resultados excelentes através da construção em métodos e materiais tradicionais. Através da abertura mínima de janelas o arquitecto conseguiu prevenir a entrada de qualquer tipo de luz directa no interior do edifício. Neste projecto também foi utilizado outro método bastante importante para manter a qualidade do ar no interior do edificado. Foram construídas chaminés de ventilação para garantir que a circulação do ar era feita através de correntes de convecção, que ocorrem naturalmente, pois o ar quente sobe e escapa através das referidas chaminés, ao invés de ficar acumulado no interior do espaço. Nestes casos particulares, os edifícios não são orientados para o sol, pois nesta zona a principal preocupação é evitar que o interior fique com uma temperatura demasiado elevado.



Fig. 29 – *Construção tradicional escandinava*



Fig. 30 – *Construção tradicional da Europa Central*



Fig. 31 – *New Gourma, Hassan Fathy*



Fig. 32 – *Kharga, Hassan Fathy*

Por isso os edifícios são orientados para a principal direcção de ventos, de modo a manter uma constante corrente de ar natural, para arrefecer o edifício naturalmente. Estes princípios experimentados em obra construída estão presentes na obra do arquitecto (FATHY, 1986).

Na europa central a construção também foi influenciada por dois factores principais: o clima e a matéria-prima presente na região. Como estas regiões são em geral ricas em madeira, este tornou-se naturalmente o material de excelência estrutural para a construção de todos os edifícios (Fig. 30). Normalmente a estrutura era construída em madeira, e as paredes completas com palha, barro, tijolo ou rochas como referem os autores Roberto Gonzalo e Karl J. Habermann (GONZALO, Roberto. ; HABERMANN, Karl J, 2006, p.11). Quanto ao método de assentamento no solo, estes variavam consoante o terreno. Por vezes as casas eram elevadas do solo através de um sistema de pilares ou com uma base constituídas por rochas. Aqui estas habitações também possuíam pequenas aberturas para o exterior, mas devido a uma preocupação diferente da referida nos projectos anteriores. Nesta região, este fenómeno acontecia não para evitar o sobreaquecimento, mas sim para minimizar as perdas de calor nas estações mais frias. A cobertura também era influenciada pelo clima, nomeadamente ao nível da sua inclinação, pois esta dependia de factores atmosféricos como a queda de chuva, neve e/ou granizo.

Como já foi referido em capítulos anteriores, quando foi possível ao ser humano obter uma temperatura constante e regulável no interior dos edifícios através de meios mecânicos, estes princípios, alguns deles se não na totalidade milenares, foram-se perdendo. Tal como refere Sir Norman Foster no seu ensaio sobre arquitectura e sustentabilidade, *“Environmental issues affect architecture at every level. Buildings consume half the energy used in the developed world, while another quarter is used for transport. Architects cannot solve all the world’s ecological problems, but we can design buildings to run at a fraction of current energy levels and we can influence transport patterns through urban planning. The location and function of a building; its flexibility and life-span; its orientation, its form and structure; its*

heating and ventilation systems, and the materials used, all impact upon the amount of energy used to build, run and maintain it, and to travel to and from it” (FOSTER, Norman, 2003, p. 2). Hoje em dia, com o aumento exponencial do consumo e do preço da energia, bem como o conhecimento da sociedade de variadas práticas destrutivas do ambiente por excesso de consumo energético, tornou-se indispensável a readopção de práticas de climatização passivas nos edifícios, aliadas a novos materiais e técnicas de construção.

3.2 – Sistemas passivos

A utilização de sistemas de climatização passivos prende-se com a optimização da capacidade de um sistema, neste caso uma habitação, de armazenar, conservar, captar a luz natural solar e o calor produzido pela mesma, proteger quando esta é indesejada, bem como dissipar e reciclar o ar. Estes efeitos podem ser atingidos e controlados através do desenho prévio do projecto em questão. Além destas questões, aquando a realização do desenho de um projecto arquitectura, o lugar tem sempre especial destaque. Este é importante não só para questões de índole mais arquitectónica, mas também devido à localização geográfica do mesmo e as suas características ambientais e climatéricas, as quais irão influenciar o desenho de modo a obter os efeitos pretendidos, referidos anteriormente. Só assim é possível obter um desenho de modo a que o edifício esteja de acordo com os princípios patentes da arquitectura bioclimática.

Implantação e Orientação

Aquando o projecto de um edifício diversos factores naturais devem ser tidos em consideração, de forma a que o volume construído possua um bom comportamento térmico. Assim é visado proporcionar um elevado nível de conforto aos utilizadores no seu interior. Dentro destes factores há que referir a envolvente construída, a topografia, a flora e paisagem, bem como as variações de temperatura e as direcções dos ventos predominantes.

Segundo a publicação *A Green Vitruvius: Princípios e Práticas de Projecto para uma Arquitectura Sustentável*, a orientação e forma de um edifício são determinantes para a obtenção de um bom índice de eficácia energética. Quando o desenho é bem realizado é possível reduzir os consumos de energia até 40%. (Ordem dos Arquitectos, 2001, p. 60). Historicamente, uma das regras clássicas do desenho solar passivo na arquitectura, no que diz respeito à habitação, consiste na colocação das áreas lazer e descanso, tal como salas e quartos, no lado sul. As zonas de serviço, tais como cozinhas

e instalações sanitárias, por oposição devem ficar colocadas no lado norte (GONZALO, Roberto. ; HABERMANN, Karl J., 2006, p. 92). Aquando a realização de um projecto de arquitectura, tendo em conta as premissas anteriormente referidas, o resultado origina um volume de menor profundidade e menos compacto, embora com resultados ao nível da utilização da luz solar tanto para efeitos de climatização como iluminação bastante positivos. Dito isto é possível concluir que as aberturas envidraçadas a sul devem ser privilegiadas, pois o ângulo de incidência solar varia bastante ao longo do ano, permitindo indices de incidência solar no interior do volume adequados consoante a estação. É necessário referir que foi tomado como referência o Hemisfério Norte, pois caso o objecto arquitectónico seja trabalhado no Hemisfério Sul deve-se realizar uma inversão programática no eixo Norte-Sul. Durante os meses mais frios, a incidência solar é recebida de forma mais directa, permitindo não só uma maior luminosidade como um aumento da temperatura interior através das fachadas envidraçadas orientadas a Sul. Durante o Verão, como a incidência dos raios solares é mais vertical, a luz que penetra directamente na fachada envidraçada do lado Sul é menor. Ainda assim é necessário a utilização de palas ou avanços da cobertura, de modo a que esta apenas seja apenas recebida de forma indirecta. Isto deve-se ao facto de a o planeta Terra estar mais próximo do Sol nos meses de Verão, sendo a quantidade de energia muito maior, provocando um aumento da temperatura indesejado, bem como de iluminação, no interior dos edifícios.

Iluminação e Sombreamento

A distância existente entre o Sol e a Terra, cerca de 8 segundos-luz, permite ao nosso planeta, condições excepcionais para a existência de vida. Apenas assim conseguimos receber luz solar em quantidade e qualidade necessária. No caso do ser humano, esta não só influencia a qualidade de vida a nível físico, como também a nível psicológico. Sendo os arquitectos criadores de parte do ambiente que o ser humano habita, a luz tem um papel crucial na prática da arquitectura. Assim esta constitui uma matéria imprescindível de tratamento na prática da disciplina.

Tendo em conta o contexto da sustentabilidade, a temática da luz solar está intrinsecamente associada a diversos factores. Destes é possível destacar as poupanças ao nível da energia que deverão ser alcançadas, maximizando a utilização da luz natural, de modo a criar espaços de qualidade que promovam uma vida confortável e saudável ao utilizar. Ao aproveitarmos as qualidades da luz natural para iluminar o interior dos espaços, é prevenido o aquecimento dos mesmos através da utilização de sistemas de iluminação artificial. Mas tal como é referido por Roberto Gonzalo e Karl J. Habermann, *“First and foremost, however, natural lightning is a key factor in the architectural design of a space and promotes the visual confort of the user”* (GONZALO, Roberto. ; HABERMANN, Karl J., 2006, p. 110). No entanto, por vezes, a utilização descontrolada da luz natural pode provocar efeitos contrários aos desejados, tais como o sobreaquecimento e/ou luz excessiva no interior dos edifícios. O sobreaquecimento provocará a necessidade de arrefecimento do espaço bem como causará desconforto físico ao utilizador, à semelhança do excesso de luz. Todos estes factores devem ser conjugados com alguns já referenciados no tópico anterior, de modo a obter o melhor aproveitamento possível da luz natural. Para tal, a utilização de elementos de sombreamento e deflexão da luz, poderá ser necessária, tendo em conta o volume do espaço bem como a orientação e área das zonas envidraçadas.

