

M 2016



ALÉM DA CULTURA: UMA CASA, UM PROJETO, TRÊS SOLUÇÕES.

UMA AVALIAÇÃO ARQUITETÓNICA SOB O PONTO DE VISTA ENERGÉTICO

YADIRA COROMOTO DIAS NEVES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ARQUITETURA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM ARQUITETURA

SOB ORIENTAÇÃO DO PROF. DR. CARLOS NUNO LACERDA LOPES.

Aos meus pais, à minha avó, e a ti.

Agradecimentos

A Deus, por cada dia vivido e por cada lição aprendida.

Aos meus pais pelo apoio, amor e dedicação.

A ti, por estares ao meu lado cada dia e ser sempre o meu apoio e fortaleza.

Ao Professor e Doutor Carlos Nuno Lacerda pela ajuda, conselhos, orientação e, sobretudo, pela amizade demonstrada.

Às diversas empresas e pessoas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À CONSTRUCT-LFC, pela cedência de licença de estudante para a utilização do *software* de simulação energética.

À FEUP, ao Professor Nuno Ramos e ao Pedro Pereira pela colaboração na cedência da licença.

Às amizades que, de longe ou perto, estiveram ali ao longo deste percurso.

Resumo

O conforto e o desempenho energético de qualquer edificação é diretamente influenciado pelo clima do local onde esta se encontra e, nos países onde os climas apresentam variações notáveis de temperatura, é necessário adaptar os edifícios às necessidades dos utilizadores para lhes oferecer qualidade de vida e conforto térmico.

Quando analisados os perfis urbanos de algumas das cidades mais importantes do mundo, é possível observar uma variedade de modelos, tipologias construtivas e materiais que, teoricamente, se adaptam ao clima, com o intuito de oferecer a melhor solução possível para o ambiente que os envolvem.

Países como os Estados Unidos e o Canadá destacam devido à quantidade de edifícios em construção pré-fabricada que apresentam (casas de madeira ou metal, “totalmente adaptadas” ao clima, que oferecem conforto e qualidade a quem as habita). Estes são climas onde as temperaturas oscilam entre os -30 °C e os 40 °C e, portanto, este tipo de construções deveriam ser possíveis de adaptar ao meio ambiente em países onde o clima seja menos inclemente.

Porém, no caso de Portugal, a imagem geral das suas cidades apresenta uma linguagem arquitetónica residencial quase uniforme a nível tipológico de construção, onde a diferença mais notável entre as edificações deve-se à influência do movimento arquitetónico existente para o momento da sua construção ou remodelação, não sendo visível uma grande quantidade de edificações cuja tipologia construtiva difere da “tradicional” parede de bloco, com cobertura a duas ou quatro águas. Assim, surge o objeto em análise: qual a possibilidade de existir uma forte influência cultural perante a definição e a escolha da tipologia construtiva a utilizar?

A comparação de vários modelos de habitação permitirá, deste modo, analisar o seu desempenho térmico perante um clima específico. O estudo recorre a ferramentas computacionais para a sua avaliação, com o objetivo de conhecer o seu comportamento e comparar os valores obtidos, e assim definir se existe ou não a prevalência de algum dos modelos selecionados sobre os outros.

Abstract

The comfort and energy performance of any building is heavily influenced by the local climate where it is located. In the countries where climates show remarkable temperature variations, it is necessary to adapt the buildings to the needs of their users, in order to provide them with quality of life and thermal comfort.

When the urban profiles of some of the most important cities in the world are analysed, it's possible to see a variety of models, building typologies and materials that, theoretically, are adapted to the climate in order to offer the best possible solution.

Countries like the United States and Canada stand out due to the amount of buildings in pre-fabricated construction showing (wooden or metal houses, "fully adapted" to the climate, which offer comfort and quality to who dwells). Climates where temperatures range between 86 °F and – 104 °F. So, this type of construction should be possible to adapt to the environment in countries where the climate is less inclement.

However, in Portugal, the overall image of the cities present a residential architectural language almost uniform, where the most remarkable difference between the buildings are due to the influence of existing architectural movement to the time of construction or the remodelling, not being able to show a large number of building that differ from the "traditional" block wall, with two or four waters covering. Thus, the object in question arises: what is the possibility of a strong cultural influence with the definition and selection of building typology to use?

A comparison of various housing designs will help to analyse its thermal performance in a specific climate. This study uses computational tools for evaluation, in order to know their behaviour and compare the values obtained, and thus determine whether there is or not the prevalence of some of the models selected over others.

Índice

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract.....	IX
Índice.....	XI
Índice de Tabelas.....	XIV
Índice de Figuras	XV
Índice de Anexos	XVI
Capítulo I – Introdução	1
Enquadramento	5
Objetivos principais.....	5
Metodologia.....	6
Divisão de Capítulos	6
Capítulo II – Adaptação: da Vivenda “Tradicional” aos Sistemas Modulares.....	7
Introdução.....	7
Revisão bibliográfica	7
Do Módulo à Arquitetura e Coordenação Modular.....	7
Uma Viagem à Arquitetura Modular Pré-fabricada.....	10
Flexibilidade e Modulação.	15
Prefabricação e Sistemas Construtivos.....	16
Sistema Construtivo Pré-fabricado em Betão.....	16
Sistema Construtivo em Painéis de Fibra de Vidro.....	18
Sistema Construtivo em Painéis de Aço Galvanizado	19
Sistema Construtivo em Painéis de PVC (Policloreto de Vinil).....	20
Sistema Construtivo em Alvenaria e Estrutura Metálica	21
Sistema Construtivo em Perfis de Aço Zincado (Steel Framing)	22
Sistema Construtivo em Madeira	23
Conclusão.....	24
Capítulo III – A Pré-fabricação em Portugal.....	25
Introdução.....	25
Conceitos e Preconceitos	25
A pré-fabricação em Portugal	26
Modelos de Habitação	28
Habitações Modulares Pré-fabricadas em Madeira	29
Habitações Modulares Pré-fabricadas em Metal	30

Capítulo IV – Modelo de estudo	31
Introdução.....	31
Tipologia de Habitação	31
Seleção e Definição do Modelo	32
Modelo em Análise	33
Localização do Modelo	35
Horários de Utilização do Modelo – Ocupação, equipamentos, iluminação e sistemas de climatização.....	35
Variáveis em Estudo – Índice de Conforto Térmico.....	36
Temperatura interna do ar (°C).....	36
Temperatura interna radiante (°C)	36
Temperatura operativa (°C)	36
Temperatura exterior (<i>dry bulb</i>) (°C)	37
Humidade Relativa (%).....	37
Infiltração externa (kW)	37
Ventilação externa (kW)	37
Iluminação Geral, Computadores e Equipamentos (kW)	37
Ocupação (kW).....	37
Ganhos solares p/janelas (kW)	37
Ventilação Mecânica + Natural + Infiltração (ac/h)	37
Emissões de CO ²	38
Eletricidade e iluminação (kWh)	38
Capítulo V – Métodos e Tecnologias de Análise. (<i>Software</i> e a sua forma de utilização/ funcionamento).....	39
Introdução.....	39
<i>Software</i> de Simulação	42
Metodologia Utilizada.....	42
Tipo de atividade (Activity)	43
Tipologia de Construção (Construction)	45
Aberturas (Openings).....	45
Iluminação (Lightning).....	46
Sistemas de Climatização (AVAC/HVAC).....	48
Capítulo VI – Resultados	49
Introdução.....	49
Comparação Anual.....	50
Verão vs. inverno (Temperatura máxima e mínima)	52

Semana de Design de verão.....	54
Semana de Design de inverno.....	56
Ganhos e Perdas Anuais através da Estrutura	58
Capítulo VII – Conclusões.....	61
Limitações do trabalho desenvolvido	62
Propostas de trabalho futuro.....	62
Capítulo VIII – Anexos	63
Capítulo IX – Referencias Bibliográficas	83
Páginas web consultadas	91

Índice de Tabelas

Tabela 1: Evolução da Vivenda através da História	2
Tabela 2: Módulo recomendado e ano de publicação das primeiras normas de coordenação modular para os diferentes países.....	9
Tabela 3: Quantidade de edifícios, segundo a época de construção, por principais materiais utilizados na construção.....	28
Tabela 4: Núcleos familiares e tipos de fogos segundo a sua dimensão.....	32
Tabela 5: Descrição do modelo em análise.....	33
Tabela 6: Dados Climáticos para Porto – Portugal.....	35
Tabela 7: Dados segundo o tipo de área.....	44
Tabela 8: Comparação térmica anual para as três tipologias selecionadas	51
Tabela 9: Comparação térmica inverno - verão para as três tipologias selecionadas.....	53
Tabela 10: Comparação térmica da "Semana Design" de verão para as três tipologias selecionadas	55
Tabela 11: Comparação térmica da "Semana Design" de inverno para as três tipologias selecionadas	57
Tabela 12: Balanço energético anual através da estrutura.	59

Índice de Figuras

Figura 1: Aladdin Venus House (1919) (Thornton and Wolicki 2015).....	10
Figura 2: Bairro " <i>Quartiers Moderns Frugès</i> " – Le Corbusier (1925).....	11
Figura 3: Haus am Horn (1923), Tuindorp Watergraafsmeer - Betondorp (1923-1925), Demountable House (1939-1944) e Tropicale House (1949-1951).	13
Figura 4: Sistema construtivo pré-fabricado em betão - Fase de construção (Sousa 2011)	17
Figura 5: Sistema construtivo de grandes painéis pré-fabricados em betão - Fase de construção (Sousa 2011).....	17
Figura 6: Sistema construtivo em painéis de fibra de vidro - Fase de construção e obra concluída (Sousa 2011)	18
Figura 7: Sistema construtivo em painéis de aço galvanizado - Fase de montagem (System 2011)	19
Figura 8: Sistema construtivo em painéis de PVC - Fase de montagem e obra concluída (Sousa 2011).....	20
Figura 9: Sistema construtivo em alvenaria e estrutura metálica - Fase de construção (Sousa 2011).....	21
Figura 10: Sistema construtivo em perfis de aço zincado – Esquema estrutural (Sousa 2011)	22
Figura 11: Sistema construtivo em madeira – Obra concluída e acabamentos (Discovercasa 2013)	23
Figura 12: Modelo em estudo dividido segundo as zonas de atividade.....	43
Figura 13: Proteção solar interna e externa.	46
Figura 14: Localização das luminárias dentro de cada habitação.....	47

Índice de Anexos

Anexo 1: Exemplo de vivendas por catálogo nos Estados Unidos – Wardway Homes e Aladdin Homes (Thornton and Wolicki 2015).....	65
Anexo 2: Sistema Dominó - Le Corbusier e os engenheiros M. Du Bois e I. Schneider (1914) (Adamczewski 2014)	67
Anexo 3: Processo Evolutivo do " <i>Quartiers Moderns Frugès</i> " – Le Corbusier (1925) (LeCorbusier and ADAGP 1995, Hinson 2013)	69
Anexo 4: Características das Casas de Madeira com Base nas Diferentes Empresas Consultadas (Casas 1994, habitat 2007, Jular 2010, Casema 2015).	71
Anexo 5: Características das Casas em Metal com Base nas Diferentes Empresas Consultadas (Jular 2010, Fazatuacasa 2015, Ramisote 2015).....	73
Anexo 6: Modelo Selecionado para a Análise (Lopes)	75
Anexo 7: Horários de ocupação para o DesignBuilder.....	77
Anexo 8: Horário de Utilização dos Equipamentos para o DesignBuilder	80
Anexo 9: Horário de Iluminação para o DesignBuilder	81

Capítulo I – Introdução

De acordo com diversas fontes *casa* pode ser definida como o “nome genérico de todas as construções destinadas a habitação” (Priberam 2008). “Edifício para habitar [...] Vivenda” (Espanhola).

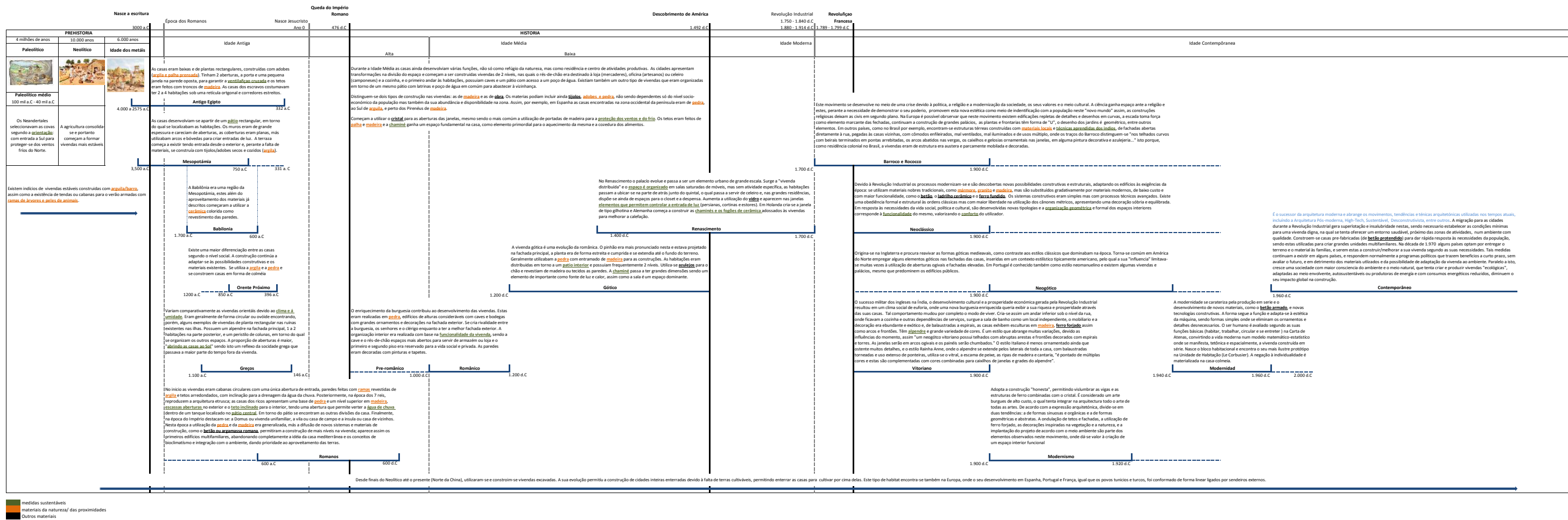
Esta pode ser considerada pequena em escala, quando comparada com outro tipo de desenvolvimento arquitetónico, mas a sua existência implica certa criatividade e possui grande importância a nível cultural. O seu espaço é a solução criada pelo homem como resposta à mais essencial das necessidades humanas: o abrigo e a proteção do meio ambiente natural. A estes requisitos, acrescentam-se os valores culturais que dão lugar a um espaço pessoal que permite a convivência em família e a liberdade de expressão, sendo estas o reflexo de um valor humano essencial designado por “lar” (Slimak).

Desde os nossos antepassados até a atualidade estas construções têm sofrido diversas modificações, sendo geralmente definidas pelo clima, as necessidades do utilizador, os materiais disponíveis, entre outros (Slimak) como se observa na Tabela 1.

Do aproveitamento das covas como elemento protetor até as casas atuais, existe um sem-fim de opções e modelos que foram testados, aproveitados e aperfeiçoados sempre na tentativa de encontrar um espaço ilustrativo que ofereça um maior conforto.

Sendo mostrados como avanços a nível tecnológico e arquitetónico, é sabido que estes desenvolvimentos têm sido regidos e influenciados paralelamente pela situação política, económica, e social de cada época; enquanto a combinação das duas primeiras comprometia a qualidade e o tipo de materiais utilizados, a forma, tamanho e imagem do edifício, as duas últimas influenciavam a tipologia, distribuição e utilização dos diferentes espaços considerando que, além do já descrito, a quantidade de habitantes existentes em cada zona ou país era outra variável de interesse, sendo isto o que determinava por vezes a tipologia da vivenda e as necessidades a cobrir nelas.

Assim, comprova-se a relação existente entre a sociedade, o meio envolvente, os sucessos acontecidos em cada período e a expressão arquitetónica em cada local, mas tal não permite definir com exatidão até que ponto tais sucessos puderam marcar uma sociedade, de forma a enraizar na sua cultura um estilo arquitetónico específico, sobrepondo, ou não, a figura, a imagem ou a fachada sobre a funcionalidade e o conforto do próprio edifício.



Na atualidade, parte desse conforto traduz-se na procura, produção e no consumo da energia requerida para manter o estilo de vida contemporâneo, ocasionando, muitas vezes, um impacto global negativo que não é devidamente ponderado por algumas sociedades. ´

“A construção e a utilização dos edifícios têm um impacto importante no meio ambiente: consomem em torno de 50% dos recursos naturais, 40% da energia e 16% da água. A sua construção e demolição produzem mais desperdícios que o conjunto do lixo doméstico. Em França, onde se dispõe de energia nuclear «limpa», a construção é responsável por aproximadamente 17,5% das emissões de CO² e 26,5% dos gases causadores do efeito estufa. Na Alemanha [...] na cidade de Friburgo estimam que o setor da construção é responsável por aproximadamente 30% das emissões de CO², [...] mais que os transportes e a indústria. O compromisso com o desenvolvimento sustentável na construção é uma das respostas mais eficazes para reduzir o efeito estufa e a degradação do entorno ecológico” (Gauzin-Müller, Favet et al. 2002 *pág. 16*)

De acordo com (Edwards and Hyett 2001 *pág. 11*) os edifícios são grandes consumidores de matéria-prima, sendo que 50% de todos os recursos mundiais são destinados à construção, 45% da energia gerada é utilizada para aquecimento, iluminação e ventilação (mais 5% para a sua construção), 40% da água utilizada no mundo destina-se às instalações sanitárias e usos variados nos edifícios, 60% das terras cultiváveis deixaram de ser utilizadas para a agricultura, passando a ser utilizadas para as edificações e, finalmente, 70% dos produtos que vêm da madeira são destinados a este mercado.