Tal como o nome sugere, os sistemas de sombreamento têm como principal propósito o controle da intensidade de luz natural que penetra em determinado espaço. Para uma boa utilização deste tipo de solução, independentemente do material e forma escolhida estes devem ser colocados sempre no exterior, de modo a que a luz não incida directamente sobre as áreas envidraçadas. Quando isto não acontece é possível controlar a quantidade de luz no interior dum espaço, mas não é possível usufruir da capacidade que estes dispositivos têm de evitar o contacto directo dos raios solares com os vidros. Nesta situação o interior aumentará de temperatura, o que não é desejado, na generalidade. Os sistemas de sombreamento podem também servir como sistemas de deflexão da luz, dependendo da sua forma, e material. Como a luz natural, apenas consegue penetrar a uma profundidade máxima de 6 metros dentro de um espaço (GONZALO, Roberto. ; HABERMANN, Karl J., 2006, p. 110), por

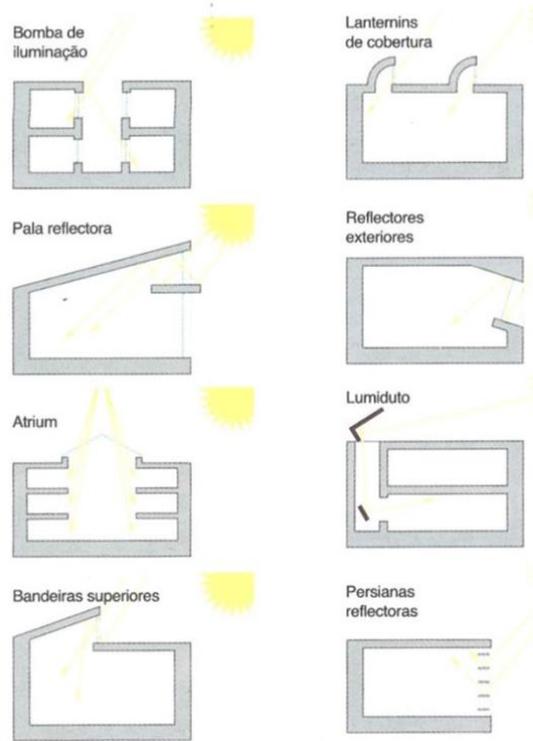


Fig. 33 – Sistema de controlo da luz natural

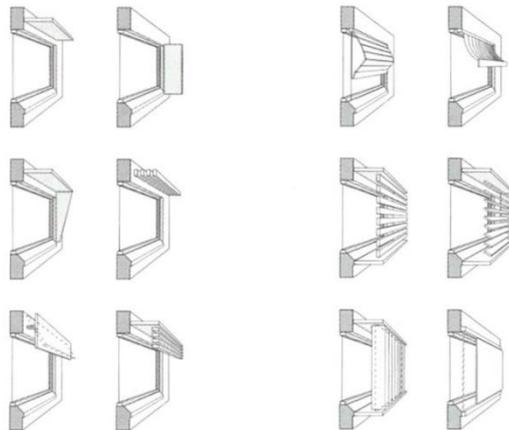


Fig. 34 – Sistema de sombreamento exteriores

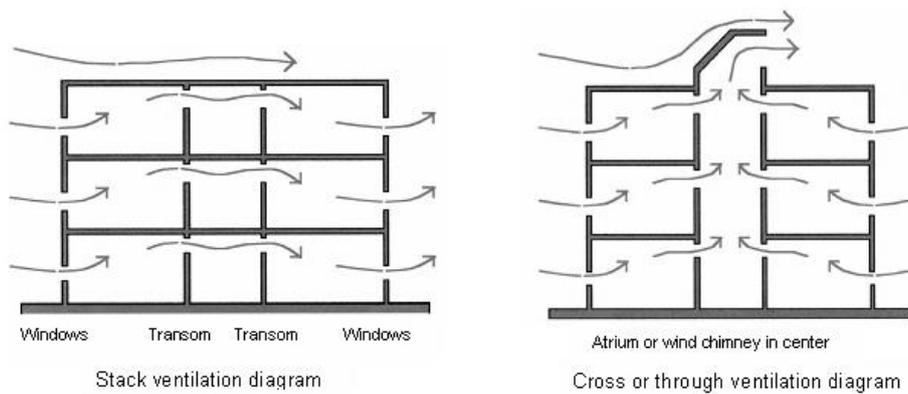


Fig. 35 – Esquema de ventilação cruzada e Efeito chaminé

vezes é necessária a utilização de sistemas alternativos para propagação da mesma no interior de todo o volume. É também necessário referir que estes sistemas não são somente utilizados em casos de espaços profundos, mas também quando se pretende uma luz difusa e homogénea, como são os casos das bibliotecas. Dentro dos sistemas de deflexão da luz natural são possíveis enumerar vários: bombas de iluminação; palas reflectoras; atriums; bandeiras superiores; lanternins de cobertura; reflectores exteriores; lumidutos e persianas reflectoras (sistemas representados nas Fig. 33 e 34).

Ventilação natural

A ventilação de um espaço é essencial para a vida dos utilizadores. Esta serve para renovar o ar no interior do espaço, de modo a que este não fique saturado (aumento da percentagem de CO₂ em relação a O₂). Para além deste factor, a ventilação natural de um edifício é bastante importante em climas temperados e quentes, pois no Verão, além de servir como meio de renovação ar, também exerce o arrefecimento do mesmo. A ventilação natural (Fig. 35), é um processo que consiste, na adequação do projecto às correntes de ar presentes no local (geralmente através de aberturas em eixos opostos). Outro método é o aproveitamento das características físicas do ar. Ou seja, como as massas de ar quente possuem um movimento ascendente, a colocação de uma chaminé, origina naturalmente a dissipação destas massas de ar para o exterior. É também necessário referir que a presença de um fluxo contínuo de ar contínuo num determinado espaço pode não originar a descida da temperatura do mesmo, embora provoque uma sensação de frescura ao utilizador.

Para obtermos um arrefecimento do espaço de modo passivo, isto é, sem recorrer a meios mecânicos, é necessário que a entrada de raios solares seja controlada, tal como já foi referido anteriormente. Quando as áreas que permitem contacto directo com o exterior (ex: janelas abertas), estão mal dimensionadas podem originar perdas de calor bastante acentuadas.

Para obtermos um arrefecimento do espaço de modo passivo, isto é, sem recorrer a meios mecânicos, é necessário que a entrada de raios solares seja controlada, tal como já foi referido anteriormente. Quando as áreas que permitem contacto directo com o exterior (ex: janelas abertas), estão mal dimensionadas podem originar perdas de calor bastante acentuadas.

Massa térmica

O conceito de massa térmica está associado à capacidade de retenção e libertação que um material possui. Um material com inércia térmica elevada é considerado “pesado” por oposição um material “leve”, que possui uma reduzida inércia térmica. Quando um material possui uma inércia elevada, como por exemplo a pedra ou o betão, este tem a capacidade de absorver uma grande quantidade de energia em forma de calor, e conseqüentemente liberta-a lentamente por determinado período. Quando estes materiais estão em contacto com o meio que os rodeia, geralmente acompanham o ciclo diário da Terra. Ou seja, durante o dia acumulam energia, e durante a noite libertam-na. Já num material com uma reduzida inércia térmica, tal como a madeira ou o aço, a capacidade de acumular energia é muito mais pequena, sendo as trocas efectuadas bastante mais rapidamente. Quando associamos a madeira e o conceito de massa térmica, estamos a falar de estrutura (*light-framing*), como é referido no capítulo anterior, revestido por delgados painéis. A madeira maciça e os derivados possuem características físicas, térmicas e mecânicas diferentes, podendo estes variar de capacidade de transferência de calor.

Quando optamos por um edifício “leve” ou “pesado” não existe uma opção de material melhor que outra. Tudo deve ser ponderado, pois embora numa estrutura de madeira ou metálica seja mais difícil controlar as trocas de calor com o exterior, pois este aquece e arrefece mais rapidamente quando comparado a uma estrutura de granito. O dimensionamento dos vãos, dos sistemas de sombreamento e ventilação, associados a uma rapidez de construção e custo, pode trazer bastantes vantagens. É também necessária uma maior atenção em relação às pontes térmicas neste tipo de estruturas. Os edifícios “pesados”, tem como grande vantagem a melhor captação dos

ganhos solares para climatização do interior do mesmo, embora seja necessário ter em conta que o efeito de massa térmica tem mais a ver com a área de exposição do que com a espessura do material (Ordem dos Arquitectos, 2001, p. 64). Uma desvantagem deste tipo de sistema é visível quando as temperaturas são bastantes baixas, pois como o material não aquece o suficiente durante o dia é necessário recorrer a outros métodos para criar uma temperatura confortável no interior.

Isolamento

A criação de uma camada isolante em torno do edifício é importantíssima para reduzir as trocas de calor com o exterior. Assim conseguimos que os espaços interiores se mantenham a uma temperatura constante. Estes podem ser de origem natural, tal como a fibra de cânhamo, ou industrial, tal como o poliestireno. Cada um possui diferentes características, que por sua vez origina vantagens e desvantagens que devem ser ponderadas pelo arquitecto aquando o desenho do edifício. Outro factor que influencia o futuro comportamento térmico do edifício é a qualidade da aplicação do isolamento, pois uma má aplicação do mesmo pode resultar em efeitos contrários aos pretendidos.

O isolamento de um edifício pode ser realizado tanto pelo exterior como pelo interior. Quando este é efectuado pelo interior, origina uma separação do espaço interior da massa térmica da parede e consequentemente reduz o tempo de resposta, bem como a quantidade de energia necessária para criar um ambiente térmico confortável no interior do espaço, tal como é referido pelos autores da publicação “A Green Vitruvius” (Ordem dos Arquitectos, 2001, p. 65). Outro motivo para a aplicação do isolamento deste modo, é a materialidade exterior pretendida pelo arquitecto, (ex: construção de betão aparente). A grande desvantagem do sistema de isolamento pelo interior, consiste na possibilidade da existência de pontes térmica incontornáveis e consequentes condensações.