Perante este panorama, e com aproximadamente sete mil milhões de habitantes no mundo, o crescimento desmedido das potências mundiais, a falta de consciencialização quanto à utilização e aproveitamento destas fontes de energia, somados à possível ausência de futuras fontes energéticas que permitam manter o ritmo de desenvolvimento atingido, obtém-se como consequência a necessidade de desenvolver meios e tecnologias que permitam uma adequada gestão da energia, com o intuito de reduzir as necessidades sem influir no nível de conforto.

De acordo com o Energy Information Administration, em 2014, a energia consumida a nível mundial correspondeu a 558,7 quadrilhões de Btu. Esta apresentou um crescimento de 11% no consumo, relativamente a 2008 e, com base nos padrões de uso existentes, perfila o aumento de mais 13% até 2020, quando comparado com 2014 (Administration 2013).

Destes valores, 214,7 quadrilhões de Btu e 105 quadrilhões de Btu pertencem ao setor industrial e o de transporte respetivamente, ocupando assim os dois primeiros lugares e colocando o setor residencial em terceiro lugar, sendo este o responsável por 54,4 quadrilhões

de Btu gastos em 2014. Tal valor corresponde aos 14% da energia total utilizada¹ (Administration 2013).

Independentemente da utilização dada à edificação, é sabido que o seu desempenho será afetado pelo clima, o qual influenciará os níveis de conforto interno, o consumo energético e as cargas térmicas existentes (Dias Neves 2013). No caso do setor residencial, o gasto energético é atribuído e dividido entre os sistemas de climatização, aquecimento de água, aparelhos eletrónicos, cozinha e iluminação, sendo o sistema de climatização o maior consumidor de energia, especialmente em países com invernos mais frios (dado os instrumentos utilizados para promover o aquecimento). No entanto, a sua quota de consumo tem diminuído devido à combinação de equipamentos mais eficientes e habitações com melhor desempenho térmico² (Agency 2007, Lapillone, Pollier et al. 2014).

Como já explicado, uma vez que o desempenho térmico da edificação está relacionado com o tipo de construção e os tipos de materiais utilizados, é fundamental encontrar como equilibrar as cargas térmicas, as necessidades de climatização e os materiais, projetando cada edifício de acordo com o clima do local onde é inserido, com o intuito de minimizar as necessidades energéticas e maximizar o conforto (como pode ser observado nas primeiras casas e refúgios desenvolvidos³). (Dias Neves 2013 pág. 27)

Por tal motivo, é possível observar uma diferença na expressão arquitetónica das edificações no mundo⁴, mas torna-se pertinente a reflexão do impacto real destas medidas: qual é o resultado a nível térmico, ou de conforto, quando são avaliadas duas casas de diferente tipologia em climas similares? Por que motivo em alguns países existe um maior desenvolvimento de um tipo de construção (sejam estas em madeira, alvenaria, ou outras formas construtivas) e quais as suas vantagens? É possível definir as opções mais adequadas para cada tipo de construção nos diferentes climas? E finalmente será que a escolha do tipo de casa é de certa forma influenciada pela cultura na qual vivemos?

Como contexto para esta última questão, veja-se se de facto uma casa pré-fabricada em madeira, típica nos Estados Unidos, apresenta grande diferença a nível térmico ou de conforto quando comparada com uma casa de alvenaria, como as encontradas em Portugal.

Tais questões podem configurar importantes oportunidades para o desenvolvimento do arquiteto, do projeto, bem como para o mercado de construção habitacional. Assim, explorar e responder às perguntas apresentadas poderá ser útil para a seleção do tipo de edificação e a demarcação dos parâmetros da mesma, nomeadamente, a tipologia construtiva, os materiais a utilizar, entre outros valores.

¹ Esta percentagem mantém-se quando comparada com o ano de 2008 ou com as perspetivas para 2020 (consultado em Fevereiro 2 de 2015).

² A magnitude desta medida varia segundo cada país, mas, por exemplo, apresenta valores de redução entre os 17% na Suécia, até os 43% na Alemanha. Situando a diminuição do consumo entre os 25% e os 30% para outros países analisados. Lapillone, B., et al. (2014). **Energy Efficiency Trends for households in the EU. Households**, ODYSSEE-MURE. (Pág. 19)

³ Ver **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

⁴ Isto excetuando os edifícios resultantes de alguns movimentos arquitetónicos, onde foram copiados modelos sem avaliar a sua funcionalidade no meio envolvente.

A utilização da tecnologia, como base de desenvolvimento para tal análise, pode ser igualmente determinante em relação ao tempo e precisão dos resultados requisitados sendo que, através da implementação de *software* de análise de edificações, facilita-se a avaliação do edifício selecionado a partir de diferentes pontos de vista, obtendo resultados suficientes para determinar a melhor opção possível para cada caso em estudo.

É neste sentido que surge o trabalho aqui desenvolvido. Recorre-se à comparação de três tipologias construtivas, através da avaliação individual em um *software* de análise de edifícios, para um modelo fixo de habitação e localização, com o intuito de definir se a preferência de um modelo em particular, relativamente às outras opções disponíveis no mercado, responde às necessidades de conforto e eficiência energética, ou é também influenciado pela história e cultura do país onde é construído.

Enquadramento

Uma rápida avaliação do contexto mundial permite observar a predominância de certas tipologias construtivas em alguns países ou regiões, mesmo quando se apresentam em um clima similar. Nos seus inícios, a adaptação das construções ao clima era conseguida através do que hoje é definido como arquitetura vernacular; esta, ligada à perceção da especificidade, à diversidade e aos modos de construir em determinadas localidades, utilizava materiais próprios da região e, muitas vezes, técnicas de construção antigas ou milenares, para atingir construções sustentáveis integradas ao meio ambiente na sua totalidade (One 2014). Posteriormente, o progresso e industrialização das sociedades suscitaram a standardização de certas metodologias e processos, originando uma similitude nas formas construtivas de algumas cidades, esquecendo, por vezes, a realidade climática do local e as necessidades ou limitantes do mesmo.

Assim, considerando o leque de possibilidades atuais que se adaptam ao clima e às necessidades da população, e perante uma variedade de opções construtivas cujo objetivo é minimizar as necessidades energéticas, este trabalho tem como objetivo avaliar os níveis energéticos de três soluções construtivas, para um modelo fixo de habitação e localização, através da utilização de *software* de análise de edificações. Isto com o intuito de definir se a preferência de um modelo em particular, relativamente às outras opções disponíveis no mercado, responde às necessidades de conforto e eficiência energética, ou é também influenciado pela história e cultura do país onde é construído. Pretende-se avaliar as diferenças de comportamento a nível térmico, contribuindo para o desenvolvimento futuro de melhores soluções construtivas com o máximo conforto, e dar resposta à população de modo a garantir uma correta combinação entre elementos construtivos, conforto, eficiência, qualidade e economia.

Objetivos principais

Selecionar três tipologias construtivas, entre as existentes no mercado de construção habitacional, para avaliar o seu comportamento em um clima determinado.

Análise das tipologias através do *software* selecionado para comparar o seu comportamento em uma localização e clima definido.

Determinar quais opções construtivas apresentam melhores resultados a nível de custos, conforto e eficiência energética, para esse clima.

Metodologia

Com o intuito de responder aos objetivos acima definidos, procedeu-se ao estudo da pré-fabricação em Portugal e dos diferentes sistemas construtivos pré-fabricados, para assim definir os parâmetros do modelo em estudo. A seguir, como complemento, determinou-se a localização da edificação e os horários de ocupação e utilização para, posteriormente, selecionar as variáveis a analisar que dessem resposta ao planeamento inicial.

Através da utilização de um *software* de simulação, foram realizadas as análises de desempenho térmico e energético, as quais permitiram definir qual dos modelos apresentava mais vantagens em relação à localização selecionada.

Os resultados obtidos vão ao encontro do inicialmente planteado: sendo, provavelmente, a opção que melhor se adapta ao meio envolvente, não representa a única possibilidade de construção, sugerindo, portanto, a existência de outros motivos, não energéticos, que promovam a sua preferência entre as outras.

Divisão de Capítulos

Para facilitar a sua leitura, esta dissertação está organizada em sete capítulos, sendo o Capítulo I – Introdução a nota introdutória ao documento.

O Capítulo II – Adaptação: da Vivenda “Tradicional” aos Sistemas Modulares: apresenta, de forma sucinta, a evolução da vivenda como edificação, desde o pré-histórico até a atualidade, incluindo os diferentes sistemas existentes na construção pré-fabricada.

O Capítulo III – A Pré-fabricação em Portugal: apresenta a realidade da construção pré-fabricada em Portugal, os seus conceitos e pré-conceitos, assim como os modelos utilizados dentro do país.

O Capítulo IV – Modelo de estudo: apresenta, de forma detalhada, a caracterização do modelo em estudo, a sua tipologia, localização, horários, materiais e, ainda, as variáveis em análise para a comparação.

O Capítulo V – Métodos e Tecnologias de Análise: apresenta os métodos e a metodologia utilizada para a análise das tipologias construtivas do modelo de habitação. Este capítulo visa ilustrar os procedimentos realizados e contribuir para estudos futuros desta área, atualmente pouco desenvolvida.

O Capítulo VI – Resultados: apresenta e analisa a viabilidade das diferentes tipologias selecionadas, e permite ainda conhecer qual a diferença de valores entre as mesmas.

Por fim, o **Capítulo VII – Conclusões:** sumariza todo o trabalho empreendido e aponta perspetivas de desenvolvimentos futuros.

Capítulo II – Adaptação: da Vivenda “Tradicional” aos Sistemas Modulares

Introdução

Desde tempos imemoráveis as casas foram construídas utilizando ou reaproveitando os materiais existentes nas proximidades de cada região. Como já foi explicado no Capítulo I, o desenvolvimento da habitação foi sempre afetado pelos diferentes sucessos que surgiram em cada sociedade. Posteriormente, a industrialização dos processos gerou novos tipos de construções, criando uma diversidade de opções e modelos como resposta às necessidades do mercado de construção habitacional.

Revisão bibliográfica

Pensa-se que a vivenda como edificação existe há uns 10.000 anos aproximadamente, desde o período Neolítico, e foi modificando a sua forma, função e dimensão durante décadas até obter a diversidade de tipologias e modelos existentes na atualidade. Esta começa a ser definida no que é atualmente a partir da Revolução Industrial e a Revolução Francesa, onde as vivendas começam a ter espaços com funções específicas.

Os avanços da indústria e das sociedades geraram novas problemáticas quanto à organização de espaços públicos e privados. O êxodo rural ocasionou a sobrelotação das cidades principais, sendo necessário dar soluções rápidas, acessíveis e de qualidade para dar resposta às necessidades emergentes. Assim, como já foi demonstrado, a vivenda evoluiu mais uma vez para se adaptar às diversas exigências do utilizador e, mediante a aplicação dos novos conhecimentos e tecnologias, foram desenvolvidos diversos modos de modulação e pré-fabricação para as vivendas, permitindo diminuir os custos de produção e o tempo de execução, prometendo maior qualidade e conforto.

Do Módulo à Arquitetura e Coordenação Modular.

A palavra módulo tem origem no Latim “*modulus*”, a sua utilização consta desde épocas antigas (Marcos Vitruvius Polião no Séc. I a.C.), e representa uma medida básica adotada para regular as proporções de diversas partes numa edificação (Engel 1977).

Para Gregos e Romanos a proporção dos elementos representava a expressão perfeita de beleza e harmonia, sendo utilizado o diâmetro da coluna como a unidade básica para o dimensionamento do espaço. Porém, as diferentes ordens não se desenvolviam com base numa medida constante, assim, o tamanho das colunas variava consoante o edifício, e o conceito de modulação era simplesmente aplicado para manter a proporção entre as diferentes partes da edificação (Engel 1977, Ching 1995).

Na Idade Média os japoneses utilizavam o “Ken”. Inicialmente este não tinha dimensão fixa e era utilizado para indicar a separação entre duas colunas, mas, com o desenvolvimento, foi normalizado como medida para ser aplicada na arquitetura residencial, passando a ser uma medida absoluta que regia estruturas, materiais e todos os espaços da vivenda (Engel 1977, Ching 1995).

Com a chegada da Revolução Industrial, nos séculos XVII e XVIII, inicia-se uma nova etapa na arquitetura que põe em questão os conhecimentos até então aplicados pelos arquitetos, criando a necessidade de desenvolver novas técnicas. A análise da construção prefabricada e da coordenação modular passa a primeiro plano com o objetivo de padronizar os componentes construtivos e diminuir custos e desperdícios (Sousa 2011).

Pensa-se que *“a primeira aplicação moderna de coordenação modular foi o Palácio de Cristal, projetado por Joseph Paxton, construído entre 1850 e 1851 para a exposição universal de Londres”* (Sousa 2011 baseado em Rosso 1976 pág. 7). Nos anos seguintes o arquiteto Walter Gropius projeta o Bairro Operário Weissenhof, em 1927, e a Casa Ampliável, em 1932, sendo o primeiro um projeto de planta modular enquanto o segundo permitia a adição de corpos volumétricos de acordo as necessidades da população. Ambas as obras eram construídas em estrutura metálica e vedação de painéis de cortiça, revestidos no exterior por cimento de amianto (Sousa 2011 baseado em Nissen 1976). Em França, em 1942, Le Corbusier desenvolve um sistema de proporcionalidade assente nas matemáticas, as dimensões estéticas da secção áurea, a série de Fibonacci e as proporções do corpo humano - El Modulor. Este haveria de permitir uma infinidade de combinações que garantissem a existência da mesma “unidade” dentro da diversidade das construções (Ching 1995, Sousa 2011).

Posteriormente, perante o cenário apresentado durante Segunda Guerra Mundial, e antecipando os problemas futuros para a reconstrução das cidades, alguns países se dedicam à procura de soluções construtivas, rápidas e simples, para responder as possíveis situações que se apresentem. Assim, em Alemanha, Ernst Neufert concebeu um sistema octamétrico baseado num módulo de 12,5 cm este, porém de ter sofrido algumas críticas, demonstrou a viabilidade e a eficiência da aplicação da coordenação modular para este e outros tipos de projeto. Na Suécia estudou-se também a coordenação mas utilizando um módulo de 10 cm como base, e na América do Norte um de 4 polegadas (Sousa 2011 baseado em Nissen 1976 e Centro de Construção BOUWCENTRUM 1972).

Perante todas as experiências realizadas pelos diferentes países, cria-se, em 1953, a Agência Europeia para a Produtividade (AEP). Esta defende que a utilização da coordenação modular seria vantajosa sempre que fosse realizado um estudo a nível internacional com o objetivo de estabelecer os requisitos na adoção da medida correspondente ao módulo de base, facilitando assim, a parametrização dos elementos e das construções (Sousa 2011 baseado em Nissen 1976).

Como resultado de dita análise determinou-se que o módulo recomendado é de 10 cm nos países com sistema métrico e de 4 polegadas para os países com o sistema pé-polegada, como mostra a Tabela 1. A normalização das medidas surgiu, portanto, a nível internacional e trouxe consigo grandes vantagens, sobretudo na indústria do ferro e do aço, sendo este o setor no qual o comércio internacional tinha maior necessidade de criar acordos em comum (Sousa 2011 baseado em Nissen 1976).

Tabela 1: Módulo recomendado e ano de publicação das primeiras normas de coordenação modular para os diferentes países.

País	Módulo	Ano
França	10 cm	1942
Estados Unidos	4 polegadas	1945
Bélgica	10 cm	1948
Finlândia	10 cm	1948
Itália	10 cm	1949
Polónia	10 cm	1949
Brasil	10 cm	1950
Bulgária	10 cm	1951
Alemanha	12,5 cm e 10 cm	1951
Noruega	10 cm	1951
Hungria	10 cm	1951
Suécia	10 cm	1952
Portugal	10 cm	1953
União Soviética	10 cm	1954
Grécia	10 cm	1955
Roménia	10 cm	1956
Áustria	10 cm	1957
Jugoslávia	10 cm	1958
Dinamarca	10 cm	1958
Checoslováquia	10 cm	1960
Bielorrússia	10 cm	1962
Holanda	10 cm	1965
Inglaterra	4 polegadas	1966

(Sousa 2011 baseado em Nissen 1976 pág. 13)

Assim, o módulo passou de ser uma medida proporcional-estética a ser uma medida prática-funcional. Prática para a produção de elementos e peças a nível industrial, o que

diminui o seu custo, e funcional para o design arquitetônico e o desenvolvimento dos espaços (Engel 1977).

Uma Viagem à Arquitetura Modular Pré-fabricada

Na arquitetura, como foi mostrado anteriormente, a sua aplicação foi além da produção de simples peças industriais, permitindo a criação de espaços, habitações e edifícios completos através da utilização de elementos modulares produzidos em massa.