Quando o método escolhido é o isolamento pelo exterior, o resultado é uma maior capacidade térmica útil (Ordem dos Arquitectos, 2001, p. 64). Aqui o tempo necessário para o aquecimento do interior é mais elevado, comparativamente ao sistema anteriormente apresentado, pois poderemos tirar partido da massa térmica das paredes, chão e tecto. No entanto a temperatura é sempre mais constante, pois o espaço levará mais tempo tanto para aquecer como para arrefecer. Outra vantagem deste sistema prende-se com uma maior facilidade de correcção das pontes térmicas. Como não existe nenhum sistema perfeito, quando o isolamento é realizado pelo exterior, pode existir uma degradação mais rápida deste material, pois as diferenças de temperatura são mais acentuadas.

Outro sistema, bastante comum em Portugal, é o do isolamento na caixa-de-ar. Este é aplicável quando existe parede-dupla, podendo o espaço resultante entre estas ser preenchido total ou parcialmente. Este sistema reduz bastante o risco de condensações dentro do edifício bem como as pontes térmicas.

Hoje em dia o sistema do isolamento em caixa-de-ar vem caindo em desuso, em favor do isolamento pelo exterior, tanto pela facilidade de aplicação e correcção de pontes térmicas, bem como pelo factor económico, pois a espessura da parede diminui, resultando numa menor quantidade de material e tempo necessários para a construção das mesmas. O isolamento pelo interior é bastante utilizado em casos de construção em betão aparente, tal como mencionado anteriormente, bem como nas reabilitações de edifícios. Aqui geralmente é necessária a não alteração das fachadas, de modo a preservar o património e identidade dos espaços, o sistema de isolar o edifício pelo interior, torna-o menos invasivo.



Fig. 36 – Painel solar térmico



Fig. 37 – Painel solar fotovoltaico

3.3 – Sistemas activos

Contrariamente aos métodos apresentados anteriormente para uma maior eficiência energética num edifício bem como o conforto dos utilizadores, os sistemas activos não necessitam de estar integrados no desenho de arquitectura para que estes tenham níveis de optimização elevados. Embora isto seja verdade, para que estes se integrem em harmonia com o edifício, devem “*a priori*” ser analisados pelo arquitecto em função das suas características para que sejam uma das premissas de projecto.

Os sistemas activos podem-se dividir em dois grupos distintos: os que produzem energia, e os que necessitam de energia para efeitos de climatização. Do primeiro grupo fazem parte os painéis solares, que por sua vez se dividem em painéis solares térmicos e painéis solares fotovoltaicos. Também fazem parte os meios de produção de energia eólica e geotérmica. No segundo grupo temos os sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento, bem como ventoinhas de extracção e/ou renovação de ar.

Os painéis solares térmicos (Fig. 36), tem como principal função o aquecimento da água utilizada pelos utilizadores. Já os painéis solares fotovoltaicos (Fig. 37), apesar do seu aspecto semelhante tem outro propósito. Este é a produção de energia eléctrica. Sendo esta impossível de armazenar para obter uma grande eficiência de utilização, para além da eficiência energética do próprio sistema, tem que ser utilizada ou injectada na rede, de modo a que não haja dissipação da energia produzida. Apesar de Portugal possuir uma exposição muito favorável a este tipo de sistemas, o seu custo, bem como a sua eficiência, são factores que influenciam muitas vezes a não adopção dos mesmos, embora actualmente medidas legislativas obrigam a novas edificações a implementação destes.

A energia eólica, tal como a denominação indica, é um tipo de energia produzida a partir dos ventos. Esta é utilizada desde a antiguidade. Antigamente possuía um cariz mecânico, tais como os moinhos de vento (Fig. 38), sendo hoje a sua principal utilização para a produção de energia eléctrica (Fig. 39).



Fig. 38 – *Moinho de vento tradicional*



Fig. 39 – *Gerador eólico*

Esta apresenta como grandes desvantagens o grande impacto paisagístico que provoca, um elevado custo de construção, bem como o facto de estar demasiado dependente dos ventos existentes. Daí serem colocadas geralmente em zonas elevadas da paisagem. Hoje em dia existem sistemas mais pequenos que podem ser inseridos numa habitação, embora a eficiência destes seja pouco apelativa.

Quanto à energia geotérmica, esta é extraída a partir das características naturais das camadas interiores do solo terrestre. Pode ser dividida em duas abordagens distintas. Quando as condições naturais assim o permitem, é possível a produção de energia eléctrica através da grande quantidade de calor libertada pelo solo, bem como para aquecimento dos espaços, termas e culinária. Uma segunda abordagem, esta mais passiva, é também possível e começa nos dias de hoje a ter uma maior aplicação. Consiste em tirar partido do conceito de massa térmica do solo terrestre, abordado anteriormente, para efeitos de climatização de espaços interiores. Este efeito é possível através da instalação de tubos que conectam o espaço interior até uma determinada profundidade, em que o ar do interior da terra (a uma temperatura inferior) é extraído mecanicamente até ao interior do espaço pretendido.

Como foi referido no início deste capítulo, no contexto desta dissertação, os sistemas passivos, possuem uma maior relevância em relação aos sistemas activos, pois os primeiros são factores condicionantes de desenho, sendo o objectivo final a possibilidade de inserção de um modelo habitacional em áreas paisagisticamente sensíveis. Para tal é primordial a melhor adaptação possível do mesmo às características naturais do ambiente. No entanto, com os padrões de qualidade de vida actualmente em vigor na nossa sociedade, para que a referida habitação possa ser cem por cento *“off the grid”*. Esta necessitará de alguns meios de produção de energia, devendo estes ser o mais ambientalmente correctos possível.

4 – Análise crítica de casos de estudo

Ao longo deste capítulo serão analisados alguns exemplos de projectos de arquitectura em que o tema da pré-fabricação está patente. Estes serão alvos não de uma análise extensiva, mas sim perante determinados parâmetros.

Os projectos serão estudados segunda a sua tipologia, sistema construtivo/reversibilidade e ecologia/autonomia. Para cada um destes temas será analisada uma ou duas obras.



Fig. 40 – *House in The Museum Garden*



Fig. 41 – *House in The Museum Garden*

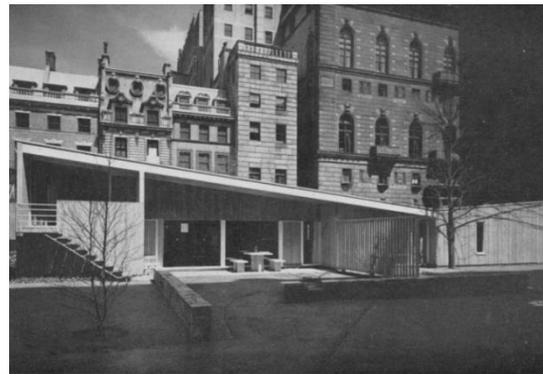


Fig. 42 – *House in The Museum Garden*



Fig. 43 – *Sala principal*



Fig. 44 – *Sala de jogos*

4.1 – Tipologia

Em 1948, o Museum of Modern Art (MoMA, em Nova Iorque), comissionou o arquitecto Marcel Breuer para a elaboração e construção de um projecto de habitação unifamiliar. Esta deveria ser de preço moderado, pois tinha como público-alvo a família típica de classe média americana da época. Esta era constituída por quatro elementos. Dois adultos e duas crianças. O projecto deveria ser pensado para o cidadão que trabalha numa grande cidade e habita nos seus subúrbios. O intuito deste projecto era provar que seria possível construir uma habitação de boa qualidade arquitectónica sem um custo acrescentado. Este não foi um projecto de habitação mínima, e estava prevista a inserção do mesmo num terreno com cerca de 4000 m².

Esta habitação, denominada The House in the Museum Garden (Fig. 40), foi projectada com o pressuposto de ser adaptada à vida da família-alvo. Compreendendo que esta possui geralmente dois ciclos de vida, Marcel Breuer planeou a casa de modo a esta ser construída em duas fases distintas, cada uma correspondendo ao período temporal de cada ciclo. O primeiro ciclo compreende dois adultos e duas crianças, sendo o segundo compreendido pelos mesmos dois adultos e dois jovens. Na primeira fase a casa tinha como programa dois quartos, uma sala anexa (Fig. 44) aos mesmos, uma sala principal (Fig. 43), cozinha, dispensa e uma casa de banho. Na segunda fase de construção, eram adicionados à casa uma garagem no piso térreo, e um quarto com suíte por cima desta, estando conectado ao resto da habitação através da sala. A inclinação da cobertura permite que a habitação se expanda, mantendo a mesma linguagem e qualidade arquitectónica. Isto permite também que a mesma passe a possuir dois pisos [garagem (piso térreo) + suíte (piso 1)].

Quando a segunda fase está concluída, a habitação está claramente dividida em dois apartamentos. A obra poderia também ser executada logo na versão completa. A zona inicial de quartos, junto com a sala anexa, forma um apartamento. A sala principal, juntamente com a nova suíte forma o segundo apartamento, que pode ser fisicamente separado do resto da casa. A cozinha, juntamente com a dispensa servem de núcleo central. Isto verifica-se tanto na versão reduzida como na versão completa, sendo no estado final as únicas zonas comuns dos dois apartamentos.

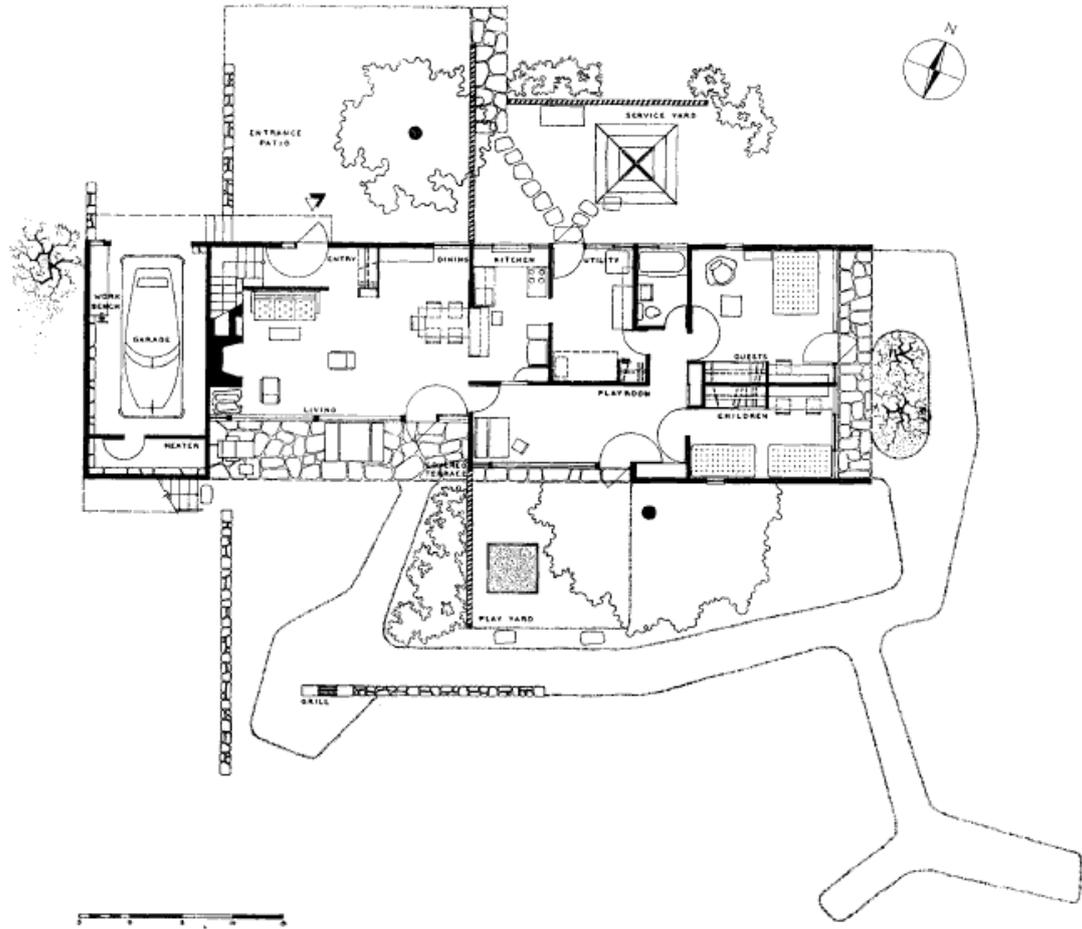


Photo by Merit Studios, Inc.

Fig. 45 – Planta piso térreo (segunda fase)

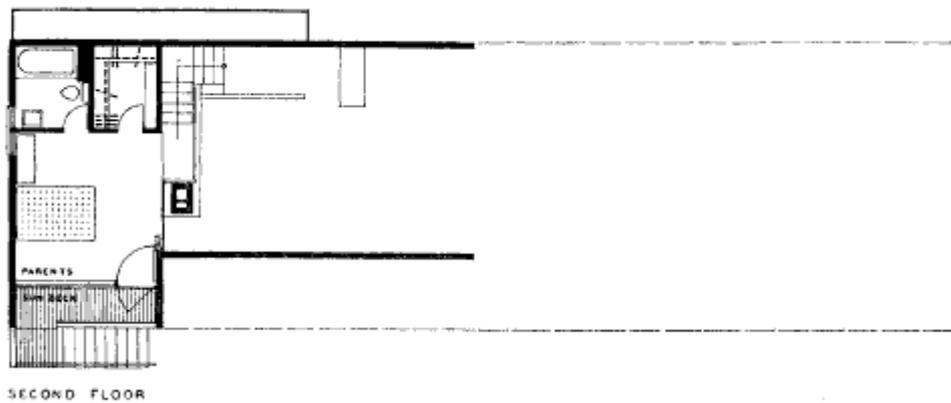


Fig. 46 – Planta primeiro piso (segunda fase)

Esta obra é um bom exemplo, para o projecto desta dissertação, ao nível da sua variação tipológica. Embora esta não esteja focada na pré-fabricação dos seus componentes a nível industrial, levanta questões bastante pertinentes ao nível da tipologia, bem como sobre o ciclo de vida da habitação em consonância com os seus utilizadores. Faseando a construção em duas partes, o arquitecto aumenta o tempo de vida do espaço, precavendo a necessidade futura de aumento de espaço. A escolha de um sistema construtivo que não requer mão-de-obra qualificada, torna possível a compra do projecto por parte do utilizador em qualquer localização geográfica e futura construção. Esta opção também possui os seus pontos negativos. Não existe um controlo de qualidade da obra por parte do arquitecto, bem como possíveis adulterações ao projecto original.

4.2 – Sistema construtivo / Reversibilidade

Neste subcapítulo serão analisados dois projectos segundo o seu sistema construtivo e respectiva capacidade de reversibilidade (possibilidade de desmontagem). A Packaged House e a Maison Démontable 8 x 8.

O projecto Packaged House (1942) é um grande exemplo de um sistema construtivo modular pré-fabricado. Este foi desenvolvido pelos arquitectos Konrad Wachsmann e Walter Gropius.

Não existindo uma preconcepção do resultado final da habitação o projecto focou-se no sistema construtivo. Sendo este constituído por painéis com 40" x 120" (101,6 cm x 304,8 cm) em módulos de 40" (101,6 cm), funcionava de forma tridimensional. Ou seja, os painéis podiam ser utilizados tanto como chão, paredes e coberturas. Estes elementos eram depois conectados nas suas extremidades por peças metálicas planas em forma de cunha (Fig. 49). Todos estes elementos eram pré-fabricados, facilitando e agilizando todo o processo construtivo no local pretendido. Era também possível a desmontagem dos mesmos e remontagem noutra local. A peça principal (Fig. 47) tem como função a conexão de todos os painéis a partir de qualquer eixo principal predefinido. Este mesmo elemento providencia também as conexões entre os painéis verticais e horizontais.

Este projecto foi bastante visionário no seu tempo, apesar do seu fracasso a nível comercial, como foi explicado anteriormente (Capítulo 2), pois permitia a junção de elementos semelhantes, em direcções e funções diferentes através do mesmo sistema. É também necessário evidenciar que o sistema desenvolvido pelos dois arquitectos era algo complexo.



Fig. 52 – Maison Démontable 8x8 (Vista exterior) - Reconstrução



Fig. 53 – Maison Démontable 8x8 (Vista interior)



Fig. 54 – Maison Démontable 8x8 (Vista interior)

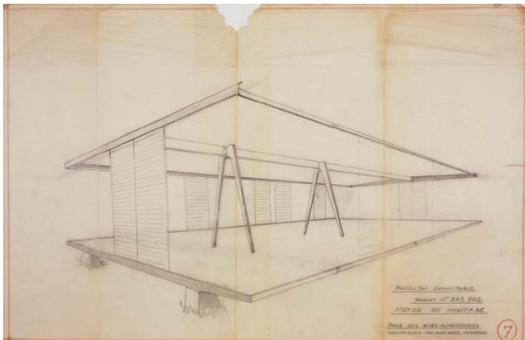


Fig. 55 – Axonometria da estrutura



Fig. 56 – Axonometria da estrutura

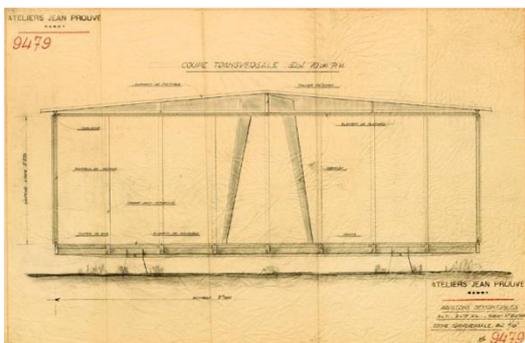


Fig. 57 – Corte transversal

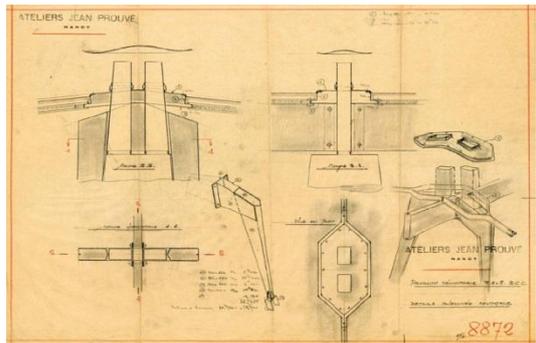


Fig. 58 – Pormenor de encaixe da estrutura

A Maison Démontable 8x8 (1945), da autoria de Jean Prouvé, foi um projecto desenvolvido após a Segunda Guerra Mundial, para colmatar a falta de habitação em França, devido à destruição que ocorreu durante o conflito bélico.