Em 1908, varias companhias⁵ nos Estados Unidos começaram a produzir as “**Casas Kit ou por Catálogo**”, atingindo a sua popularidade nos Anos 50. Num estilo de “Do it Yourself” (DIY), ofereciam uma variedade de plantas, modelos, materiais e estilos, prontos para armar, que permitiam certa adaptação e personalização segundo os requerimentos do utilizador (Ver Anexo 1). Posteriormente, com a evolução dos modelos, foram padronizadas para maximizar a eficiência e reduzir os custos⁶, obtendo um pacote de elementos pré-cortados, prontos para pregar e fáceis de armar, o qual incluía todos os elementos necessários para a construção da casa, o livro de instruções para a sua montagem, e oferecia aos clientes a possibilidade de incluir uma equipa especializada para realizar ou supervisionar a construção da casa, tal e como é possível observar atualmente em alguns projetos deste tipo (Lauren and Jim , Thornton and Wolicki , Thornton and Wolicki 2015).



Imagem retirada do catálogo (1919).



Shorewood, Wisconsin, é possível observar algumas mudanças quando comparada à fotografia do catálogo, como a supressão de algumas janelas laterais. Fotografia tirada em abril de 2015

Figura 1: Aladdin Venus House (1919) (Thornton and Wolicki 2015)

⁵ Aladdin Homes (Bay City, Michigan), Bennett Homes (North Tonawanda, New York), Lewis Liberty Kit Homes (Bay City, Michigan), Sterling Kit Homes (Bay City, Michigan), Sears Roebuck (Chicago, Illinois), Pacific Ready Cut Homes (Los Angeles, California), Harris Brothers (Chicago, Illinois), Gordon Van-Tine (Davenport, Iowa) e Ready Built House Co. (Portland, Oregon). Lauren and Jim **Kit Home Information** Kit Home Information The Arts & Craft Society. Portland, Oregon. **2015**.

⁶ A padronização dos modelos parecia oferecer uma poupança de aproximadamente 1/3 do valor final da casa, quando comparada com a construção tradicional da época, devido aos baixos custos da produção em massa. Thornton, R. and D. Wolicki. "**Wardway Homes.**" Precut and plan book homes of Montgomery Ward and Company 1909-1932. Retrieved 20/07/2015, 2015, from <http://www.wardwayhomes.com/about.php>.

Estes modelos, não sendo considerados como prefabricados para a época, tiravam proveito da tecnologia existente na indústria para reduzir custos e desperdícios de material, diminuindo igualmente a quantidade de horas de trabalho necessárias para obter todos os seus elementos (Thornton and Wolicki 2015).

A seguir, em Europa (1914), Le Corbusier e os engenheiros M. Du Bois e I. Schneider inspiraram-se no modelo industrial da construção fabril para aplicar a repetição sistematizada na criação de uma grelha modular de pilares e lajes que, dando ênfase à estrutura, assumisse um sistema estrutural independente da composição espacial e do alçado – o **Sistema Dominó**. Este permitia a produção de casas em altura e em série, e devia ser construído em betão armado, sendo os outros elementos acoplados entre si (Ver Anexo 2) (Gonçalves Tomé 2006, Martins Vasconcelos 2013).

Esta solução estrutural em si não era inédita, tendo sido testada por Albert Kahn no edifício Ford (1908) e por Walter Gropius e Edward Werner no edifício Fagus (1910-1914), mas *“a sua articulação num modelo repetível, um sistema com a proposição da independência entre estrutura, função e composição espacial e de alçado era inovadora”* (Gonçalves Tomé 2006 pág. 13). Em 1925, como se observa na Figura 2, Le Corbusier experimenta a “standardização”, a fabricação em série e a composição modular, através da criação do bairro *“Quartiers Moderns Frugès”*. Este promove a utilização de uma planta-tipo que permite a variação em série e a diversidade e personalização dos espaços (Ver Anexo 3) (Gonçalves Tomé 2006, Martins Vasconcelos 2013).

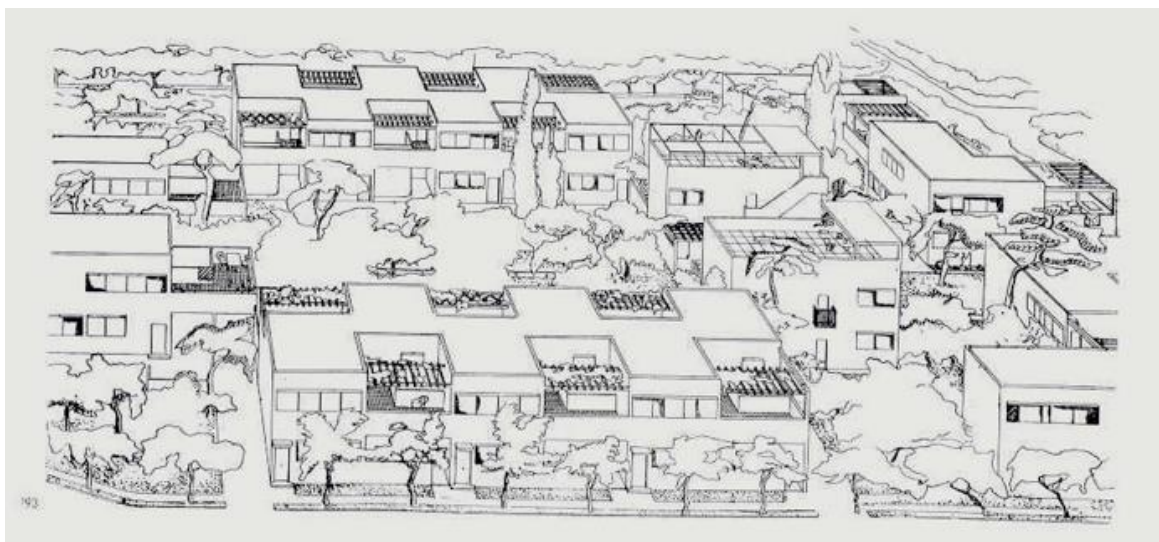


Figura 2: Bairro "Quartiers Moderns Frugès" – Le Corbusier (1925)

Durante alguns anos, e como resposta à problemática habitacional europeia, foram construídos bairros residenciais experimentais, de dimensões consideráveis, através da promoção pública; entre eles estão: o conjunto **Tuindorp Watergraafsmeer (Betondorp)** de Dick Greiner e outros arquitetos⁷ em Amesterdão – Holanda (1923-1925)⁸, **Bairro Taut** de Bruno Taut em Berlim (1925-1927), **Bairro Törten** de Walter Gropius em Dessau (1926-1928)⁹ e o **Novo Programa de Frankfurt** de Ernst May (1926-1927) – Alemanha e **Complexo Habitacional Neubuhl** em Zurique – Suíça (1930). Como parte destas experiências também foi construída por Georg Muche, Adolf Meyer e Walter Gropius a **Haus am Horn** em Weimar – Alemanha (1923). Todos estes modelos eram construídos incluindo elementos pré-fabricados e estandardizados (Gonçalves Tomé 2006, Fernandes Freitas 2009).

No final desta década (1928), os arquitetos vanguardistas europeus reuniram-se para o Congresso Internacional de Arquitetura Moderna (CIAM), com o intuito de cruzar as suas experiências, ideias e práticas em relação à arquitetura e urbanismo, e dar assim reconhecimento à arquitetura europeia de vanguarda como uma forte e importante referência dentro do Movimento Moderno (Gonçalves Tomé 2006).

Entre 1939 e 1944, o inventor e construtor francês Jean Prouvé obteve do Ministério de Reconstrução e Urbanismo a oportunidade de desenvolver uma vivenda de emergência, cujo objetivo era dar alojamento às vítimas de guerra em Lorraine – França. Cria assim um sistema de pórtico modular de 6x6 metros, fácil de transportar, montar e desmontar. A **6x6 Demountable House** era constituída por peças de madeira numa estrutura metálica, e permitia serem montadas num dia, por duas pessoas. *“Infelizmente, a falta de materiais e de financiamento juntamente com o ênfase oficial sobre a necessidade de habitação permanente significou que a produção dessas moradias transitórias nunca passou além da fase de série limitada”* (Seguin). Posteriormente, entre 1949 e 1951, o inventor utiliza estes conhecimentos para o desenvolvimento da **Tropical House**; uma proposta que visava a resolução da escassez de habitação e de edifícios públicos nas colónias francesas da África Ocidental. Esta é edificada sobre uma laje de betão e constituída por um marco de folha de aço dobrado, cujas paredes são painéis de alumínio fixos ou deslizantes. Devido ao clima quente, o modelo exibia uma dupla estrutura no teto, para permitir a ventilação natural, e protetores solares de alumínio ajustáveis nas varandas da edificação. O seu design permite ser colocada em um avião para o seu fácil transporte e ser carregada e montada por apenas dois homens (Balazs).

⁷ D. Greiner, J. Gratama, W. Greve, J. Hulsebosch, JR de Loghem, H. F. Mertens, J.H. Mulder, D. y H. W. Roosenburg Valk.

⁸ ARCAM, A. A. (2014). "**Tuindorp Watergraafsmeer (Betondorp)** Tuindorp Watergraafsmeer (Betondorp)". Retrieved 20/07/2015, 2015, from <http://www.arcam.nl/tuindorp-watergraafsmeer-betondorp/>.

⁹ Heitlinger, P. (2007). "Bauhaus - Dessau (1925)." Retrieved 27/07/2015, 2015, from <http://www.tipografos.net/bauhaus/bauhaus-dessau.html>.



Figura 3: Haus am Horn (1923), Tuindorp Watergraafsmeer - Betondorp (1923-1925), Demountable House (1939-1944) e Tropicale House (1949-1951).

Entretanto, as experiências na pré-fabricação continuavam do outro lado do Atlântico. Já sendo parte da sua tradição, nos Estados Unidos eram comuns as edificações construídas com elementos totalmente pré-fabricados em oficina, posteriormente montados no local, obtendo grande popularidade as casas unifamiliares de madeira do período colonial¹⁰. No seguimento destas, a investigação e desenvolvimento de modelos por parte de empresas e arquitetos centra-se em soluções em madeira ou metal (aço e alumínio)(Gonçalves Tomé 2006).

Temos como exemplos: a **Dymaxion House** de Richard Buckminster Fuller (1929), uma estrutura hexagonal em alumínio, suspensa por um mastro central, que permitia ser facilmente montada, desmontada e transportada para outro local¹¹; a **American Motorhome** de Robert MacLaughlin (1932), cujos componentes metálicos eram pré-fabricados; e **The Packaged House** de Konrad Wachsmann e Walter Gropius (1942), era um sistema modular de grelha metálica e painéis de madeira standardizados os quais, devido ao sistema de ligação utilizado em eles, permitiam ser utilizados vertical ou horizontalmente para formar as paredes, tetos e solos, dando lugar à diversidade no seu desenvolvimento¹² (Gonçalves Tomé 2006).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) acentua-se a procura de habitação de baixo custo nos Estados Unidos e na Europa, aumentando os incentivos, públicos e privados, destinados aos programas para as investigações sobre a produção de alojamento. Como parte destas investigações, foram convidados vários arquitetos modernos para desenvolverem protótipos de casas unifamiliares na Califórnia, Estados Unidos, num programa conhecido como o **Case Study House**, o qual durou até 1962. Inicialmente, as obras eram construídas com o intuito de serem protótipos de produção industrial, mas tendo alcançado um grande prestígio, resultaram num campo de debate arquitetónico que as transformou em verdadeiros ícones. Entre estes modelos destaca-se a **Case Study n. 8** de Charles e Ray Eames (1945), e a **Case Study n. 21** de Pierre Koenig (1956). O primeiro caso foi uma casa projetada para eles próprios, onde os elementos estruturais e de composição especial eram maioritariamente “standardizados”, aplicou-se uma grande variedade de materiais para explorar a qualidade dos mesmos e tentou-se testar a flexibilidade espacial, em oposição à rigidez dos componentes do sistema construtivo. Já no segundo caso a casa foi projetada para um casal sem filhos, sendo os elementos estruturais e de composição especial igualmente “standardizados”, onde a estrutura era um pórtico modular de aço, com revestimento de chapa ondulada e caixilharia de painéis de vidro, o que permitia a sua rápida montagem no local (Gonçalves Tomé 2006).

¹⁰ Casas Kit ou por Catálogo (1908), explicadas anteriormente.

¹¹ Museum, H. F. "R. Buckminster Fuller's Dymaxion House." Retrieved 29/07/2015, 2015, from <http://www.thehenryford.org/exhibits/dymaxion/index.html>.

, Francalossi, I. (2013). "AD Classics: The Dymaxion House / Buckminster Fuller." Retrieved 29/07/2015, 2015, from <http://www.archdaily.com/401528/ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller>.

¹² Arenas, J. M. C. (2011). ""The Packaged House System", Konrad Wachsmann y Walter Gropius, General Panel Corporation, New York, 1942." *Arquiteturas y Objetos Prefabricados*. Retrieved 29/07/2015, 2015, from <https://proyectos4etsa.wordpress.com/2011/12/26/the-packaged-house-system-konrad-wachsmann-y-walter-gropius-general-panel-corporation-new-york1942/>.

, Imperiale, A. (2012). *An American Wartime Dream: The Packaged House System of Konrad Wachsmann and Walter Gropius*. *ACSA Fall Conference*. Philadelphia: 39-43.

Entre 1948 e 1951, Mies van der Rohe desenvolveu as torres de apartamentos de **Lake Shore Drive** em New York (1948-1951). O seu alçado com perfis de aço verticais no exterior¹³ permitiu afirmar a imagem positiva dos elementos pré-fabricados e tornou-se uma referência, sendo um modelo repetido por outros arquitetos, como símbolo da industrialização e da construção pré-fabricada (Gonçalves Tomé 2006).

Já na década dos 60, num contexto de alta tecnologia e em paralelo à investigação da construção em metal e vidro, investigam-se também os componentes pré-fabricados em betão e metal, através das unidades modulares habitáveis. O **Habitat 67** do arquiteto Moshe Safdie (1967) apresentada na expo 67 em Montreal – Canada, e a **Takara Beautillion** (1970) na expo 70, assim como a **Nakagin Capsule Tower** em Tóquio (1972), ambas de Kisho Kurokawa, foram modelos destacados devido ao conceito desenvolvido nas unidades modulares e à sua total ou quase total pré-fabricação (Gonçalves Tomé 2006).

Atualmente, são inúmeros a quantidade de projetos e arquitetos que desenvolvem e testam diferentes modelos de habitação modular e pré-fabricada, todos com o objetivo de obter uma solução que se adapte às diversas situações. Entre alguns dos exemplos atuais está a **LV Home** da arquiteta norte-americana Rocio Romero (2005), a **M-CH (Micro Compact Home)** do arquiteto britânico Richard Horder (2005) e as **PreFab Houses** do arquiteto Australiano Andrew Maynard (Fernandes Freitas 2009).

Não sendo construções destinadas à habitação, o **Edifício Lloyds** de Richard Rogers (1979 – 1986), o Hong Kong and **Shanghai Banking Corporation** de Norman Foster (1979 – 1986) e **La Ciudad de las Artes y las Ciencias** de Santiago Calatrava, constituem também um bom exemplo do grau de desenvolvimento e a tecnologia utilizada na construção e a pré-fabricação (Martins Vasconcelos 2013).

Flexibilidade e Modulação.

O surgimento da indústria e o desenvolvimento das cidades ocasionam novas problemáticas e motivações em relação ao tratamento do espaço. *“Um espaço já não é algo pensado apenas para uma função, é antes um corpo em constante movimento que permite adaptar-se às nossas necessidades. O mesmo espaço pode servir para inúmeros fins, mesmo contraditórios”* (Freire 2009 pág. 34)

Perante a impossibilidade de determinar todas as necessidades futuras de um espaço, pretende-se uma solução baseada na flexibilidade: um espaço polivalente e versátil que se adapte aos modos de vida dos utilizadores, e permita a sua personalização como resposta às necessidades e aspirações de cada um. Assim, entende-se o conceito de flexibilidade no espaço doméstico, como a capacidade que tem o espaço físico existente para se adaptar ao processo variável e dinâmico do habitar. *“Variável, porque os usos praticados estão relacionados com os estilos de vida dos moradores, com os seus valores, níveis culturais e singularidades e, portanto, não são universais. Dinâmicos, porque os usos acompanham a evolução da sociedade e como tal não se mantêm fixos no tempo”* (Freire 2009 pág. 33)

Uma das vantagens da flexibilidade no espaço habitacional é a possibilidade de expansão do espaço inicial segundo as necessidades do morador, permitindo assim moldar este a cada

¹³ Alguns com função construtiva e outros meramente decorativos.

forma de habitar. Um mesmo espaço ou habitação que se adapte às diferentes necessidades pode permitir uma personalização a baixo custo (Freire 2009).

A coordenação modular valoriza-se dentro deste ambiente e destaca-se entre as soluções existentes devido à “simplicidade” de desenvolvimento necessário para dar uma resposta universal a estas exigências. A modulação de um espaço tem como objetivo compatibilizar e normalizar as suas dimensões dentro da edificação, com o intuito de facilitar a sua conceção, elaboração e construção, contribuindo assim à melhoria da qualidade dos elementos e permitindo uma construção personalizada a preços acessíveis (Freire 2009).

Assim, através da modulação e a utilização das novas tecnologias, é possível responder às necessidades de habitação de diferentes famílias apresentando um espaço de ambiente central que permita ao utilizador participar nas decisões a respeito da caracterização do seu ambiente, a flexibilidade deste e a sua possível futura extensão ou modificação, promovendo um desenvolvimento sustentável que se adapte às diferentes etapas da vida (Freire 2009).

Prefabricação e Sistemas Construtivos

A prefabricação pode ser entendida como o conjunto de técnicas utilizadas dentro da indústria da construção para a produção de diferentes elementos construtivos, sendo estes elaborados fora do local de implantação e montados posteriormente na obra. Esta pode ser considerada total ou parcial com base na quantidade de elementos concluídos antes da construção, e procura a otimização dos procedimentos projetais, sejam estes durante o planeamento ou na produção, com o intuito de minimizar o desperdício de materiais e o tempo de construção sem influenciar a qualidade, segurança e conforto da edificação (Costa 2011 - 2012, Martins Vasconcelos 2013).

A industrialização de métodos e sistemas, assim como o desenvolvimento das sociedades, permitiram a correta aplicação e coordenação de elementos, materiais e mão de obra com o intuito de concretizar espaços previamente programados e desenvolvidos para melhorar a vida do utilizador, oferecendo maior conforto a preços mais acessíveis (Sousa 2011). Assim, existem diversos sistemas construtivos que, baseados na coordenação modular e em diferentes técnicas construtivas, nasceram ou evoluíram para cumprir os requisitos e exigências do mercado de construção habitacional, oferecendo soluções simples e de rápida execução, alguns destes vão ser explicados à continuação.

A informação técnica referente aos diferentes sistemas construtivos foi, na sua maior parte, retirada (Sousa 2011, pág. 24 a 30).

Sistema Construtivo Pré-fabricado em Betão

Neste sistema construtivo os diferentes elementos são construídos na fábrica: pilares, lajes, vigas, paredes, escadas e coberturas que, posteriormente, são transportadas ao local de implantação da obra. Enquanto estes são fabricados o local da obra é preparado, procedendo à limpeza e nivelação do terreno assim como a marcação da obra.

A estrutura é constituída por pilares em betão armado de 10 cm x 10 cm com 3 m de altura e perfil tipo “H”. As placas pré-fabricadas são encaixadas nos pilares para gerar as paredes e estas podem apresentar três tipos de dimensões: 55 cm x 51 cm; 88 cm x 51 cm e 120 cm x 51 cm, mantendo uma espessura de 3.1 cm em qualquer caso. As mesmas não

possuem nenhum tipo de encaixe entre elas, sendo necessário aplicar argamassa para a sua união. As vigas, vergas e contra vergas apresentam também dimensões padrão de 10 cm x 10 cm, e são moldadas com fendas de encaixe para facilitar a fixação às placas e pilares. A cobertura é construída normalmente em estrutura de madeira, sendo montada em fábrica pelo carpinteiro e instalada posteriormente na obra para aplicar a telha.



Figura 4: Sistema construtivo pré-fabricado em betão - Fase de construção (Sousa 2011)

Alguns destes elementos podem vir equipados com a pré-instalação da parte elétrica, tomadas e interruptores segundo o projeto de eletricidade e, finalmente, uma vez construído o projeto pode ser aplicado um acabamento em tinta.

Dentro deste sistema também existe a possibilidade de moldar as paredes em grandes painéis, sendo as fachadas peças únicas realizadas com base no projeto, contendo nelas as aberturas de portas e janelas, assim como a pré-instalação de água e eletricidade.



Figura 5: Sistema construtivo de grandes painéis pré-fabricados em betão - Fase de construção (Sousa 2011)

Sistema Construtivo em Painéis de Fibra de Vidro

É um sistema estruturado em madeira cujos painéis são laminados e em fibra de vidro, construídos com base num módulo de 90 cm x 260 cm de altura e com espessura variável entre os 2.5 cm e os 3 cm. A cobertura é suportada por uma estrutura, também em madeira, sob a qual é aplicada a telha de fibrocimento ou cerâmica e, assim como no caso anterior, enquanto estes elementos são produzidos o terreno deve ser limpo e nivelado antes de transportar os componentes do edifício, sendo necessário executar as fundações antes de colocar os outros elementos.



Figura 6: Sistema construtivo em painéis de fibra de vidro - Fase de construção e obra concluída (Sousa 2011)

Sistema Construtivo em Painéis de Aço Galvanizado

A estrutura deste sistema é composta por perfis metálicos nos quais são fixados os painéis de aço galvanizado, formando paredes autoportantes. Os mesmos possuem uma espessura de 15 cm e são preenchidos com mantas de lã de vidro para isolamento acústico e térmico. Os seus componentes são cortados e dobrados já na fábrica sendo que as peças podem ser fabricadas conforme o projeto, mas permite ser aplicado na coordenação modular (como também acontece com as fachadas pré-fabricadas em betão).

A cobertura é executada com perfis metálicos nos quais, posteriormente, são colocadas as telhas de fibrocimento ou cerâmica.



Figura 7: Sistema construtivo em painéis de aço galvanizado - Fase de montagem (System 2011)

Sistema Construtivo em Painéis de PVC (Policloreto de Vinil)

O sistema construtivo em PVC apresenta uma grande racionalização dos componentes, sendo necessários unicamente oito perfis básicos: O principal, um de canto, um inteiro, uma tampa, um perfil de base, um perfil para o marco das portas, um perfil para o marco das janelas e um adaptador de janela. A estrutura é formada por paredes portantes e os perfis utilizados podem ter 75 mm ou 100 mm de espessura. A armadura de conexão entre as paredes e a fundação, e as armaduras de reforço no contorno do vão, são colocadas interiormente. Para o revestimento aplica-se uma camada de argamassa após a montagem dos perfis, sendo possível posteriormente dar o acabamento em pintura ou revestimento cerâmico.

A cobertura é suportada por uma estrutura em perfis leves de aço galvanizado sob a qual pode ser aplicado qualquer tipo de telha.



Figura 8: Sistema construtivo em painéis de PVC - Fase de montagem e obra concluída (Sousa 2011)

Com base neste sistema existe um outro método que consiste na execução de paredes autoportantes em perfis de PVC preenchidas com betão estrutural leve, reforçadas com barras de aço de 12,5 mm.

Sistema Construtivo em Alvenaria e Estrutura Metálica

Neste sistema os pilares, vigas e a estrutura metálica da cobertura são produzidos em fábrica, quanto que os outros componentes são adquiridos no comércio local. A estrutura é transportada até o local da obra para ser executada com perfis de aço de chapa dobrada, e as paredes são construídas em alvenaria convencional, sendo a sua espessura a correspondente ao tijolo mas o revestimento de argamassa. A cobertura é montada juntamente com a estrutura do edifício, antes das paredes serem executadas e, posteriormente, recebe a telha cerâmica ou de fibrocimento.



Figura 9: Sistema construtivo em alvenaria e estrutura metálica - Fase de construção (Sousa 2011)

Sistema Construtivo em Perfis de Aço Zincado (Steel Framing)

O sistema se desenvolve com base numa estrutura de perfis leves de aço que são zincados por imersão a quente. Esta é fixada principalmente por parafusos e utiliza placas de gesso acartonado para formar as paredes, as quais contêm a instalação das redes hidráulicas e elétricas. Os componentes da edificação são transportados para a obra para ser montado por profissionais.

Neste tipo de projetos a câmara de ar interna que existe nas paredes, as mantas térmicas, impermeabilizantes e as grelhas de ventilação da cobertura promovem um ambiente confortável a nível térmico e acústico. A estrutura está interligada entre si formando um conjunto monolítico leve mas resistente.

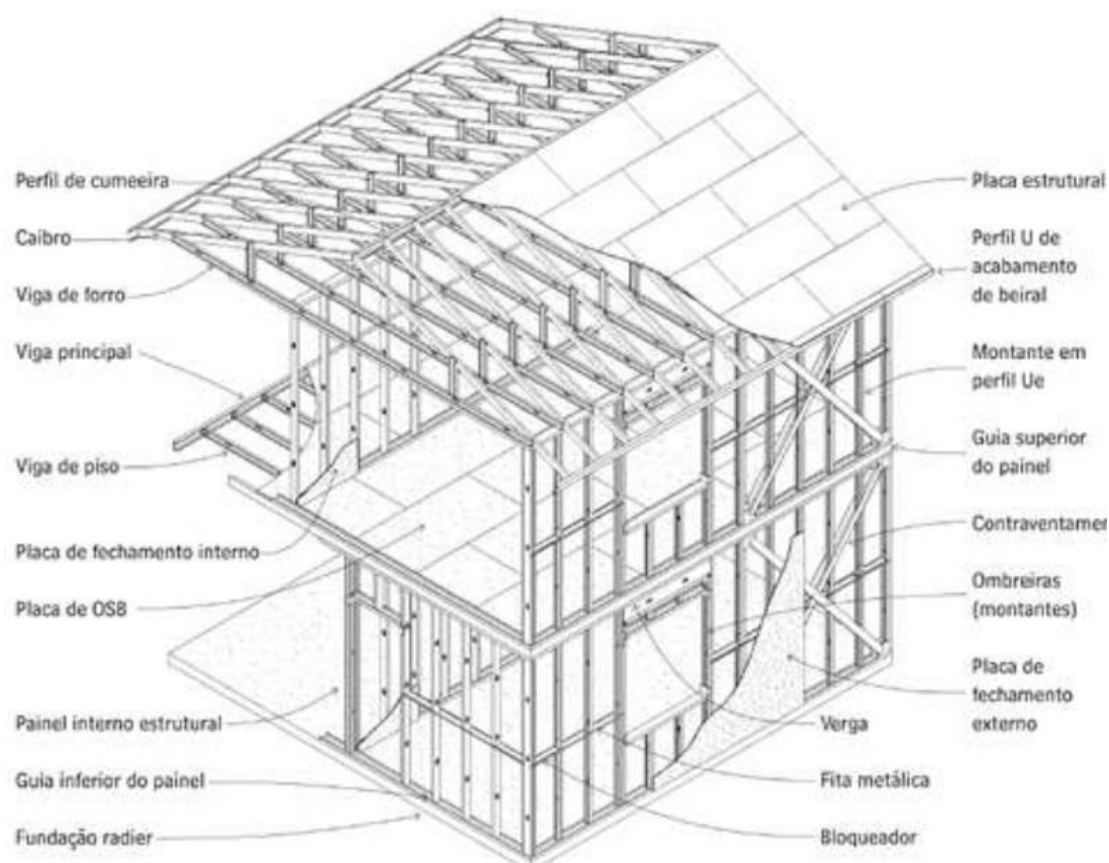


Figura 10: Sistema construtivo em perfis de aço zincado – Esquema estrutural (Sousa 2011)

Sistema Construtivo em Madeira

Neste sistema construtivo todos os elementos são construídos em fábrica, otimizando o uso dos materiais e da infraestrutura. A estrutura da edificação é realizada em madeira, assim como o resto da construção, e as paredes podem apresentar espessuras de 200 mm a 250 mm, sendo elaboradas unicamente em madeira ou com outros acabamentos interiores, como cerâmicos, e exteriores, como o granito e o xisto (Viviendademadera , habitat 2007, Discovercasa 2013).

Da mesma forma que os casos anteriores, o terreno deve ser previamente preparado e as fundações podem ser construídas sobre uma malha de blocos, um sistema de estacas ou uma laje de betão armado (Discovercasa 2013).

A cobertura é de madeira sob a qual se coloca telha cerâmica ou de isolamento, podendo ser de 1,2 ou 4 águas (Discovercasa 2013).



Figura 11: Sistema construtivo em madeira – Obra concluída e acabamentos (Discovercasa 2013)

Conclusão

De acordo aos exemplos aqui mostrados, existe uma grande variedade de opções em materiais e sistemas construtivos. Devido ao estilo atual de vida, onde à procura de espaços confortáveis e acessíveis dominam o mercado, é exigida uma maior flexibilidade e adaptabilidade do espaço em que se habita.

A existência das novas tecnologias, conjuntamente com a possibilidade de modificar e personalizar o nosso espaço, proporcionaram a produção em série de diversos elementos arquitetónicos que, utilizados de variadas formas ou em locais distintos, podem definir diferentes espaços ou tipologias na habitação (Freire 2009) mas, até que ponto, estes elementos influenciam o conforto do utilizador?

Antes esta situação, de que modo seria possível determinar os motivos que levam à seleção de um tipo de espaço, perante outro, quando o mesmo pode representar a perda desta flexibilidade e conforto, limitando a adaptação do mesmo ao utilizador?

Com o fim de opções construtivas existentes no mercado de construção habitacional, definir os valores de importância para a avaliação dos espaços, assim como as prioridades do utilizador para a seleção dos mesmos, poderia representar importantes oportunidades para o desenvolvimento do arquiteto, do projeto, bem como para o mercado da construção. Para tal, três tipologias diferentes vão ser analisadas, sob os mesmos parâmetros, para conhecer o nível de adaptação das mesmas ao meio envolvente e o nível de conforto que oferecem ao utilizador.

A seleção do tipo de edificação e a demarcação dos parâmetros mais adequados para a mesma, nomeadamente, a tipologia construtiva, os materiais a utilizar, entre outros valores, pode contribuir para o desenvolvimento futuro de melhores soluções construtivas, permitindo dar resposta à população de modo a garantir uma correta combinação entre estes elementos oferecendo conforto, eficiência, qualidade e economia.

Capítulo III – A Pré-fabricação em Portugal

Introdução

A revolução industrial promoveu o desenvolvimento e a evolução das sociedades, incluindo junto destas novas tecnologias, métodos e técnicas, na procura de melhores soluções que, por sua vez, simplificam a vida e oferecem um maior conforto.

Dentro da construção tais avanços viram-se refletidos na criação de novos modelos construtivos que, desafiando os métodos de construção tradicional e os conhecimentos até lá obtidos, ofereciam supostas soluções de qualidade, construídas em tempo recorde, e cuja duração e manutenção era igual ou superior¹⁴ às construções tradicionais.

Projetadas através de unidades modulares (tipo Contentor), ou por componentes separados (tipo Lego), estas permitem a personalização da habitação, e evolução da mesma, segundo as necessidades de cada utilizador (Martins Vasconcelos 2013).

Conceitos e Preconceitos

O desenvolvimento das soluções habitacionais, modulares e pré-fabricadas, foi abertamente influenciado pelo excesso populacional que apresentavam diversas zonas de Europa e o mundo naqueles anos, assim como as devastadoras consequências da Primeira e Segunda Guerra Mundial (1914-1918 e 1939-1945).

A limitação de orçamento e de materiais disponíveis durante esta época, além da urgência para a criação de espaços habitáveis onde dar alojamento à população existente, teve como consequência a construção de edifícios de baixa qualidade que se degradaram rapidamente com o tempo. Assim, na década de 70 e 80, alguns destes edifícios tornaram-se uma ameaça à segurança dos seus habitantes, tendo de serem demolidos para evitar o colapso

¹⁴ Superior no caso da duração da construção e inferior quanto às necessidades de manutenção.

das estruturas dos mesmos, contribuindo com isto ao estigma e à desconfiança nos sistemas pré-fabricados (Gonçalves Tomé 2006).

“A aplicação intensiva da pré-fabricação ao problema de habitação social, em conjunto com a utilização da tecnologia mais barata possível (na maioria dos casos em detrimento da qualidade, do conforto e da estética) levou à associação da pré-fabricação de baixa tecnologia a contextos de pobreza, degradação e recurso alternativo em tempos de crise. No imaginário coletivo geral, a pré-fabricação total o quase total passou a ser considerada como a última alternativa escolhida...” (Gonçalves Tomé 2006 pág. 26)

Esse estigma verifica-se na Europa do Sul e de Leste, assim como outros países com economias débeis e indústrias tradicionais pouco desenvolvidas, onde o contexto político, as guerras e a situação de pobreza influenciam diretamente a situação global na procura e solução de espaços para habitar. Porém, no Centro e Norte de Europa, como é o caso de Alemanha, Áustria, Holanda e Inglaterra, este estigma já não se faz sentir da mesma forma, sendo países com economias mais fortes e indústrias mais desenvolvidas, as aplicações da pré-fabricação evoluíram positivamente aumentando a qualidade estética, construtiva e de conforto, sendo exemplo da boa construção pré-fabricada a nível mundial. Já no caso dos Estados Unidos, a pré-fabricação continua a ser desenvolvida com base nos modelos tradicionais dos catálogos e dos “kits-of-parts” (Gonçalves Tomé 2006).

Além do já exposto, e contrário ao anterior, existe outro pré-conceito associado à pré-fabricação onde esta é parte de um processo inovador, sofisticado e de alta tecnologia, que conclui em modelos dispendiosos, de grande qualidade, conforto e estética, mas inacessíveis ao cidadão comum (Gonçalves Tomé 2006). Portanto, seja este um processo industrial simples ou complexo, de alta ou baixa tecnologia, e com maior ou menor grau de inovação e sofisticação, onde o objetivo final é dar conforto e qualidade ao utilizador, parece não obter a aceitação total por parte do mercado habitacional a nível mundial.