Esta casa, de apenas uma divisão e sem instalações sanitárias, era erguida através de um interessante sistema de vigas de aço móveis, com charneira num pórtico central (Fig. 57 e 58), também este em aço. Era de seguida revestida com painéis de madeira, nas paredes, possuindo estes também função estrutural (Fig. 55 e 56). Alguns destes painéis possuíam janelas incorporadas nos mesmos (Fig. 54). O chão era composto por tábuas de madeira assentes numa estrutura metálica em grelha. Já a cobertura era efectuada com placas de aço. No final a estrutura era aparafusada na ligação das vigas móveis com o pórtico metálico. Pontualmente eram deixados espaços sem painéis verticais, que seriam ocupados por grandes janelas, na fase de montagem. No final eram rematados todos os encaixes com perfis metálicos.

Este projecto, a Maison Démontable 8x8 (Fig. 51), é um dos exemplos criados por Jean Prouvé utilizando este mesmo sistema construtivo. Existiam várias versões desde 6x6 até 24x8 metros. Esta grande possibilidade de configurações demonstra a versatilidade deste sistema construtivo. Além da grande capacidade de configuração a nível espacial, este sistema permite um processo de montagem e desmontagem rápido e simples.

Contrariamente ao sistema construtivo presente no projecto apresentado anteriormente (Packaged House), este é bastante mais simples e intuitivo, apesar de ter uma maior variedade de peças de sistemas de encaixe. Este possui uma menor capacidade de personalização ao nível da planta comparativamente à Packaged House.

Estes projectos, apesar de serem dois excelentes exemplos das possibilidades da pré-fabricação nos campos da arquitectura e da construção, hoje em dia não são praticáveis, pois ambos estão em incumprimento com o conforto necessário para o ser humano actual habitar um espaço. No entanto apresentam conceitos, como o da facilidade da montagem e desmontagem (reversibilidade), bem como o do aproveitamento do mesmo sistema de encaixe para elementos verticais e horizontais, que devem ser explorados pela arquitectura actual.



Fig. 59 – Diogene (Vista exterior)

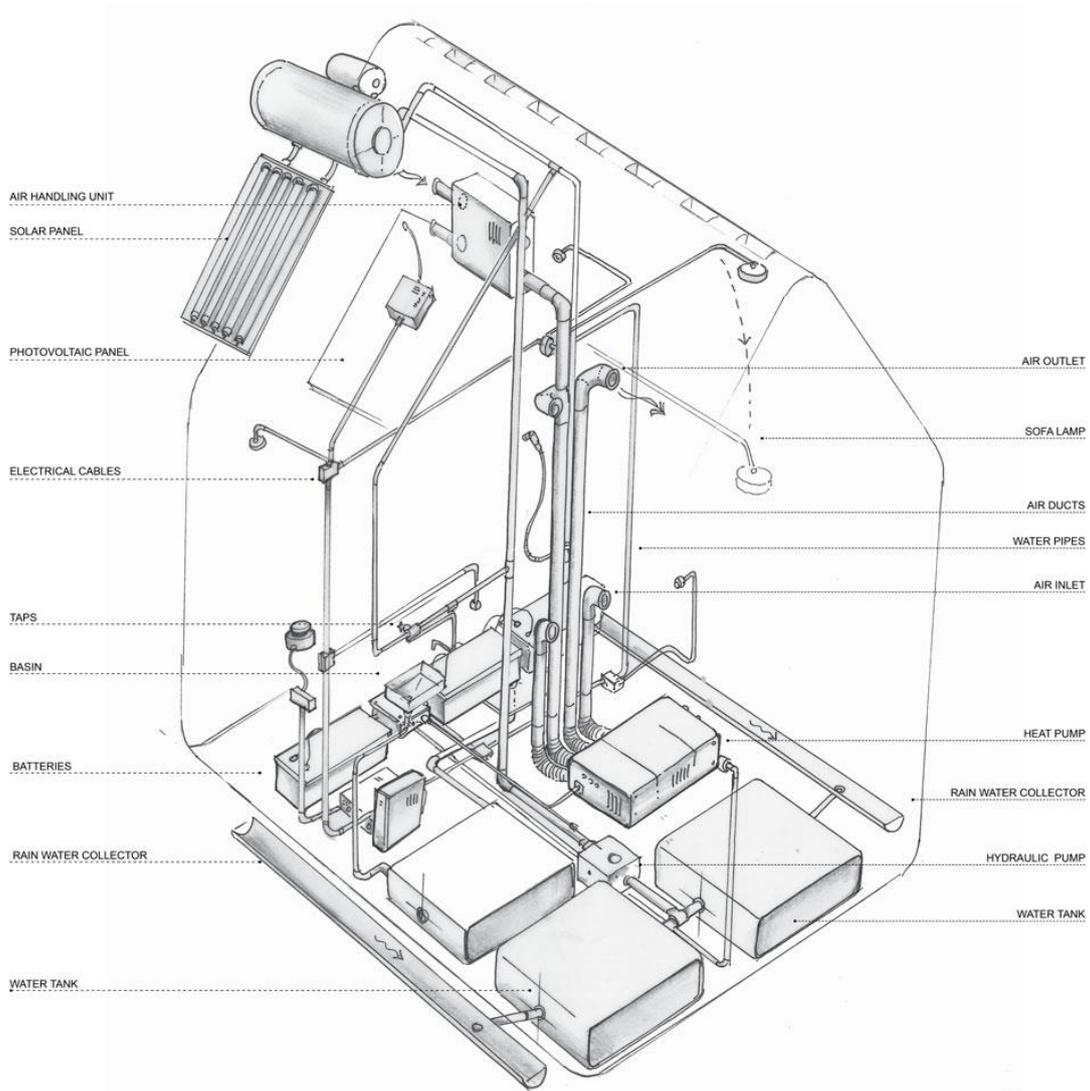


Fig. 60 – Axonometria infra-estruturas

4.3 – Ecologia / Autonomia

A casa Diogene (2013), do arquitecto Renzo Piano, é um projecto de habitação mínima auto-sustentável. Para efeitos desta dissertação a análise recairá naturalmente na sustentabilidade energética do projecto.

Possuindo uma estrutura em madeira, revestida com painéis de alumínio (Fig. 63), este módulo habitacional possui uma área útil de 5,76 m² (2,4 x 2,4 m), altura útil de 2,3 metros e pesa cerca de 1,2 toneladas. Sendo este um sistema portátil e auto-sustentável a nível energético, pode ser habitado sem estar ligado à rede águas, esgotos e electricidade. A água é recolhida da atmosfera, quando chove, através de calhas (Fig.60), sendo posteriormente armazenada em tanques localizados na parte inferior da estrutura e reutilizada. De seguida esta é bombeada para o interior quando desejado. Possui também uma sanita de compostagem (Fig. 61), evitando a utilização da rede de esgotos ou fossas sépticas. A energia é produzida através de painéis solares fotovoltaicos e armazenada em baterias (Fig. 60). Esta casa possui também um painel solar térmico para efeitos de aquecimento das águas. Foram também utilizados princípios passivos para a ventilação e climatização do interior (entradas de ar a uma cota inferior e saídas de ar a uma cota superior).

A análise infra-estrutural deste projecto é bastante pertinente neste contexto, pois cumpre pressupostos bastante semelhantes aos propostos no início desta dissertação. Sendo um módulo habitacional com o pressuposto de ser energeticamente auto-suficiente, são cumpridos quase todos os requisitos na totalidade, sendo o sistema de reaproveitamento das águas cinzentas o que parece estar menos bem resolvido, pois são necessários sistemas de filtragem da mesma não sendo estes explícitos no projecto.

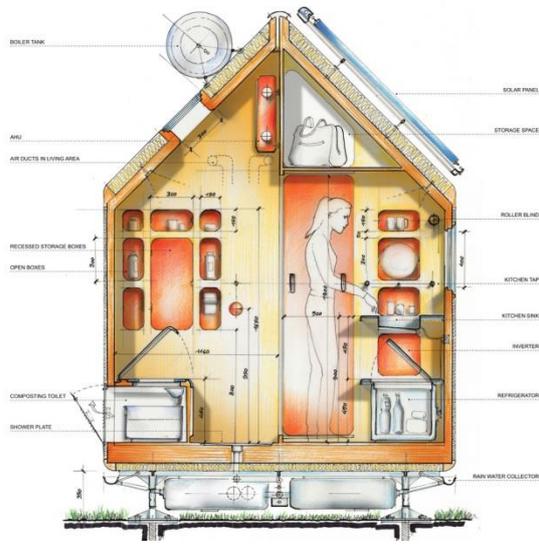


Fig. 61 – Diogene (Corte transversal 1)

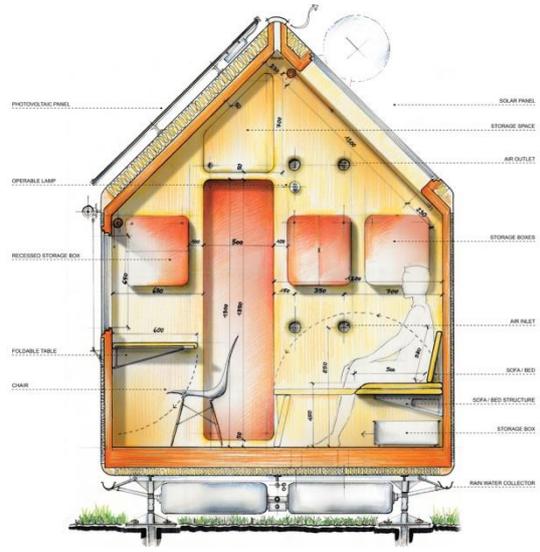


Fig. 62 – Diogene (Corte transversal 2)

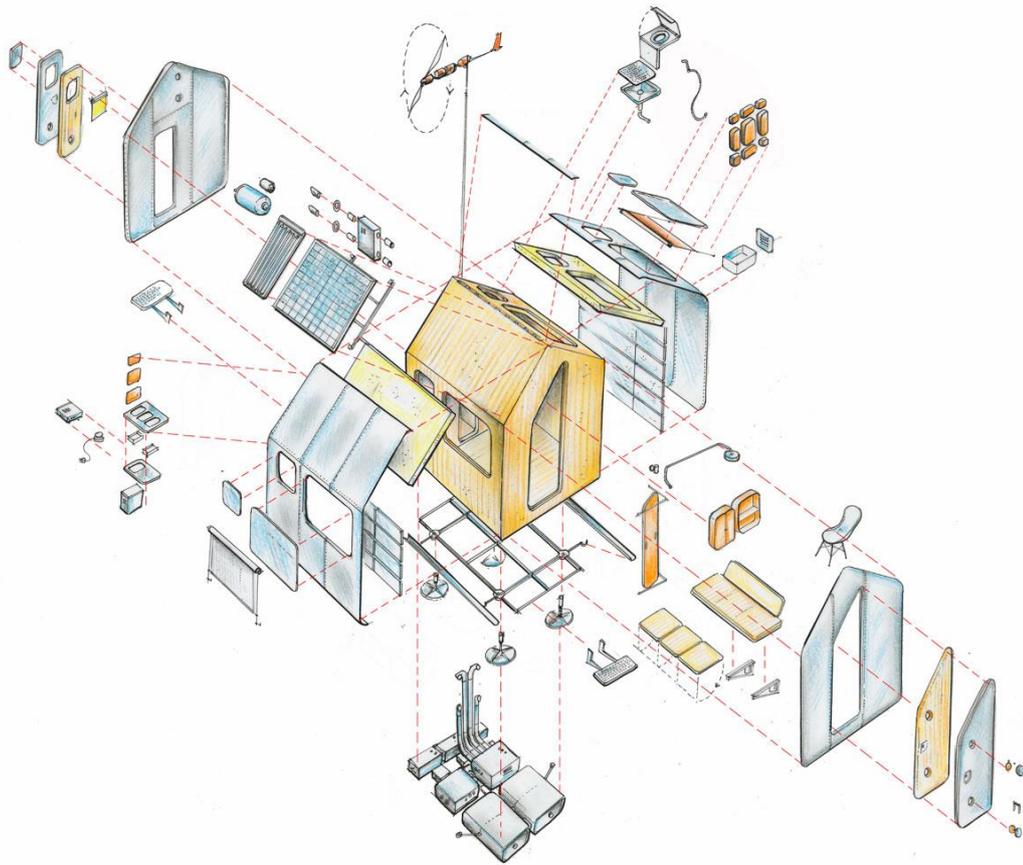


Fig. 63 – Diogene (Axonometria esplodida)

5 – Considerações finais

Concluída a primeira parte desta dissertação, na qual foram abordadas as temáticas da pré-fabricação, construção em madeira e arquitectura e ecologia, estão reunidas as condições para a elaboração do projecto proposto no início da mesma. Um módulo habitacional, pré-fabricado em madeira e de carácter reversível, visando a inserção do mesmo em zonas paisagisticamente sensíveis.

Na primeira parte foi efectuado um breve contexto histórico da arquitectura pré-fabricada, verificando-se que esta teve uma grande ênfase nos períodos das revoluções industriais e períodos durante e pós guerra. Verificando-se que a arquitectura pré-fabricada, nunca desapareceu, a mesma também nunca foi colocada numa posição relevante. Possivelmente devido aos preconceitos acerca da pré-fabricação e produção em massa. Apesar destes dados históricos, cada vez mais a pré-fabricação está presente na arquitectura. A produção de elementos standard, tais como janelas, portas, persianas, etc., existe e manter-se-á. Considerando a arquitectura como uma indústria, esta está bastante atrasada a nível tecnológico e empresarial, comparando-a com todas as outras. Sendo esta uma posição bastante ambígua entre os arquitectos, a realidade é que esta traz bastantes vantagens. No entanto esta posição não deve ser tomada levemente, pois acarreta o risco de tratar a arquitectura apenas do ponto de vista económico, esquecendo o utilizador, o local, as suas relações, a história e o seu valor icónico. No meu ponto de vista, esta associação é possível, tal como é demonstrado nas obras referenciadas ao longo desta dissertação.

Na segunda parte foi abordado o tema da construção em madeira no contexto da pré-fabricação. Sendo este um material natural, e com excelente comportamento no campo da arquitectura e construção, no âmbito desta dissertação, a escolha do mesmo para a realização do projecto ocorre de forma natural. Estando a madeira presente em praticamente toda a superfície terrestre, existem vantagens óbvias na sua utilização, quando é pretendida uma comunhão harmoniosa entre o espaço habitável e a natureza.

No terceiro capítulo foram estudados e apresentados vários princípios e soluções, para uma utilização saudável em termos energéticos de um espaço construído pelo Homem. Tendo muitos destes conceitos caído em desuso ao longo dos anos, são hoje em dia essenciais para o ser humano e o planeta.

Por fim, foram analisadas algumas obras, perante determinado ponto de vista, necessários para a realização do projecto pretendido. Nomeadamente a capacidade de variação a nível tipológico, tanto na fase de concepção, como ao longo do ciclo de vida do objecto arquitectónico. A possibilidade de repetição dos mesmos elementos em diferentes funções (chão, coberturas, paredes) através do sistema construtivo utilizado é essencial. Associar a sua rapidez, facilidade de montagem e desmontagem/remoção é essencial, de modo a permitir o menor impacto possível na paisagem durante todo o processo. Sendo a questão da auto-suficiência energética essencial, é aquela que segundo o meu ponto de vista, ainda carece de evolução a nível tecnológico. Este é um ponto crítico, embora, escape às competências como arquitecto a sua concepção e produção, mas não o estudo dos seus princípios. Aqui o arquitecto deve assumir também uma posição, pois tem a capacidade de impulsionar a indústria nesta área, pois a necessidade de adquirir excelente eficiência energética é grande.

Efectuadas estas análises, penso que é possível alcançar os objectivos propostos nesta dissertação praticamente na sua totalidade.

6 – Bibliografia

Referências bibliográficas:

BERDINI, Paolo. - Walter Gropius. 2ª ed. Barcelona : Gustavo Gili, 1989. 284 p : il. (Estudio Paperback).undefined. ISBN 8425212979

CORRADO, Maurizio. - La casa ecológica : manual de arquitectura bioclimática : todas las reglas para vivir en un ambiente sano : los campos eléctricos,... Barcelona : Editorial De Vecchi, cop. 1999. 155 p. ISBN 8431521147

DRILLER, Joachim. - Breuer houses. London : Phaidon Press, 2000. 271 p.undefined. ISBN 0714838934

ECHAVARRIA M., Pilar – Arquitectura Portátil, Entornos impredecibles

ETCHELLS, Frederick – Towards a New Architecture by Le Corbusier, New York 1986, Dover Publications, Inc. ISBN 0-486-25023-7

FULLER, R. Buckminster ; KRAUSSE, Joachim, ed. lit. ; LICHTENSTEIN, Claude, ed. lit. - Your private sky : discourse. Baden : Lars Müller, cop. 2001. 320 p.undefined. ISBN 3907044940

GALFETTI, Gustau Gili – Casa Refugio / Private Retreats, 2ª ed. 1996, Editorial Gustavo Gili, S.A.

GALFETTI, Gustau Gili – Pisos Piloto / Model Apartments, Experimental domestic cells, 1997, Editorial G. G., S.A.

GONZALO, Roberto. ; HABERMANN, Karl J. - Energy-efficient architecture : basics for planning and construction. Basel ; Boston ; Berlin : Birkhauser, 2006. 224 p. ISBN 3764372532

KELLY, Burnham – The Prefabrication of Houses, The Massachusetts Institute of Technology 1951, The Technology Press of The MIT and John Wiley and Sons, Inc., New York

KRONENBURG, Robert – Portable Architecture, Second Edition 2000, Architectural Press

NEILA GONZÁLEZ, Francisco Javier. - Arquitectura bioclimática : en un entorno sostenible. Madrid : Munilla-Lería, 2004. 443 p. (Arquitectura y tecnología ; 4). ISBN 8489150648

NERDINGER, Winfried. - Walter Gropius : opera completa. Milano : Electa, 1989. 26

OLGYAY, Victor. - Arquitectura y clima : manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona : Gustavo Gili, cop. 1998. 203 p : il. (AD+E : Arquitectura y diseño+ecología). ISBN 8425214882

SCHITTICH, Christian – In Detail, Building Simply; Birkhauser Edition Detail

SMITH, Ryan E. – Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction, 2010 New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.