A pré-fabricação em Portugal

Em Portugal, o predomínio do carácter artesanal da construção civil, o baixo investimento tecnológico no setor, os programas de pré-fabricação em massa¹⁵ e as experiências mal sucedidas dos anos 70 e 80, prejudicaram a imagem geral dos sistemas pré-fabricados contribuindo ao estigma e ao enraizamento destes preconceitos dentro da cultura lusa. *“Conforme é do conhecimento geral, este é um segmento alternativo (e minoritário) à construção convencional de edifícios, dominante em Portugal.”* (Gonçalves Tomé 2006 pág.

¹⁵ Sendo o seu principal objetivo económico – funcional, este primava sob a exigência de qualidade e conforto na edificação.

27). Assim, a pré-fabricação total ou quase total ainda é escassa e é, por norma, aplicada em contextos específicos, quase exclusivos, de programas públicos tradicionais ou na construção de habitação para a classe média e alta, sendo que uma grande parte desta tecnologia é unicamente aplicada em sistemas parciais que complementam a construção tradicional (revestimento, estrutura, tetos, divisórias, etc.) (Gonçalves Tomé 2006).

Os contextos onde a pré-fabricação é bem aceite têm como denominador comum a rapidez de construção, a economia de meios e custos e a possibilidade de montagem e desmontagem, sendo estes fatores inerentes ao modo de construção. Porém, sendo Portugal um país com economia pobre dentro do contexto europeu, onde o custo é um vetor preponderante aquando a aquisição de bens, o desenvolvimento destes sistemas parece não ter conseguido conciliar qualidade com economia, contribuindo ao preconceito e o estigma existente, e deixando a aplicação da pré-fabricação para programas destinados à construção de pavilhões (escolas, armazéns, etc.), aproveitamento de contentores, habitação social ou de emergência e habitação de férias (Gonçalves Tomé 2006).

Constata-se nestes uma correlação “interessante” entre o programa desenvolvido e os materiais utilizados, tendo em consideração o objetivo, custo e contexto, parece existir um material “dominante” para cada tipologia de edificação. Assim, na construção total ou quase total de um projeto pré-fabricado, é utilizado como opção o material mais comum a cada caso, de acordo com os modelos testados, como se este fosse de caráter obrigatório para o correto desenvolvimento do edifício (Gonçalves Tomé 2006).

No caso do pavilhão, aplicam-se sistemas de fixação mecânica com elementos metálicos (na estrutura e revestimento), enquanto o contentor é um sistema autoportante com componentes metálicos que, posteriormente, podem ser revestidos com aglomerados de madeira. Já no caso da habitação totalmente pré-fabricada, esta pode ser construída em madeira ou em metal, sendo rara a utilização de betão pré-fabricado ao nível da estrutura em conjunto com o revestimento (Gonçalves Tomé 2006).

Sendo estas duas as tipologias com maior aplicação em Portugal (madeira e metal), vão ser analisadas no ponto a seguir e, posteriormente, testadas (à nível energético) e comparadas, relativamente aos resultados obtidos para uma habitação de construção “convencional”, com o intuito de dar resposta ao planeamento inicial, onde a finalidade é determinar se a preferência de um modelo em particular responde às necessidades de conforto e eficiência energética, ou é também influenciado pela cultura do país.

Modelos de Habitação

Com base nas estatísticas apresentadas pelo (INE) para 2011, como se observa na Tabela 2, Portugal evidencia um maior crescimento das edificações com estruturas de betão armado (66%) e com revestimento em reboco tradicional ou marmorite (85%); sendo que as edificações com estrutura e revestimento metálico ou em madeira representam apenas o 1% e 0,4% do total.

Tabela 2: Quantidade de edifícios, segundo a época de construção, por principais materiais utilizados na construção.

	Antes de 1919 ¹⁶	1919-1945 ¹⁵	1991-1995	2006-2011
Tipo de estrutura				
Betão armado	0	45.764	157.369	128.040
Paredes de alvenaria (com placa)	0	80.792	86.836	58.615
Paredes de alvenaria (sem placa)	136.017	102.849	5.986	3.916
Paredes de alvenaria de pedra solta ou adobe	54.454	54.203	2.289	2.399
Outras (madeira, metálica...)	4.698	4.524	1.250	1.931
Revestimento exterior				
Reboco tradicional ou marmorite	117.126	203.623	226.904	165.804
Pedra	70.720	74.292	15.527	20.350
Azulejo, ladrilho cerâmico ou mosaico	5.938	8.512	9.819	5.601
Outros (madeira, vidro...)	1.385	1.705	1.480	3.146
Cobertura				
Em terraço	505	4.023	7.854	17.692
Inclinada				
Revestida a telha cerâmica ou de betão	189.863	275.367	235.551	166.261
Revestida com outro material	4.000	5.567	4.082	4.639
Mista (inclinada e terraço)	801	3.175	6.243	6.309

Baseada nos quadros de apuramento do (INE) (Elaboração Própria)

¹⁶ Situação após a Primeira e Segunda Guerra Mundial.

Isto reflete parte do panorama antes descrito relativo aos edifícios de habitação, mas, considerando o já exposto no início deste capítulo sob os possíveis conceitos e preconceitos existentes na população, pode não ser o reflexo da melhor combinação entre elementos, conhecimentos e materiais para obter o resultado procurado. Assim, é desenvolvido o trabalho prático a seguir.

A informação geral sob os diferentes sistemas de construção pré-fabricada já foi abordada no Capítulo II – Adaptação: da Vivenda “Tradicional” aos Sistemas Modulares (Prefabricação e Sistemas Construtivos). Porém, serve este ponto para incluir alguns dados existentes sob as construções modulares pré-fabricadas, em madeira e metal, enquanto à diversidade dos materiais existentes e as possibilidades de aplicação no contexto de habitação.

Habitações Modulares Pré-fabricadas em Madeira

De acordo com (Casas 1994, habitat 2007, Jular 2010, Casema 2015), as casas de madeira são geralmente de estrutura autoportante. As paredes podem ser simples ou duplas, com ou sem isolamento, e são construídas através da sobreposição e encaixe de pranchas de madeira. Nestas, o tipo de madeira utilizado e a forma de encaixe pode variar conforme as necessidades e exigências do projeto, sendo sempre utilizadas madeiras nobres duras para paredes e estruturas, e brandas ou médias para outros elementos como móveis e esquadrias¹⁷.

A cobertura apresenta uma armação de madeira (vigas, caibros ou vigotas), sob os quais se encontra o isolamento, a estrutura e o ripado de madeira, a caixa-de-ar e as telhas, geralmente de cerâmica. Já o pavimento pode ser feito em qualquer material, sendo preferencial o uso da madeira, seja maciça, parquet ou soalho flutuante (*Ibidem*).

Nas janelas e portas é comum possuírem caixilharia de alumínio e vidro duplo, sendo utilizado contraplacado de madeira para as portas internas. Estima-se que a durabilidade de uma casa em madeira seja igual ou superior a uma casa de alvenaria tradicional¹⁸, requerendo apenas uma manutenção externa geral do verniz cada 2 a 3 anos, e interna cada 15 a 20 anos aproximadamente (*Ibidem*).

Dentro da construção existem madeiras nobres macias, médias e duras. Estas devem apresentar um bom aspeto e um cheiro agradável ou sem cheiro, sendo de elevada durabilidade e estabilidade em todos os sentidos para garantir a qualidade no produto final. Entre as madeiras nobres macias temos: *Mogno, Cedro, Cerejeira, Pinho Oregon, Amendoim*, entre outras. Já nas madeiras nobres médias existe: *o Angelim Pedra, Louro Vermelho, Louro Preto, Andiroba, Bacuri, Muiracatiara, Marfim* (sobretudo para soalhos), etc. Entre as madeiras nobres duras estão: *Tatabuja, Angico Preto, Maçaranduba ou Grapia, Ipê, Cumaru, jatobá, Itaúba, Pau Roxo, Sucupira Preta, Peroba Rosa*, entre outros (Casema 2015).

Como matéria-prima, além de apresentar-se como uma solução de grande durabilidade, permite um bom isolamento térmico e acústico, uma boa resistência ao fogo e, quando

¹⁷ Para maior informação relativamente às empresas consultadas ou aos tipos de madeira, ver

Anexo 4: Características das Casas de Madeira com Base nas Diferentes Empresas Consultadas (Casas 1994, habitat 2007, Jular 2010, Casema 2015).

¹⁸ De acordo com algumas empresas de construção, a durabilidade de uma edificação em madeira situa-se perto dos 400 anos. habitat, N. (2007). "**Casas de madeira e modulares**". Retrieved 20/12/2014, 2014, from <http://www.novohabitat.com.pt/cmadeira.html>.

comparada com outros produtos, a madeira é o único material que absorve carbono da atmosfera, enquanto os outros só libertam. Assim, *“a madeira assume atualmente uma importância crescente na arquitetura moderna, quer seja em habitação, em projetos de lazer e/ou entretenimento ou em infraestruturas de turismo”* (Jular 2010).

Habitações Modulares Pré-fabricadas em Metal

Na casa pré-fabricada em metal a estrutura pode ser em colunas ou autoportante. As paredes, com ou sem isolamento, costumam ser painéis tipo sandwich com diversos sistemas de encaixe ou fixação entre eles e a estrutura. O tipo de acabamento nelas varia dentro de uma vasta gama de pinturas, cerâmicas e outros revestimentos metálicos ou em madeira ¹⁹ (Modiko 2014, Homes 2015).

O teto apresenta uma armação em perfis metálicos (geralmente aço), colocados numa única direção, sob o qual se fixam perfis de chapa e o isolamento. Posteriormente, e segundo os requerimentos do projeto, se adicionam painéis sandwich com recobrimento, manta geotêxtil com tela em PVC ou subtelha e telha para o acabamento do teto. O pavimento é geralmente uma laje de betão que permite a aplicação de diversos tipos de revestimento como deck, cerâmicos, pavimentos flutuantes, entre outros (Modiko 2014, Fazatuacasa 2015, Homes 2015).

Enquanto às janelas e portas, é comum possuírem caixilharia de alumínio e vidro duplo ou contraplacado de madeira de boa qualidade, no caso das portas. A durabilidade de uma casa em estrutura metálica estima-se que seja igual a uma casa de alvenaria tradicional, requerendo a mesma manutenção que esta última (*Ibidem*).

¹⁹ Para maior informação relativamente às empresas consultadas, ver

Anexo 5: Características das Casas em Metal com Base nas Diferentes Empresas Consultadas (Jular 2010, Fazatuacasa 2015, Ramisote 2015)

Capítulo IV – Modelo de estudo

Introdução

Independentemente da sua utilização e tipologia, uma construção deveria estar adaptada ao meio ambiente e ao clima em que se encontra para permitir o melhor aproveitamento da mesma perante as necessidades de energia, conforto e qualidade de vida.

Esta deve responder a diversos parâmetros básicos predefinidos que contribuem na determinação da melhor solução para cada caso apresentado. Assim, analisar diferentes tipologias construtivas para conhecer o seu nível de adaptação, de acordo às necessidades acima expostas, pode contribuir para o desenvolvimento de melhores soluções construtivas que garantam a correta combinação entre os elementos existentes no mercado da construção.

Tipologia de Habitação

De acordo com (Espanola , Priberam 2008), *tipologia* define-se como a prática realizada em diversas ciências para o estudo e classificação dos “*tipos*”.

Em arquitetura, o *tipo* é configurado como um esquema que, perante a redução de um conjunto de variáveis formais a uma base em comum, permite a análise dos diversos signos da linguagem arquitetónica possibilitando a caracterização dos mesmos para constituir, posteriormente, uma regra que permita a sua diferenciação, divisão e classificação (Freire 2009).

“A tipologia pode referir-se ao estudo da composição dos edifícios (como na disposição das unidades de habitações e circulações) ou ainda nas regras inerentes à composição urbanística (edifícios em banda, quarteirões clássicos, etc.)” (*Ibidem* Pág. 29)

Na atualidade, países como Espanha ou Portugal utilizam esta expressão para definir o número de quartos de uma habitação.

Assim, como se observa na Tabela 3, a composição dos núcleos familiares e a quantidade de fogos concluídos, licenciados e de habitação social permitem conhecer a realidade local enquanto às necessidades de habitação da população.

Tabela 3: Núcleos familiares e tipos de fogos segundo a sua dimensão.

	Tipo de núcleos familiares (2001)				
	Total	Sem filhos	1 Filho	2 Filhos	3 Filhos ou mais
Dimensão Familiar	3.069.745	975.252	1.121.103	760.565	212.825

	Tipologia do fogo (2012)				
	Total	T0 e T1	T2	T3	T4 ou mais
Fogos Concluídos	27.746	3.375	6.627	12.313	5.431
Fogos Licenciados	11.251	1.143	2.686	5.100	2.322
Fogos de hab. Social	118.334	13.378	93.052		11.904

(INE 2012, PORDATA 2012) Elaboração Própria

Com base nas informações aqui apresentadas, é possível observar que predominam as famílias com um único filho (36% da população), sendo a dimensão média da família 2,6 pessoas²⁰, e a tipologia de preferência é de três habitações (aproximadamente 45% dos fogos concluídos e licenciados). Esta prevalência diz respeito ao número de integrantes no círculo familiar e as suas exigências e necessidades, e demonstra a procura de certo grau de conforto.

Portanto, para maior aproveitamento do presente trabalho, define-se uma vivenda de três habitações como o modelo de estudo com o intuito de responder à população de forma geral, tomando como exemplo aqueles que representam a maioria.

Seleção e Definição do Modelo

A comparação dos níveis energéticos nas diferentes soluções permitira definir se a preferência de um modelo em particular, sob os outros existentes, responde maioritariamente às necessidades de conforto e eficiência energética, ou é também influenciado pela história e cultura do país onde este se encontra.

²⁰ Disponível em PORDATA (2012). **Fogos Concluídos e Famílias Clássicas**. PORDATA.

Devido à variedade de tipos e tipologias construtivas existentes no mercado da construção, faz-se necessário limitar o modelo de estudo em forma, tipo e materiais, com o objetivo de abranger as diferentes alternativas e oferecer uma análise completa para cada tipologia selecionada.

Para tal, recorre-se à utilização de um projeto base já existente, como é neste caso a Moby da CNLL – Atelier Nuno Lacerda Lopes, com o intuito de avaliar um projeto já construído, segundo os valores obtidos nas simulações e, posteriormente, confrontá-los com os valores resultantes para as outras tipologias de habitação, nomeadamente uma construção em madeira e outra de forma tradicional. Assim, define-se em continuação o modelo em análise.

Modelo em Análise

Entre os modelos existentes da MOBY²¹, e considerando os motivos anteriormente expostos neste capítulo, é selecionada a **Moby T3** (Ver Anexo 6). A mesma é composta por cinco elementos modulares de 2,5 x 7,5 x 3,6 metros, para um total de 93,75 mts², e inclui três habitações, uma cozinha, sala, sala de jantar e duas casas de banho.

Sendo que a área de habitação e os materiais são iguais, a seleção desta MOBY entre outras similares deve-se unicamente a uma decisão do analisador. Tal escolha não afeta os resultados, devido à utilização do mesmo modelo de casa para as diferentes análises, variando, unicamente, o acabamento das paredes externas, assim como apresentado na Tabela 5.

Tabela 4: Descrição do modelo em análise

	Metálico	“Tradicional” ²²	Madeira
Paredes Externas	Superfície externa	Superfície externa	Superfície externa
	6,00mm Revestimento metálico leve	19,00mm Acabamento externo	19,80mm ripas de madeira
			38,40mm fibra de vidro
		60,00mm EPS	58,90mm isolamento fibra de vidro
	20,10mm XPS	220,00mm Bloco	10,00mm fibra de vidro
	13,00mm Placa de Gesso	13,00mm Gesso leve	15,9 mm placa de gesso
	Superfície interna	Superfície interna	Superfície interna

²¹ Para maior informação, consultar Lopes, N. L. "**MOBY**. Natural Lifestyle." Retrieved 10/10, 2014, from <http://www.cnll.pt/moby/indexpt.html>.

²² Baseado nos estudos do Professor Engenheiro Vasco Peixoto de Freitas, Freitas, V. P. (2002). **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior**. Porto - Portugal, Maxit Group.

Paredes Internas	Superfície externa
	25,00mm Placa de Gesso
	100,00mm caixa de ar
	25,00mm Placa de Gesso
	Superfície interna

Pavimento	Superfície externa
	30,00mm Acabamento em madeira
	70,00mm Betonilha
	100,00mm Betão
	17,10mm Resina
	Superfície interna

Cobertura	Superfície externa
	10,00mm Asfalto
	24,50mm lã de vidro
	200,00mm caixa de ar
	13,00mm placa de reboco
	Superfície interna

Janelas e Proteção Solar	Janelas de vidro duplo transparente com caixilharia de alumínio com corte térmico, estores de tecido ou cortinas romanas no interior, e brise-soleil de 0.5 m aplicados no exterior.
---------------------------------	--

Além da definição tipológica e material do modelo em análise, faz-se necessária a determinação da sua localização climática, bem como os horários de utilização do mesmo, com o intuito de avaliar o seu comportamento num contexto “real”.

Localização do Modelo

Sendo a cidade do Porto um dos ícones arquitetónicos do país, e conforme a quantidade de dados climáticos disponíveis para uma simulação “real” nesta cidade, o modelo em análise foi situado num espaço (não determinado), dentro deste distrito, no concelho de Maia (Pedras Rubras).

Tabela 5: Dados Climáticos para Porto – Portugal

PORTUGAL	
Porto – Pedras Rubras	
Base de Dados	ASHRAE/IWEC
Zona climática segundo a ASHRAE	3C
Classificação Köppen	Csb ²³
Latitude (º)	41,23
Longitude (º)	-8,68
Altitude (m)	77,0
Pressão Normal (kPa)	100,4

Horários de Utilização do Modelo – Ocupação, equipamentos, iluminação e sistemas de climatização.

Como já foi explicado anteriormente, a análise energética de uma edificação inclui as cargas térmicas como parte essencial do seu desenvolvimento, sendo estas as que determinam a quantidade de calor a ser retirado ou colocado num espaço, com o intuito de proporcionar o conforto requerido.

²³ Para maior informação sob a classificação Köppen e como funciona, pode ser consultado em: Dias Neves, Y. C. (2013). **Conceção bioclimática de edifícios industriais**. Departamento de Engenharia Mecânica Universidade de Aveiro. **Mestrado**: 131.

As perdas ou ganhos destas cargas térmicas estão associadas à envolvente da edificação (paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados), ao tipo de estrutura (metálica, betão, madeira, etc..) bem como ao calor gerado dentro do ambiente (ocupantes, equipamentos, iluminação, assim como qualquer outra fonte geradora de calor). Portanto, após a definição tipológica dos modelos de habitação para avaliação, faz-se preciso determinar o tipo de ocupação para cada divisão, os equipamentos disponíveis nestas, assim como as cargas que representam, o tipo de iluminação e a existência, ou não, de sistemas de climatização.

Devido à finalidade deste trabalho e, com o intuito de simplificar a sua compreensão, foram aplicados os horários de utilização, ocupação e iluminação básicos, já definidos no modelo inicial do *software* de simulação²⁴. Estes podem ser consultados no Anexo 7, 8 e 9.

Variáveis em Estudo – Índice de Conforto Térmico

Uma vez caracterizado o elemento base faz-se necessário seleccionar as variáveis a analisar, com o intuito de conhecer o comportamento de cada tipologia quando inseridas numa localização fixa. Estas podem ser obtidas do meio ambiente ou através do balanço de calor.

Quanto as variáveis ambientais, estas incluem uma série de elementos que influenciam, e são influenciados, pelo meio em que se desenvolvem, neste caso, a casa e a sua localização. Estas são:

Temperatura interna do ar (°C)

Esta se refere à temperatura existente dentro da edificação. É calculado o valor médio da temperatura existente em cada espaço, divisória ou elemento, assim como o valor médio total da edificação.

Temperatura interna radiante (°C)

A temperatura radiante (média) é calculada assumindo que a pessoa existente no local se encontra no centro do mesmo, e não é afetada pela carga de nenhuma superfície em particular (DesignBuilder).

Temperatura operativa (°C)

A temperatura operativa mede o conforto térmico humano com base na temperatura do ar e a temperatura radiante. Esta é conhecida como “sensação térmica” do espaço analisado (DesignBuilder, Bean 2012, Wiki 2014).

²⁴ Para maior informação sob este ponto, consultar o Capítulo V – Métodos e Tecnologias de Análise. (Metodologia Utilizada)

Temperatura exterior (*dry bulb*) (°C)

Refere-se à temperatura exterior do ar, sem ponderar a radiação dos objetos no ambiente analisado, a humidade relativa ou os movimentos do ar (DesignBuilder , Wiki 2015).

Humidade Relativa (%)

Mede a densidade do vapor de água no ar, quando comparada com a densidade do vapor de água para o ar saturado à mesma temperatura e pressão. Esta influência o conforto térmico, sendo que quanto maior a humidade relativa, menor a perda de calor da pessoa através da evaporação, e maior sensação de calor. Tipicamente, a humidade relativa apropriada nas edificações é entre 40 a 60% (Wiki 2016).

Relativamente ao balanço de calor, este envolve a produção e perda útil da energia existente no ambiente, a qual influência também o espaço habitado. Os elementos incluídos neste são:

Infiltração externa (kW)

Este valor demonstra os ganhos de calor gerados pela infiltração não intencional de ar ao edifício, através das aberturas do mesmo quando é aplicada a ventilação natural (DesingBuilder).

Ventilação externa (kW)

Inclui na sua análise os ganhos de calor produzidos pela entrada de ar exterior ao edifício devido à ventilação natural. Este valor contempla a abertura de janelas e outros elementos que, sendo abertos propositadamente, não são contabilizados na infiltração externa (Ibidem).

Iluminação Geral, Computadores e Equipamentos (kW)

Estes valores também são analisados e incluídos dentro do balanço energético devido ao grau de influência que possuem no comportamento térmico da edificação. Abrange os ganhos através da iluminação em geral, computadores e equipamentos/tecnologia (Ibidem).

Ocupação (kW)

Mostra o ganho de calor “sensível” devido aos ocupantes. Este varia segundo as condições internas, sendo que com temperaturas muito altas o mesmo pode cair a zero, devido ao resfriamento através da transferência de calor latente (Ibidem).

Ganhos solares p/janelas (kW)

Como descrito no nome, inclui os ganhos produzidos pela radiação solar direta ou difusa conduzida através das janelas para o interior da edificação (Ibidem).

Ventilação Mecânica + Natural + Infiltração (ac/h)

É a somatória do fluxo de ar exterior que flui para dentro da zona analisada através do sistema de climatização (AVAC), a ventilação natural e a infiltração (Ibidem).

Emissões de CO²

É a massa total de emissões de CO² (Ibidem).

Eletricidade e iluminação (kWh)

O gasto da energia consumida dentro da edificação é avaliado segundo as necessidades de iluminação e dos equipamentos adicionais, apresentando assim dois valores/hora diferentes (Ibidem).

Capítulo V – Métodos e Tecnologias de Análise.

(*Software e a sua forma de utilização/ funcionamento*)

Introdução

Em Arquitetura, a informação e a composição dos projetos são definidas, estruturadas e analisadas através do desenho. Plantas, cortes e fachadas permitem a conceção de uma ideia, onde projeto e desenho se fundem com o objetivo de obter um edifício que se adapte ao meio (Martins Vasconcelos 2013).

“O arquiteto no passado, devido assumir-se como um interveniente máximo na criação do edifício teria de controlar melhor o processo construtivo deste em obra, de forma a não obter erros, que poderiam não ser completamente expressos nos desenhos. A introdução gradual do desenho na arquitetura, mais precisamente as plantas, cortes e alçados e a análise volumétrica através de maquetas, durante o Renascimento, tornou mais clara a leitura do projeto através destes elementos, para auxílio e compreensão dos mestres de obra na execução do edifício” (Ibidem pág. 19)

Posteriormente, entre o século XVI e o século XX, os desenhos se tornaram universais no discurso arquitetónico, mais ainda existia neles uma lacuna de informação relativamente a diversos elementos, quanto à análise da luz, sombras, texturas, ventilação, entre outros²⁵ (Martins 2011, Martins Vasconcelos 2013).

O final do século XX marca uma nova era na tecnologia e na informação. O desenvolvimento atingido pelos computadores proporcionou aos arquitetos uma nova forma de projetar, diminuindo a representação bidimensional no papel e contribuindo à criação de

²⁵ Alguns arquitetos reconheciam a falta de análise e informação para o desenvolvimento do projeto, tendo desenvolvido ferramentas mais rudimentares e simples como quadros e esquemas. Estes eram utilizados dentro da arquitetura bioclimática mas, devido a inúmeros fatores, como a pouca difusão, tais conhecimentos não eram de domínio público.

ferramentas de modelação tridimensional. Este tipo de sistema permitia expressar no seu ambiente algumas das características já referidas, enquanto facilitava a análise das formas em três dimensões, porém, ao representar entidades geométricas genéricas, sem especificação das propriedades dos materiais e os seus comportamentos, dificultavam as simulações e análises ambientais, energéticas, entre outras (Ibidem).

Para tal, têm sido desenvolvidos diversos *software*, que permitem simular e avaliar o comportamento do edifício num ambiente mais próximo da realidade. A sua aplicação permite poupar tempo e dinheiro na projeção, construção e utilização da edificação, reduzindo potencialmente os erros e conflitos que possam existir durante as primeiras fases de desenvolvimento, assim como o desperdício de materiais durante a construção, enquanto facilita o processo construtivo e minimiza as necessidades energéticas do futuro projeto (Eastman, Teicholz et al. 2008, Martins Vasconcelos 2013).

Estes são conhecidos como sistemas BIM (*Building Information Modeling*), e permitem abordar tais exigências através da representação de informações completas sobre o projeto analisado, sendo possível posteriormente exporta-lo a diversos simuladores, como os energéticos ou ambientais, com o intuito de obter uma análise geral que permite o melhor desenvolvimento do projeto (Martins 2011).

Assim, de acordo às necessidades do projeto e o tipo de análise a realizar, existe uma grande variedade de *software* que facilitam a avaliação da edificação. Alguns destes são especializados segundo a área de intervenção²⁶, porém, e com o intuito de obter resultados mais completos, foram desenvolvidas outras ferramentas, mais “gerais”, que possibilitam o estudo de diferentes tópicos na mesma simulação. Estas, além de permitir a sua exportação para simuladores especializados²⁷, facilitam o estudo do projeto em diversos aspetos relativos à construção, materiais e comportamento futuro da edificação.

Segundo (EUROSIS 2003-2015), entre os *software* mais completos para a análise energética destacam:

Apache (Apache HVAC + Apache Sim): Permite realizar simulação dinâmica, térmica, energética e do sistema, incluindo AVAC, desenho e análise térmica e análise do consumo energético (Ibidem).

Autodesk Green Building Studio: Análise energética da edificação, incluindo informação climática detalhada, emissões de CO₂, desempenho energético, iluminação e ventilação natural, e utilização e custo da água. O mesmo permite a exportação do projeto para EnergyPlus, DOE-2 e CAD (EUROSIS 2003 - 2015, Autodesk 2015)

BuildingAdvice: Avaliação completa à edificação, simulação energética, energias renováveis e análise da sustentabilidade /edifícios “verdes” (EUROSIS 2003 - 2015).

Cepenergy Management Software for Buildings: Gestão, simulação, avaliação e eficiência a nível energético, emissões de CO₂, desempenho ambiental e desenvolvimento sustentável (Ibidem).

²⁶ Análises económicas, energéticas, ciclo de vida, medidas solares passivas, entre outras.

²⁷ Como os *software* utilizados para análises energéticas, ambientais e outras.

DesignBuilder: Visualização do edifício e simulação energética, emissões CO₂, sombreamento, iluminação e ventilação natural, análise de conforto, dinâmica de fluidos computacional (CFD), AVAC e dimensionamento de equipamentos, pré-desenho e desenho nas fases iniciais do projeto, verificação da energia do projeto segundo o código, energias renováveis, emissões de CO₂, banco de dados climático e de materiais e interligação ao *EnergyPlus* (EUROSIS 2003 - 2015, DesignBuilder 2005-2015).

Ecotect/Revit/Building Design Suite²⁸: Desenho e análise ambiental e térmico, validação no desenho conceitual, sombreamento e controlo solar, carga térmica, ventos predominantes, iluminação natural e artificial, energias renováveis, emissões de CO₂, ciclo de vida e custos e análise geométrica e acústica (EUROSIS 2003 - 2015, Autodesk 2015).

ModEn: Simulação e auditoria energética, poupança e desempenho da energia, simulação dinâmica e AVAC (EUROSIS 2003 - 2015).

TRNSYS: Cálculo de cargas, simulação e análise do desempenho da energia e a edificação, energias renováveis, tecnologias emergentes, equipamento básico AVAC, entre outros (EUROSIS 2003 - 2015, Thermal Energy System Specialists 2015)

VIP+ e VIPWEB: Desempenho energético, cumprimento do código, design, avaliação de custos e sustentabilidade ambiental (EUROSIS 2003 - 2015).

VisualDOE: Simulação e cálculo de energia, desempenho e eficiência, design e pesquisa para os diferentes tipos de edificação e simulação de AVAC e DOE-2 (Ibidem).

Para além destes e outros, como já foi explicado, existem simuladores ambientais e energéticos que, muitas das vezes, servem de apoio a estes *software* principais, para oferecer um resultado mais completo. Entre eles destacam:

DOE-2: Desempenho energético, design, utilização, custos, iluminação, AVAC, adição de elementos (retrofit) e pesquisa para vários tipos de edificação (Hirsch 1998-2009, EUROSIS 2003 - 2015).

EnergyPlus: Desempenho, simulação, consumo e rendimento energético e do edifício, cálculo de cargas, iluminação, ventilação, AVAC e balanço e análise de transferência de calor e massa (EUROSIS 2003 - 2015, Energy 2015).

Este último é um motor de simulação desenvolvido pelo departamento de energia dos Estados Unidos e é a evolução do DOE-2 (Campos 2014).

Esta lista aqui apresentada não delimita os *software* em existência, havendo muitos outros em funcionamento ou fase de experimentação, porém, é utilizada como referência devido a ser parte do “Diretório de *Software* e Ferramentas de Simulação” da Sociedade Multidisciplinar Europeia da Tecnologia em Modelagem e Simulação²⁹.

²⁸ A partir de 2015 Autodesk decidiu eliminar as licenças do *Ecotect Analysis* e integrar as suas funcionalidades nos produtos *Revit*, maximizando os esforços de desenvolvimento para BIM e as soluções disponíveis para a visualização e à análise do desempenho da edificação. Para 2016 *Revit* passara a ser parte do *Building Design Suite*. Informação disponível em Autodesk, I. (2015). "Software para Projeto de Edifícios e Construção.". Retrieved 30/10/2015, 2015, from <http://www.autodesk.pt/products/revit-family/features/all/gallery-view>.

²⁹ Este e outros *software* e simuladores podem ser consultados em EUROSIS (2003 - 2015). *Directory of Simulation Software and Tools*. . Ostend, Belgica., Ghent University.

Software de Simulação

Entre os *software* acima mencionados, e de acordo às ferramentas disponíveis nestes segundo a descrição, aqueles que realizam uma simulação mais completa parecem ser o **DesignBuilder** e o **Revit/Building Design Suite**. Assim sendo, qualquer um deles seria considerado para realizar a análise comparativa entre os três modelos de habitação.

No entanto, quando comparados, o **DesignBuilder** é um *software* independente que permite realizar a análise na sua totalidade através do EnergyPlus, enquanto que o **Revit** precisa de programas adicionais³⁰ para completar a mesma análise. Além disto, devido as ultimas atualizações do **Revit**, este apresenta problemas de compatibilidade com o **Designbuilder** e, por consequência, com as simulações realizadas no **EnergyPlus** (LMNTS).

Assim, com base nas informações apresentadas neste capítulo e considerando, além do já exposto, o caráter simples, gráfico (visual) e demonstrativo do programa, é selecionado o **DesignBuilder** (DB) como o *software* de simulação.

As simulações realizadas para este trabalho não pretendem atingir os níveis máximos de simulação dentro do *software* enquanto à realidade, más sim permitir uma comparação inicial entre os diferentes modelos de habitação como espaços confortáveis para habitar demonstrando a possibilidade, ou no, de existir uma outra tipologia construtiva que se adapte melhor ao meio envolvente.

Metodologia Utilizada

Independentemente das diferencias na composição externa de cada modelo de habitação, para permitir a comparação entre elas, devem ser definidos alguns elementos comuns que delimitem o objeto de estudo e a complexidade da análise realizada.

Neste caso, o modelo base (descrito ao pormenor no CAP IV), mantem-se igual para as três tipologias de habitação, variando unicamente a composição das paredes externas com o intuito de avaliar a sua influência no comportamento térmico do edifício.

Assim, a metodologia descrita a seguir foi utilizada para os três modelos por igual, sendo modificados só os dados pertencentes à tipologia de construção. A caracterização geral do edifício fica então definida através de:

³⁰ Simuladores tais como o IES-VE, Sefaira e até o proprio DesignBuilder, entre outros. (LMNTS)

Tipo de atividade (*Activity*)

Este divisor permite a definição da atividade realizada em cada espaço através da determinação do tipo de ganho energético (W/m^2), o grau de ocupação (pessoas/ m^2), a taxa metabólica, o consumo de água quente sanitária [AQS] ($l/m^2 \cdot dia$), os ganhos por equipamentos e processos e as necessidades de conforto ambiental (*Set-points* de aquecimento e arrefecimento, ventilação natural e/ou mecânica, iluminação, entre outros.).

Os parâmetros utilizados devem ser definidos com base na atividade desenvolvida em cada zona, não sendo iguais para todas estas. Assim, com base no já descrito e como demonstrado na Figura 12, o modelo em estudo encontra-se dividido em seis zonas diferentes, sendo estas escritório, quartos, casa de banho, sala, cozinha e sala de jantar.