STEURER, Anton. - Developments in timber engineering : the swiss contribution. Basel ; Boston ; Berlin : Birkhauser, cop. 2006. 336 p. ISBN 3764371633

A green Vitruvius : principios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável. [Lisboa] : Ordem dos Arquitectos, 2001. 145 p. ISBN 9729766827

Dissertações:

ALMEIDA, Eduardo José Marques – Desenhar a Verde: Um estudo comparativo entre a arquitectura sustentável high-tech e low-tech, Coimbra: Julho 2012, Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

FERREIRA, José Francisco Carvalho Ferreira – “House in a Box”: Um estudo sobre o pré-fabricado na arquitectura, Coimbra: FCTUC, Julho 2011, Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

FERNANDES, Ana Patrícia da Silva Fernandes – Habitação (colectiva) Modular Pré-fabricada: Considerações, Origens e desenvolvimento, Coimbra: FCTUC, 2009, Dissertação de Mestrado em Arquitectura

FRANCO, Mauro Vilar Moreira – Arquitectura na Terceira Vaga: Reflexão sobre a materialização do “objecto” arquitectónico, Coimbra: FCTUC, Julho 2012, Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

NUNES, Tiago Alexandre Valente – As Casas para os Trópicos em Niamey e Brazzaville: Habitação pré-fabricada de Jean Prouvé, Coimbra: FCTUC, Dezembro 2010, Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

Artigos:

BLAKE, Peter – The Bulletin of the Museum of Modern Art, Vol. 16, No. 1, The House In The Museum Garden. Marcel Breuer, Architect (1949), pp. 3-12, The Museum of Modern Art, URL: <http://www.jstor.org/stable/4058163> (Outubro 2013)

THOMSEN, André, SCHULTMANN, Frank & KHOLER, Niklaus – Deconstruction, demolition and destruction, 30 Junho 2011, Building Research & Information (2011) 39(4), 327–332, BRI Editorial e Rutledge, URL: <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2011.585785> (Outubro 2013)

WACHSMANN, Konrad, GROPIUS, Walter and TOWER, Michael – The Packaged House System (1941-1952), Perspecta Vol. 34, 2003, pp. 20-27, Yale University, School of Architecture, URL: <http://www.jstor.org/stable/1567311> (Outubro 2013)

Endereços internet:

<http://www.plataformaarquitectura.cl/2013/12/20/casa-upcycle-lendager-arkitekter/> (Outubro 2013)

http://en.m.wikipedia.org/wiki/Engineered_wood (Outubro 2013)

<http://www.archdaily.com.br/br/01-150820/casa-em-buchupureo-slash-alvaro-ramirez-plus-clarisa-elton> (Outubro 2013)

<http://everydaylife.globalpost.com/pros-cons-buying-manufactured-housing-5451.html> (Outubro 2013)

<http://freshome.com/2014/01/27/timber-architecture-9-benefits-wood-based-designs/> (Outubro 2013)

<http://www.construir.pt/2014/01/29/estudo-sobre-sustentabilidade-da-arquitectura-tradicional-portuguesa-premiado-internacionalmente/> (Outubro 2013)

<http://www.jornalacores9.net/regional/delegacao-dos-acoeres-da-ordem-dos-arquitectos-defende-novas-formas-de-estar-no-turismo/> (Outubro 2013)

<http://www.online24.pt/casas-pre-fabricadas/> (Outubro 2013)

<http://proyectos4etsa.wordpress.com/2011/12/26/the-packaged-house-system-konrad-wachsmann-y-walter-gropius-general-panel-corporation-new-york-1942/> (Outubro 2013)

<http://michaelbritt8100.wordpress.com/category/uncategorized/page/2/> (Novembro 2013)

<http://www.plataformaarquitectura.cl/2012/12/26/calling-a-plan-a-map-on-design-partners/> (Novembro 2013)

<http://www.archdaily.mx/67705/hotel-endemico-graciastudio/> (Novembro 2013)

<http://www.archdaily.com/445418/puzzle-piece-homes-a-solution-for-rapidly-growing-populations/> (Novembro 2013)

<http://greensavers.sapo.pt/2013/09/24/casa-futurista-e-desmontavel-de-1960-em-exibicao-na-holanda-com-fotos/> (Dezembro 2013)

<http://greensavers.sapo.pt/2013/08/13/nova-micro-casa-ecologica-tem-apenas-6-m2-com-fotos/> (Dezembro 2013)

<http://www.rpbw.com/project/97/diogene/> (Dezembro 2013)

<http://www.vitra.com/en-gb/magazine/details/diogene> (Dezembro 2013)

<http://www.prefabs2009.org/casestudy/earlyprefabs/earlyprefabs.html> (Dezembro 2013)

<http://www.plataformaarquitectura.cl/2013/11/14/la-casa-desmontable-8x8-de-jean-prouve-se-podra-visitar-por-primera-vez-en-la-galerie-patrick-seguin/> (Janeiro 2013)

<http://www.archdaily.com/435487/historic-new-york-city-house-seeks-permanent-home/> (Janeiro 2013)

<http://www.patrickseguin.com/fr/designers/jean-prouve/architecture/> (Janeiro 2013)

http://www.tandfonline.com/loi/toc/rbri20/39/.UrBZZPRdVm0#.U5Y4s_IdVm0 (Janeiro 2013)

<http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ordgest/poap> (Fevereiro 2013)

<http://www.ccdr-n.pt/pt/ordenamento-do-territorio/reserva-ecologica-nacional-2-2/> (Março 2013)

http://www.plataformaarquitectura.cl/2013/12/24/casa-rio-bonito-carla-juacaba/52a8ab7ae8e44e90be000316_casa-rio-bonito-carla-jua-aba_cjurb_27-jpg/ (Março 2013)

<http://www.tinyhouseuk.co.uk/> (Março 2013)

<http://www.dezeen.com/2014/02/05/minimod-prefabricated-modular-home-by-mapa/> (Março 2013)

<http://www.dezeen.com/2013/08/28/casa-transportable-house-aph80-by-abaton/> (Março 2013)

<http://www.abaton.es/es/proyectos/271070769/casa-transportable-aph80> (Abril 2013)

<http://www.idealista.pt/news/imobiliario/internacional/2013/02/21/11512-nova-iorque-viver-num-apartamento-de-32-m2-com-oito-quartos-video-e-fotos> (Abril 2013)

<http://grist.org/living/cabin-fever-are-tiny-houses-the-new-american-dream/> (Abril 2013)

<http://www.coodo.eu/en> (Abril 2013)

<http://architizer.com/projects/coromandel-bach/> (Abril 2013)

<http://www.columbia.edu/cu/gsap/projs/call-it-home/html/chapter5.1.html> (Abril 2013)

<http://www.archdaily.com/481039/richard-rogers-pre-fab-y-cube-takes-on-uk-housing-crisis/> (Abril 2013)

http://www.rshp.com/Asp/uploadedFiles/Image/10260_YCube/10260_YCube_JS_en.pdf (Abril 2013)

<http://failedarchitecture.com/la-maison-tropicale-from-failure-in-niamey-to-masterpiece-in-new-york/> (Maio 2013)

<http://www.archdaily.com/158918/japanese-precut-timber-construction/> (Maio 2013)

<http://www.plataformaarquitectura.cl/2014/04/01/viviendo-a-pequena-escala-la-arquitectura-plegable-del-proyecto-vivood/> (Maio 2013)

<http://www.tinyhousedesign.com/minim-house/> (Maio 2013)

<http://www.tinyhousedesign.com/complete-mini-kitchens/> (Maio 2013)

<http://www.tinyhousedesign.com/tiny-house-bathrooms/> (Maio 2013)

<http://documentary.net/the-cube-a-3x3x3m-eco-home/> (Maio 2013)

<http://www.fosterandpartners.com/practice-data/essays/> (Junho 2013)

http://www.tisem.pt/wp-content/uploads/2012/04/120223_Eigenheim_engl.pdf (Junho 2013)

http://www.tisem.pt/wp-content/uploads/2012/04/120224_Passivhaus_engl.pdf (Junho 2013)

http://www.tisem.pt/wp-content/uploads/2012/04/KLH_Konstruktionsvorschlaege_Systemkatalog_englisch.pdf (Junho 2013)

http://www.tisem.pt/wp-content/uploads/2012/04/120223_Konstruktion_engl.pdf (Junho 2013)

7 – Fontes imagens

Fig. 1 - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Balloon_frame.jpg (14:35, 17/04/2014)

Fig. 2 -

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d8/Crystal_Palace_General_view_from_Water_Temple.jpg (14:40, 17/04/2014)

Fig. 3 - http://www.presidentsmedals.com/showcase/2012/l/1329_16112859935.jpg (14:41, 17/04/2014)

Fig. 4 -

http://1.bp.blogspot.com/_txgdqiLsz0A/TOQ2reGehTI/AAAAAAAAAEU/OlwypJaEt24/s1600/alyssa+hankus+reading+co009.jpg (14:42, 17/04/2014)

Fig. 5 - http://1.bp.blogspot.com/-mOjZw-_gw50/UJNguP3YHsl/AAAAAAAAAnY/hqsmhu4GqNA/s1600/figure10.jpg (14:42, 17/04/2014)

Fig. 6 - <http://2.bp.blogspot.com/-A0qvpyxVurY/UMLkNQPIM1I/AAAAAAAAAFw/xTb7adXX5ts/s1600/Dymaxion+Bathroom+2.jpg> (14:44, 17/04/2014)

Fig. 7 - http://ad009cdnb.archdaily.net/wp-content/uploads/2013/07/51df2d19e8e44e6873000033_ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller_dymaxion_house1.jpg (14:48, 17/04/2014)