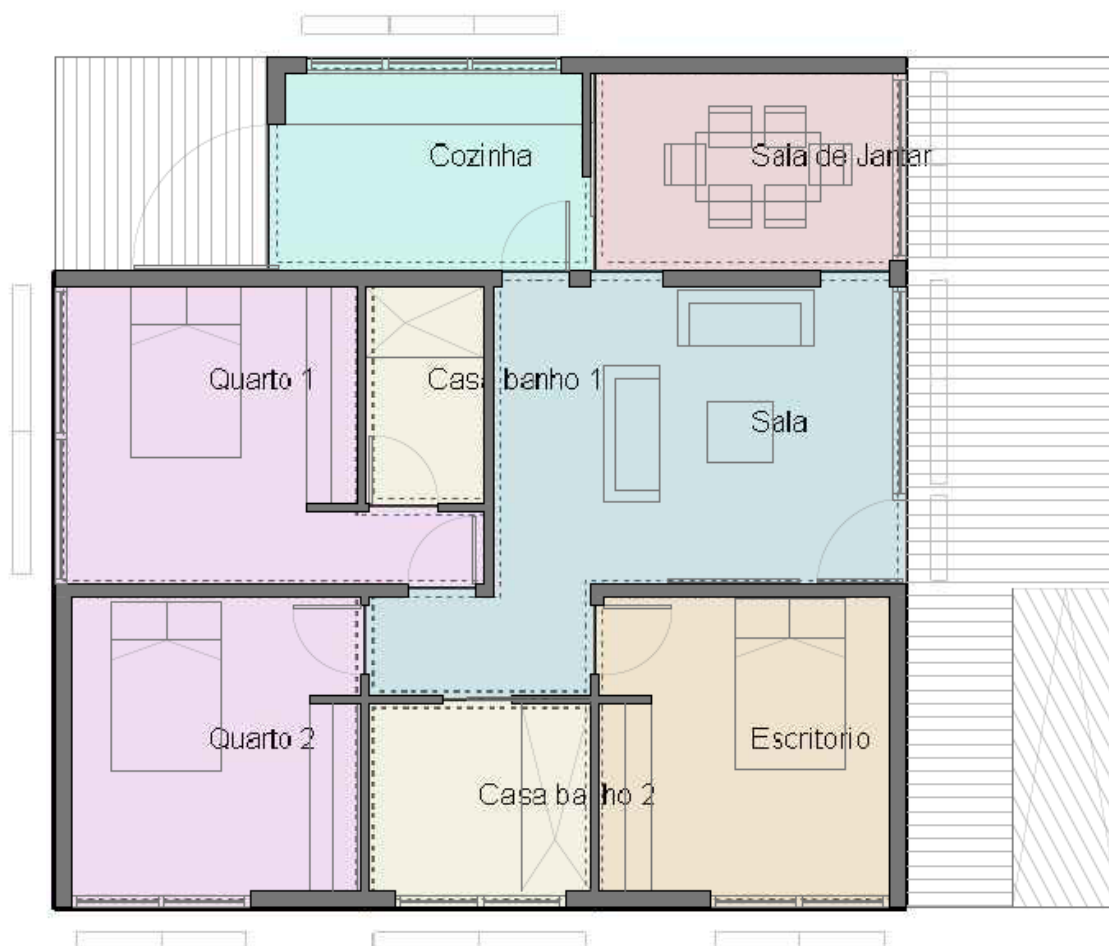


Figura 12: Modelo em estudo dividido segundo as zonas de atividade.

Os dados utilizados para a definição do tipo de atividade em cada zona foram os seguintes:

Tabela 6: Dados segundo o tipo de área.

	Quartos	Casas de banho	Sala	Cozinha	Sala de Jantar	Escritório
Área (m ²)	25.56	8.96	19.43	8.36	7.90	12.20
Ocupação (pessoas/ m ²)	0,1587	0,5714	0,1818	0,375	0,375	0,2631
	0,0877	0,5263				
Taxa metabólica	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Taxa consumo AQS (l/m ² .dia)	0	1.05	0	1.05	0	0
<i>Setpoint</i> Aquecimento (°C)	18	18	21	18	18	18
<i>Setback</i> Aquecimento (°C)	12	12	12	12	12	12
<i>Setpoint</i> Arrefecimento (°C)	25	25	25	25	25	25
<i>Setback</i> Arrefecimento (°C)	28	28	28	28	28	28
<i>Setpoint</i> Vent. Natural (°C)	24	24	24	24	24	24
Ar fresco (l/s.pessoa)	10	12	10	12	10	10
Iluminação (lux)	100	150	150	300	150	100
Ganhos por equipamentos	3.58	1.67	3.9	30.28	3.06	1..57

Os dados aqui incluídos e utilizados para a simulação não foram definidos pelo analisador, sendo que estes já existiam na base de dados do *software* como parte do “*early design stage*”. Os mesmos permitem avaliar os três tipos de modelo de habitação com base numa realidade simplificada que, perante a impossibilidade de simular a realidade habitacional de cada família, proporciona a obtenção resultados para uma análise básica inicial que defina se existe, ou não, uma diferença notável entre os modelos analisados. Assim, o único dado modificado para fins deste trabalho foi a taxa de ocupação, calculada com base na família de três pessoas.

É de notar que, como já exposto nos Horários de Utilização do Modelo – Ocupação, equipamentos, iluminação e sistemas de climatização. (Capítulo IV – Modelo de estudo), quer na ocupação, na iluminação ou nos equipamentos, faz-se necessário definir igualmente os horários e a percentagem (%) de utilização para cada momento. Já enquanto ao valor utilizado para a taxa metabólica, este representa o valor médio aproximado (0.90) considerando a existência de homens, mulheres e crianças no mesmo espaço.

Tipologia de Construção (*Construction*)

Esta divisória permite ao analisador incluir e/ou modificar as características construtivas dos elementos que compõem o espaço, sejam paredes, tetos ou coberturas, lajes ou pavimentos, portas, entre outros elementos.

Esta função possibilita a caracterização de cada elemento através da modificação ou adição das diferentes capas ou lajes que o compõem. Por exemplo, é possível utilizar um modelo de parede básico já inserido no DB ou, se assim for necessário, modificar e até criar de zero, qualquer um dos elementos que a constituem.

Enquanto aos modelos aqui analisados, como já estava definido no Capítulo IV – Modelo de estudo, as paredes internas, a laje/pavimento e a cobertura foram mantidas sob as mesmas características construtivas, sendo modificada unicamente a composição das paredes externas, com o intuito de avaliar as três tipologias selecionadas. Portanto, os dados inseridos nesta divisória podem ser diretamente consultados nesse capítulo (Modelo em Análise).

Aberturas (*Openings*)

Este separador permite definir o tipo de janelas, vãos, envidraçados, percentagem de abertura e tipo de proteção solar, interna ou externa, que possa existir na edificação.

O modelo em estudo possui janelas de vidro duplo transparente, com caixilharia de alumínio com corte térmico, para diminuir as perdas de energia através das janelas durante o inverno.

Quanto ao verão, este possui proteção solar interna (estore de tecido ou cortina romana) e externa (Brise-soleil), com o intuito de minimizar ou controlar a entrada de calor à edificação.

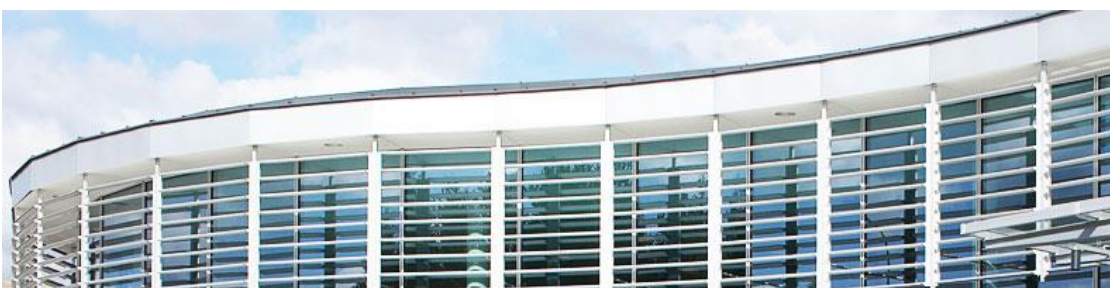


Figura 13: Proteção solar interna e externa. Foto referencial

Iluminação (*Lightning*)

Esta divisória permite definir, de forma genérica ou detalhada, o tipo de iluminação, o tipo e quantidade de luminárias, o nível de iluminação segundo a atividade realizada e o tipo de controlo sob a iluminação.

Para efeitos deste trabalho, foram utilizados os parâmetros de iluminação e uso já existentes no DB para espaços internos em edifícios residenciais. Os mesmos são definidos por defeito quando assignado o tipo de atividade para cada espaço, sendo colocada uma luminária suspensa na zona com menos iluminação natural de cada área e duas, no caso da sala, devido ao tamanho da mesma, como mostra a Figura 14³¹.

³¹ É importante assinalar que, enquanto nos edifícios reais as luminárias costumam ser colocadas no centro da habitação, neste tipo de simulação são colocadas nos espaços com menor iluminação para poder simular o pior caso cenário.

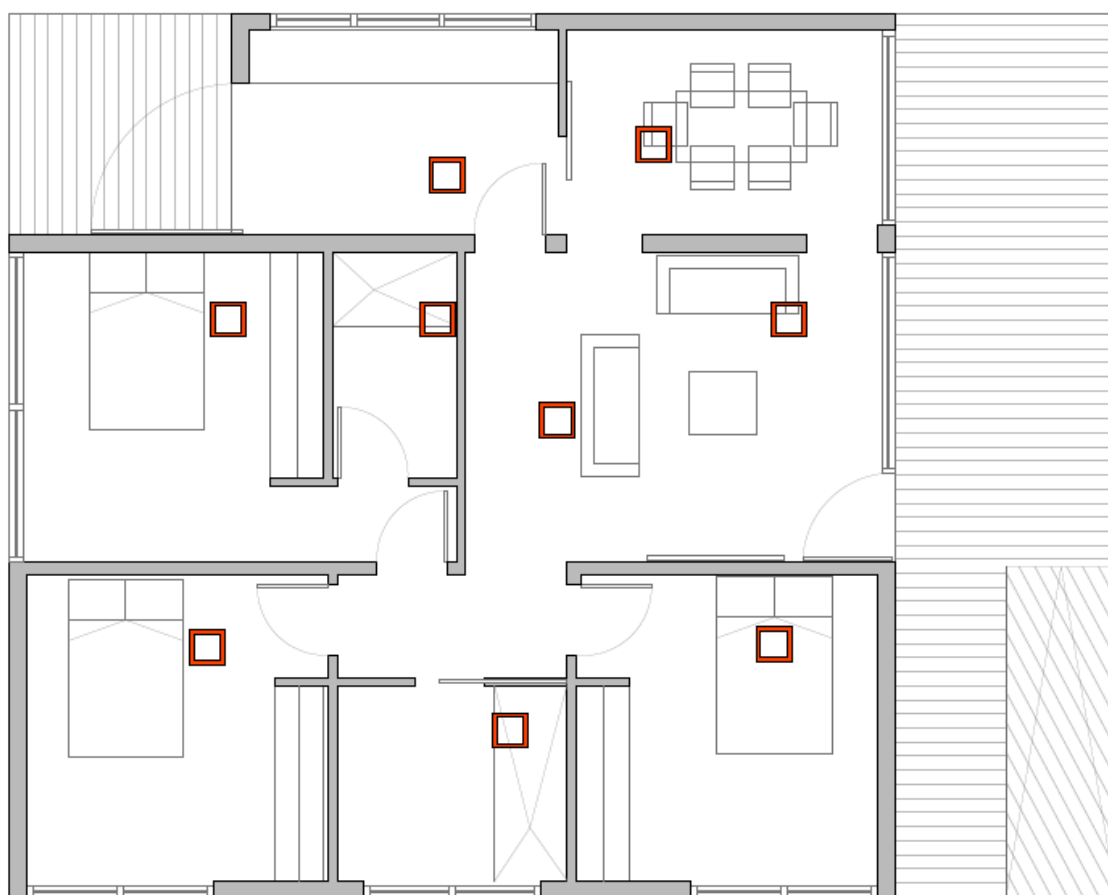


Figura 14: Localização das luminárias dentro de cada habitação.

Sistemas de Climatização (AVAC/HVAC)

Neste separador é possível definir o tipo de equipamento utilizado para climatização, os seus limites e horários, e o tipo de elementos a considerar, sejam estes ventilação natural ou mecânica, aquecimento e/ou arrefecimento, controlo de humidade, controlo de AQS, entre outros (DesignBuilder).

O *software* permite a caracterização dos mesmos de forma simples, compacta ou em detalhe. Para o desenvolvimento deste trabalho é utilizado um template residencial que contém os dados básicos do modelo de AVAC segundo o tipo de atividade realizada (DesignBuilder , Bienenmann 2006).

Isto se traduz na aplicação de cargas básicas calculadas através do sistema de cargas ideais do *EnergyPlus*, o qual utiliza dados gerais para calcular as cargas prováveis considerando a eficiência do sistema (DesignBuilder , Bienenmann 2006).

Sendo que a simulação realizada considera a ventilação natural como único medio de climatização, o valor a definir é a quantidade de trocas de ar exterior por hora. Este é determinado com base nos dados do *software* como 5 renovações por hora, ou 5,000 (ac/h).

Uma vez caracterizado o modelo e realizada a análise é possível comparar o comportamento térmico das diferentes opções existentes e determinar se, ao fim de tudo, existe uma tipologia que prevaleça sobre as outras devido às condições que oferece ou se, pelo contrário, o comportamento é similar e a preferência de alguma em particular seja devido a outros elementos e condições.

Capítulo VI – Resultados

Introdução

Diversos são os *software* que permitem a avaliação de uma edificação quer seja estrutural, material ou bem a nível térmico. O objetivo principal do trabalho aqui desenvolvido sempre foi permitir a comparação, ao nível térmico, de três soluções habitacionais com diferentes tipologias construtivas.

Assim, uma vez definido o modelo, as suas características e materiais, foi realizada a simulação num dos *software* de análise de comportamento térmico existente no mercado, nomeadamente o DB, com o intuito de responder às dúvidas iniciais:

Definir se a preferência de um modelo em particular, relativamente às outras opções disponíveis no mercado, responde às necessidades de conforto e eficiência energética, ou é também influenciado pela história e cultura do país onde é construído

Como já exposto no Capítulo IV – Modelo de estudo (Variáveis em Estudo – Índice de Conforto Térmico), dita comparação é realizada através dos valores obtidos para a temperatura (ar, radiante, operativa e exterior), humidade relativa, infiltração e ventilação externa, iluminação e equipamentos, ocupação, ganhos solares, ventilação (mecânica + natural + infiltrações), produção de CO² e os gastos de eletricidade e iluminação.

Enquanto ao balanço energético, o mesmo é avaliado segundo os valores obtidos para envidraçados, paredes, laje ou pavimento, partições, cobertura ou telhado, infiltração e ventilação externa.

Assim, após simulações, são apresentados a continuação os dados obtidos considerados como relevantes para a resolução do problema inicialmente exposto. Estes incluem a comparação anual da média de temperatura nas edificações, a análise das temperaturas entre o verão e o inverno, o estudo da semana “*design*” de inverno e de verão, e o balanço entre perdas e ganhos através da estrutura da edificação.

Comparação Anual

Este tipo de avaliação permite conhecer o valor médio obtido para cada variável segundo cada edificação ao longo de um ano.

Quando comparadas, como se mostra na Tabela 8, é possível observar que o modelo de habitação em madeira refere temperaturas anuais médias ligeiramente superiores aos outros dois modelos em análise. Isto significa que retêm melhor o calor ou apresenta maior conforto, obtendo diferenças de até 1 °C.

Porém, a mesma apresenta valores superiores enquanto às perdas de energia por infiltração e ventilação externa, e inferiores para os ganhos de calor, quer seja por iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos solares. Isto se traduz numa tipologia de habitação que, a nível estrutural pode não parecer a solução mais correta mas que, quando avaliada ao todo, pode resultar uma combinação interessante. Neste caso, a sua vantagem se encontra no tipo de material utilizado sendo que a madeira atrasa a perda de calor através das paredes (como é possível observar nos resultados da Tabela 12)

Com relação à humidade no ambiente, o modelo tradicional ou em madeira se encontram dentro dos valores médios, muito próximos do limite (60%), enquanto que a metálica sugere estar ligeiramente por cima do valor esperado, não sendo isto uma limitante para oferecer temperaturas igualmente agradáveis.

Finalmente, quando analisada de acordo à produção de CO² e aos gastos de eletricidade e iluminação, a madeira se apresenta novamente como a melhor opção entre os três modelos.

Tabela 7: Comparação térmica anual para as três tipologias selecionadas

Tipo de análise	Metálica	Tradicional	Madeira
Temperatura do ar (°C)	19,90	20,77	20,93
Temperatura radiante (°C)	19,80	20,79	20,97
Temperatura operativa (°C)	19,85	20,78	20,95
Temperatura exterior (<i>dry bulb</i>) (°C)	14,32	14,32	14,32
Humidade Relativa (%)	62,78	59,53	59,21
Balanço de calor			
Infiltração externa (kW)	-1495,60	-1572,93	-1582,84
Ventilação externa (kW)	-1030,30	-1141,35	-1287,94
Iluminação Geral (kW)	842,89	765,04	755,74
Equipamentos (kW)	1158,88	1037,69	1017,26
Ocupação (kW)	3511,87	3066,50	3006,00
Ganhos solares p/janelas (kW)	4058,85	3954,20	3914,78
Vent. Mecânica + natural + infiltração	0,50	0,55	0,56
Outros			
Produção CO ² (kg)	1213,07	1092,45	1074,44
Eletricidade (kWh)	1158,88	1037,69	1017,26
Iluminação (kWh)	842,89	765,04	755,74

Assim, uma comparação base anual permitiria dizer que, mesmo com resultados muito similares, a edificação construída em madeira apresenta melhores resultados gerais.