Fig. 8 - <http://1.bp.blogspot.com/-3QncsyODUEk/TwDniXP1Pfl/AAAAAAAAASQ/2x1HyMTdwOc/s1600/Dymaxion%2BHouse%252C%2BWic>

[hita%252C%2BKansas%252C%2Bdesigned%2Bby%2BR.%2BBuckminster%2BFuller%252C%2B1946.jpg](http://1.bp.blogspot.com/-3QncsyODUEk/TwDniXP1Pfl/AAAAAAAAASQ/2x1HyMTdwOc/s1600/Dymaxion%2BHouse%252C%2BWic) (14:47, 17/04/2014)

Fig. 9 -

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/The_Barcelona_Pavilion,_Barcelona,_2010.jpg (14:56, 17/04/2014)

Fig. 10 - http://jewishcurrents.org/wp-content/uploads/2013/11/packaged_house1336516479896.png (14:58, 17/04/2014)

Fig. 11 - <http://michaelbritt8100.files.wordpress.com/2011/12/packaged-house-2.jpg> (15:00, 17/04/2014)

Fig. 12 - <http://www.columbia.edu/cu/gsap/projs/call-it-home/html/images/8-042.gif> (15:04, 17/04/2014)

Fig. 13 - http://www.searsarchives.com/homes/images/1908-1914/1908_0111.jpg (15:06, 17/04/2014)

Fig. 14 - <http://oklahomahousesbymail.files.wordpress.com/2012/10/aladdin-edison.jpg> (15:07, 17/04/2014)

Fig. 15 - <http://2.bp.blogspot.com/-dnKJIOq63Pc/T7KRN7eSMtl/AAAAAAAAACu0/ZMad77FfePE/s1600/prouvemeudon8.jpg> (14:35, 18/04/2014)

Fig. 16 - <http://www.fosterandpartners.com/media/Projects/0501/img1.jpg> (14:40, 18/04/2014)

Fig. 17 - http://c299813.r13.cf1.rackcdn.com/Pompidou_1342521503_org.jpg (14:37, 18/04/2014)

Fig. 18 - <http://www.munichphotos.com/wp-content/uploads/2012/07/Munich-Olympic-Park.jpg> (14:38, 18/04/2014)

Fig. 19 - <https://d2iweeeny6suwz.cloudfront.net/thumbnails-PRODUCTION/8b/48/8b481a3972c3b78aeb50f7d844a1edef.jpg> (16:56, 18/04/2014)

Fig. 20 - https://scontent-a-fra.xx.fbcdn.net/hphotos-frc3/t1.0-9/10001510_10151893229556568_1527843549_n.jpg (17:01, 18/04/2014)

Fig. 21 - SMITH, Ryan E. – Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction, 2010 New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., pg. 95

Fig. 22 - SMITH, Ryan E. – Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction, 2010 New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., pg. 96

Fig. 23 - SMITH, Ryan E. – Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction, 2010 New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., pg. 97

Fig. 24 - <http://boneyardstudios.files.wordpress.com/2012/11/sips-panels-day-3-4.jpg> (01:29, 08/07/2014)

Fig. 25 - <http://timberframehome.files.wordpress.com/2010/05/timber-frame-home-2.jpg> (01:32, 08/07/2014)

Fig. 26 - http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f9/OSB-3_Kronoply_2009.jpg (02:16, 08/07/2014)

Fig. 27 - <http://4.bp.blogspot.com/-80gmmFatsQs/TzcOS36CTyl/AAAAAAAAAJg/Oug7enOpHU8/s1600/LVL+Roof+Rim+Boards.jpg> (02:17, 08/07/2014)

Fig. 28 - http://www.geoxlam.com/uploads/3/5/9/6/3596716/4062805_orig.jpg (02:19, 08/07/2014)

Fig. 29 - <http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/47445216.jpg> (03:17, 08/07/2014)

Fig. 30 - <http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-637-1.jpg> (03:19, 08/07/2014)

Fig. 31 - <http://www.uia-architectes.org/sites/default/files/fathy3.jpg> (03:23, 08/07/2014)

Fig. 32 - <http://4.bp.blogspot.com/-eJtOPf7aHSc/TcRAMccPbBI/AAAAAAAAAXY/uhUCoHM9EFU/s1600/Half-timbered+house.JPG> (03:27, 08/07/2014)

Fig. 33 - A green Vitruvius : principios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável. [Lisboa] : Ordem dos Arquitectos, 2001, pg. 71

Fig. 34 - A green Vitruvius : principios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável. [Lisboa] : Ordem dos Arquitectos, 2001, pg. 72

Fig. 35 - <http://wiki.aia.org/Wiki%20Pages/Natural%20Ventilation.aspx> (15:04, 08/11/2013)

Fig. 36 - <http://www.planob.pt/upload/Sollux%20Prime%20300L.jpg> (04:11, 08/07/2014)

Fig. 37 - <http://clickobra.com/wp-content/uploads/2012/08/pai-3.jpg> (04:14, 08/07/2014)

Fig. 38 - http://1.bp.blogspot.com/_dovLNbymhGo/TMFyief4gEI/AAAAAAAAA3w/SZ_5TV8HZaE/s1600/DSC_4243.JPG (04:15, 08/07/2014)

Fig. 39 - http://img.superpagina.com.br/imagens/fotos/gerador_eolico.jpg (04:16, 08/07/2014)

Fig.40 - <http://urbanomnibus.net/redux/wp-content/uploads/2011/01/House-in-MoMA-Garden-Marcel-Breuer-New-York-NY-1949-001.jpg> (23:00, 08/07/2014)

Fig.41 - <http://www.jstor.org/discover/10.2307/4058163?uid=2&uid=2475564587&uid=2134&uid=3&uid=3738880&uid=60&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=63&uid=60&sid=21104091724381> (22:00, 30/10/2013)

Fig.42 - <http://www.jstor.org/discover/10.2307/4058163?uid=2&uid=2475564587&uid=2134&uid=3&uid=3738880&uid=60&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=63&uid=60&sid=21104091724381> (22:01, 30/10/2013)

Fig.43 - <http://www.jstor.org/discover/10.2307/4058163?uid=2&uid=2475564587&uid=2134&uid=3&uid=3738880&uid=60&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=63&uid=60&sid=21104091724381> (22:02, 30/10/2013)

Fig.44 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/4058163?uid=2&uid=2475564587&uid=2134&uid=3&uid=3738880&uid=60&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=63&uid=60&sid=21104091724381> (22:03, 30/10/2013)

Fig.45 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/4058163?uid=2&uid=2475564587&uid=2134&uid=3&uid=3738880&uid=60&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=63&uid=60&sid=21104091724381> (22:03, 30/10/2013)

Fig.46 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/4058163?uid=2&uid=2475564587&uid=2134&uid=3&uid=3738880&uid=60&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=63&uid=60&sid=21104091724381> (22:04, 30/10/2013)

Fig.47 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1567311?uid=3738880&uid=2475564577&uid=2134&uid=2475564587&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=60&sid=21104092138681> (21:32, 30/10/2013)

Fig.48 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1567311?uid=3738880&uid=2475564577&uid=2134&uid=2475564587&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=60&sid=21104092138681> (21:33, 30/10/2013)

Fig.49 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1567311?uid=3738880&uid=2475564577&uid=2134&uid=2475564587&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=60&sid=21104092138681> (21:34, 30/10/2013)

Fig.50 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1567311?uid=3738880&uid=2475564577&uid=2134&uid=2475564587&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=60&sid=21104092138681> (21:35, 30/10/2013)

Fig.51 -
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/1567311?uid=3738880&uid=2475564577&uid=2134&uid=2475564587&uid=2&uid=70&uid=3&uid=2475564577&uid=60&sid=21104092138681> (21:36, 30/10/2013)

Fig.52 - <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2013/12/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve-designboom-01.jpg> (05:12, 28/06/2014)

Fig.53 - <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2013/12/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve-designboom-05.jpg> (05:12, 28/06/2014)

Fig.54 - <http://www.designboom.com/wp-content/uploads/2013/12/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve-designboom-03.jpg> (05:12, 28/06/2014)

Fig.55 - <http://www.designboom.com/wp-content/gallery/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve-designboom-31.jpg> (05:15, 28/06/2014)

Fig.56 - <http://www.designboom.com/wp-content/gallery/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve-designboom-29.jpg> (05:12, 28/06/2014)

Fig.57 - <http://www.designboom.com/wp-content/gallery/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve-designboom-26.jpg> (05:13, 28/06/2014)

Fig.58 - <http://www.designboom.com/wp-content/gallery/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve/maison-demontable-8-x-8-by-jean-prouve-designboom-30.jpg> (05:13, 28/06/2014)

Fig.59 - http://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/en/architecture/2013/06/13/renzo_piano_diogene/Diogene_2013_0001771D.jpg (03:58, 07/07/2014)

Fig.60 - http://it.detail-online.com/uploads/pics/diogene_vitra_campus_7.jpg (04:21, 07/07/2014)

Fig.61 - http://it.detail-online.com/uploads/pics/diogene_vitra_campus_10_schnitt.jpg (04:21, 07/07/2014)

Fig.62 - http://it.detail-online.com/uploads/pics/diogene_vitra_campus_9_schnitt.jpg (04:21, 07/07/2014)

Fig.63 - http://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/it/architettura/2013/06/13/renzo_piano_diogene/gallery/Diogene_AssonomEsploso_00017725.jpg (03:59, 07/07/2014)