Verão vs. inverno (Temperatura máxima e mínima)

Posteriormente, uma análise mais profunda permite avaliar o comportamento térmico das edificações de acordo às duas estações do ano mais relevantes a nível de temperaturas, sendo estas inverno e verão, como se mostra na Tabela 8: Comparação térmica inverno - verão para as três tipologias

Avaliadas sob estas condições, a construção **tradicional** prevalece ligeiramente sob as outras duas opções apresentadas. Mesmo quando a diferença obtida não ultrapassa 1 °C, esta se mostra como a opção de maior conforto, com uma humidade relativa mais próxima dos valores aceitáveis dentro dos parâmetros existentes. Já as outras referem valores de humidade superiores, o que pode representar calor em excesso durante os meses de verão.

Porém, enquanto ao balanço de calor, a construção tradicional apresenta perdas superiores durante o inverno, com ganhos intermédios durante todo o ano. Isto significa que, mesmo com perdas maiores, o equilíbrio entre o calor perdido e ganho, junto à qualidade e características da estrutura e construção, permitem que esta seja uma opção igualmente viável e adequada ao clima.

Já na produção de CO², e gastos de eletricidade e iluminação, a construção tradicional se encontra no meio termo, precedida geralmente pela construção em madeira e seguida pela construção metálica.

Assim, com base nestes resultados, seria possível concluir que a tipologia construtiva que melhor se adapta ao ambiente é a tradicional, não limitando à existência das outras que exibem também um nível de conforto aceitável.

Tabela 8: Comparação térmica inverno - verão para as três tipologias selecionadas

Tipo de análise	Verão			Inverno		
	Metálica	Tradicional	Madeira	Metálica	Tradicional	Madeira
Temperatura do ar (°C)	27,06	26,92	27,55	13,34	14,62	14,50
Temperatura radiante (°C)	26,91	26,76	27,51	13,07	14,48	14,35
Temperatura operativa (°C)	26,99	26,84	27,53	13,21	14,55	14,42
Temperatura exterior (<i>dry bulb</i>) (°C)	23,63	23,63	23,63	9,64	9,64	9,64
Humidade Relativa (%)	40,38 a 80,12	39,80 a 71,59	38,58 a 75,39	49,44 a 87,75	45,47 a 84,71	45,59 a 85,81
Balanco de calor						
Infiltração externa (kW)	-2,44	-2,14	-2,49	-2,80	-3,42	-3,28
Ventilação externa (kW)	-8,30	-7,36	-9,02	0,00	0,00	0,00
Iluminação Geral (kW)	2,18	1,99	1,99	2,48	2,24	2,20
Equipamentos (kW)	3,79	3,42	3,36	2,93	2,61	2,56
Ocupação (kW)	7,80	7,21	6,66	10,32	9,11	9,00
Ganhos solares p/janelas (kW)	3,79	3,68	3,65	4,91	4,78	4,73
Vent. Mecânica + natural + infiltração	1,32	1,40	1,43	0,30	0,31	0,31
Outros						
Produção CO ² (kg)	3,74	3,39	3,34	3,91	3,54	3,48
Elettricidade (kWh)	3,79	2,17	3,36	3,79	3,42	3,36
Iluminação (kWh)	2,39	3,42	2,15	2,66	2,42	2,38

A continuação, uma análise desde outra perspetiva permite avaliar o comportamento dos modelos em situações ambientais de extremo, com o intuito de apresentar o pior caso cenário para o inverno e o verão, com base nas semanas mais relevantes destes, nomeadamente a segunda semana de agosto e a última semana de janeiro.

Semana de Design de verão

Como se observa na Tabela 10, quando submetida a este tipo de análise, a construção tradicional se sobrepõe novamente sob os outros modelos, mas, desta vez, com valores de temperatura e humidade muito equitativos, o que pressupõe um comportamento térmico quase idêntico entre as três edificações.

Enquanto ao balanço de calor, o comportamento é similar aos exemplos anteriores: as perdas na construção tradicional são inferiores e os ganhos são equiparáveis ou intermédios. Na produção de CO² e gastos de eletricidade e iluminação continua como o modelo médio.

Este tipo de comparação pode ser interessante, não só para edifícios já construídos, como para edificações a construir, sendo que permite avaliar o comportamento dos diversos materiais, tipologias e espaços antes de estes serem realizados.

No caso aqui apresentado, os resultados são semelhantes aos obtidos na simulação anterior, onde a construção tradicional prevalece sob as outras más, a mesma não apresenta diferenças suficientes que justifiquem a seleção desta como uma única opção de modelo a construir.

Tabela 9: Comparação térmica da "Semana Design" de verão para as três tipologias selecionadas

Tipo de análise	Metálica	Tradicional	Madeira
Temperatura do ar (°C)	28,33	28,15	28,74
Temperatura radiante (°C)	28,16	27,99	28,68
Temperatura operativa (°C)	28,25	28,07	28,71
Temperatura exterior (<i>dry bulb</i>) (°C)	25,38	25,38	25,38
Humidade Relativa (%)	49,12 a 67,18	47,36 a 59,78	47,01 a 62,40
Balanco de calor			
Infiltração externa (kW)	-2,08	-1,79	-2,12
Ventilação externa (kW)	-7,50	-7,58	-8,61
Iluminação Geral (kW)	2,06	1,88	1,88
Equipamentos (kW)	3,79	3,42	3,36
Ocupação (kW)	6,78	6,33	5,81
Ganhos solares p/janelas (kW)	4,76	4,61	4,57
Vent. Mecânica + natural + infiltração	1,46	1,69	1,63
Outros			
Produção CO ² (kg)	3,55	3,22	3,18
Elettricidade (kWh)	3,79	3,42	3,36
Iluminação (kWh)	2,34	2,12	2,09

Semana de Design de inverno

Na mesma linha que a análise anterior, os resultados da Tabela 10 assinalam para uma sobreposição da tradicional sob as outras tipologias. Não sendo motivo de descarte para estas.

Enquanto ao balanço de calor, mesmo quando a perda por infiltração externa é ligeiramente superior a dos outros dois modelos, as perdas gerais através da estrutura mantêm-se dentro dos valores médios obtidos, o que permite manter um equilíbrio e, no conjunto, se apresentar como uma opção favorável.

No que se refere à produção de CO² e gastos de eletricidade e iluminação os valores mantêm-se de igual forma no intermédio entre a construção em madeira e em metal.

Porém, estas duas últimas tipologias, mesmo com valores diferentes e temperaturas ligeiramente mais baixas, não deixam de ser uma opção viável para a construção. Tendo em consideração a temperatura média do ar, quer a edificação em madeira, quer em metálico, se encontram dentro dos valores médios aceitáveis dos limites de conforto.

Tabela 10: Comparação térmica da "Semana Design" de inverno para as três tipologias selecionadas

Tipo de análise	Metálica	Tradicional	Madeira
Temperatura do ar (°C)	12,31	13,96	13,88
Temperatura radiante (°C)	12,21	14,03	13,94
Temperatura operativa (°C)	12,26	13,99	13,91
Temperatura exterior (<i>dry bulb</i>) (°C)	5,43	5,43	5,43
Humidade Relativa (%)	51,38 a 69,06	47,68 a 64,30	47,63 a 64,49
Balanco de calor			
Infiltração externa (kW)	-5.26	-5,93	-5,78
Iluminação Geral (kW)	2.38	2,15	2,12
Equipamentos (kW)	2.93	2,61	2,56
Ocupação (kW)	10.66	9,34	9,22
Ganhos solares p/janelas (kW)	15,70	15,29	15,11
Vent. Mecânica + natural + infiltração	0,31	0,31	0,31
Outros			
Produção CO ² (kg)	3,91	3,42	3,37
Eletricidade (kWh)	3,79	3,42	3,36
Iluminação (kWh)	2,66	2,22	2,19

Ganhos e Perdas Anuais através da Estrutura

Finalmente, com o intuito de facilitar a compreensão dos resultados acima apresentados, foram avaliados os diferentes elementos que compõem a estrutura para determinar o seu comportamento e influência na totalidade da edificação.

Assim é possível verificar que, por exemplo, na construção em madeira existe maior perda através da ventilação externa, a cobertura e os envidraçados (Tabela 12). Já na construção tradicional os valores são intermédios, enquanto que na construção metálica apresenta grandes perdas através das paredes, seguido da cobertura.

É de notar que cada tipologia vai apresentar pros e contras, sempre com base num sem fim de elementos que vão de influenciar o seu comportamento: o clima, a localização, os materiais, a qualidade da construção, a adaptação da edificação à envolvente, entre outros.

A análise destes elementos na fase previa à construção (nova, remodelação ou recuperação) seria o ideal e pode significar um grande avanço na arquitetura de qualidade, sendo que esta permite a experimentação de diversas opções, formas e materiais e apresenta, posteriormente, quais os modelos com melhores resultados.

Tabela 11: Balanço energético anual através da estrutura.

Elementos em análise	Metálica	Tradicional	Madeira
Envidraçados (kW)	-0,17	-0,18	-0,19
Paredes (kW)	-0,30	-0,16	-0,12
Pavimento/laje (kW)	1,32	1,29	1,28
Partições (kW)	0,00	0,00	0,00
Teto/telhado/cobertura (kW)	-0,29	-0,32	-0,33
Infiltração externa (kW)	-0,03	-0,04	-0,04
Ventilação externa (kW)	-0,53	-0,60	-0,61

Capítulo VII – Conclusões

Uma vez realizada a análise arquitetónica do modelo para avaliar o seu comportamento térmico, procurando saber a importância da tipologia construtiva tradicional, e o potencial de outras opções presentes no mercado, foi possível apresentar uma comparação Termo energética entre os três modelos selecionados, nomeadamente uma edificação tradicional, outra em metal e a última em madeira. Este trabalho permitiu tecer conclusões específicas enquanto à utilização ou preferência de uma tipologia em particular por oposição a outras:

- (i) Quando avaliado o modelo durante o período de um ano, os valores médios resultantes apontam para a madeira como a tipologia construtiva que melhor se adapta;
- (ii) Porém, quando realizada a análise individual, conforme os meses de verão e inverno, os resultados diferem dos primeiros, assinalando a construção tradicional como a tipologia com melhor desempenho térmico. O mesmo acontece quando avaliada a semana “Design” de inverno ou de verão;
- (iii) Finalmente, com relação aos ganhos e perdas de energia através da estrutura, a construção metálica é a que perde maior quantidade de energia por meio das paredes, seguida da construção em madeira, cujas perdas refletem mais nas janelas e a cobertura e, por ultimo, a edificação tradicional, que se mantém no intermédio das outras duas, figurando como a melhor opção entre as três.

É importante assinalar que, mesmo quando diferentes, os resultados obtidos para cada tipologia não são assim tão distantes uns dos outros, pelo que nenhuma das opções apresentadas deve ser considerada como a única alternativa, nem permite eliminar de vez algum dos outros modelos. Assim, como exposto no início do trabalho, pode existir então alguma influência cultural perante a seleção, quase uníssona, de um modelo em particular.

A existência, mesmo que quase nula, de outros modelos construtivos prova a tentativa de inserir novas opções num mercado particularmente fechado onde, perante a dúvida e o desconhecimento de meios, modelos, alternativas e tecnologia, existe uma preferência marcada pelo antigo e tradicional.

Um arraigo ao que “é nosso” que, se bem prova ser bom, pode existir inúmeras possibilidades de melhoria e evolução; e é aqui onde a utilização de *software* de simulação pode adicionar valor aos conhecimentos já obtidos, pois estes permitem avaliar as diferentes possibilidades existentes perante um número quase infinito de modelos, opções, materiais, localizações, entre outros, apenas a um “click” de distância, com o intuito de apresentar sempre a melhor opção, térmica, energética e económica.

Limitações do trabalho desenvolvido

O desenvolvimento deste trabalho implicou o estabelecimento de alguns pressupostos que, perante a falta de informação real para os mesmos, foram determinados com ajuda do modelo base, sob a tentativa de que estes não afetassem de forma direta os resultados obtidos.

Surgiram, assim, alguns problemas ou limitações durante a sua realização:

- (i) Visto serem poucas as empresas em Portugal dedicadas à construção modular, a obtenção de informação viu-se dificultada, sendo necessário recorrer a empresas de outros países para avaliar as diferentes opções existentes;
- (ii) A seleção dos horários e percentagens de utilização/ocupação dos espaços, sendo aproveitados os já existentes no modelo base do *software*, devido à falta de informação real e fiável;
- (iii) A caracterização dos elementos construtivos que, perante a impossibilidade de avaliar todos, foram selecionados alguns para definir o modelo a partir do qual foram realizadas as simulações, modificando, unicamente, os materiais da parede externa.

Propostas de trabalho futuro

Para a continuação do trabalho desenvolvido, relativamente às linhas de investigação que poderão ser mais interessantes, destacam-se:

- (i) A análise de edificações reais, para ser possível comparar o grau de exatidão dos resultados obtidos com a realidade;
- (ii) A utilização de informação real quanto às tipologias, acabamentos, uso e ocupação, com o intuito de oferecer resultados mais adequados a cada realidade, sendo que cada clima, cada casa, cada família, representam uma situação diferente;
- (iii) A análise de outras tipologias construtivas e/ou outros materiais existentes no mercado;
- (iv) Com base nas opções disponíveis no mercado, criar um portfólio que permita a empresas e compradores saber quais os modelos que melhor se adaptam ao clima onde vai ser localizado.

Capítulo VIII – Anexos

Casas Pré-fabricadas

Wardway Homes



Franklin House (1918)



Ardmore House (1924)



Mount Vernon House (1928).



Kelton House (1929).



Anexo 1: Exemplo de vivendas por catálogo nos Estados Unidos – Wardway Homes e Aladdin Homes (Thornton and Wolicki 2015)

Aladdin Homes

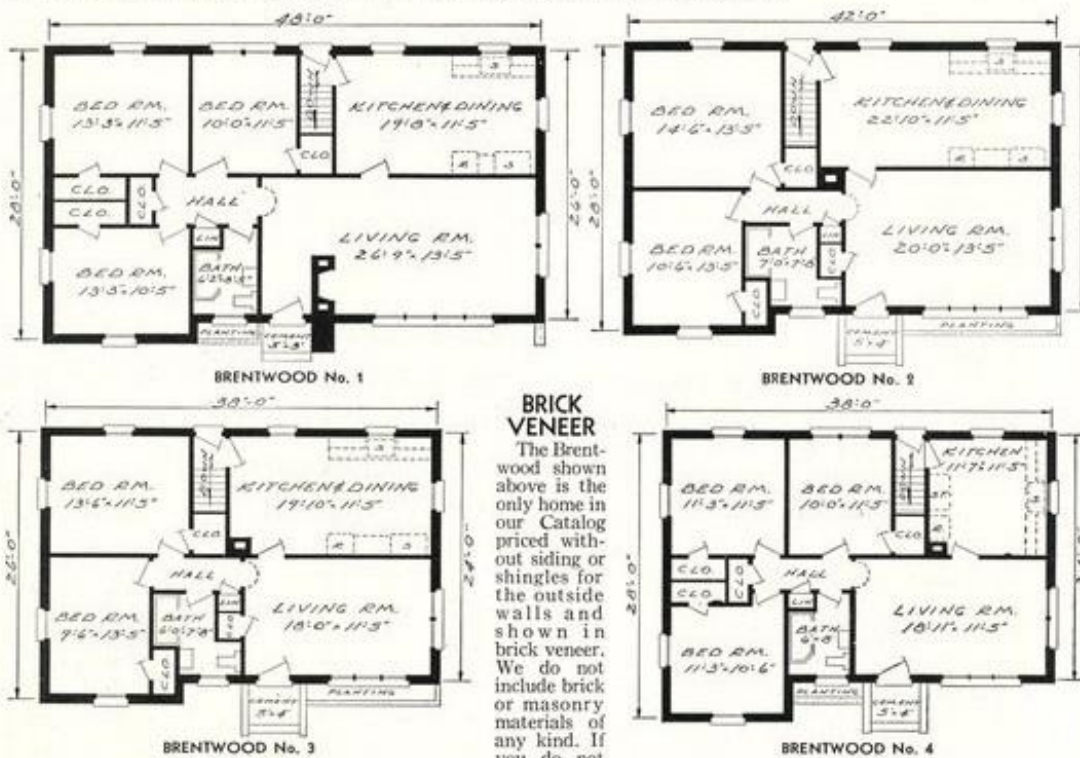


THE BRENTWOOD—One of ALADDIN'S Newest—

Price Given
On Enclosed
Price List

WE PAY
THE
FREIGHT

Approached from any side, here is a home of impressive beauty. Our designers were inspired by the inclination of present-day home builders for well-proportioned dignity—with simple embellishment. The gabled projection of the bedroom creates a pleasant break in both the front wall and the otherwise plainness of an unbroken roof. Note the main eaves at the front which afford protection to the front entrance door. And the living room is beautiful with an exceptionally large picture window. Four plans are shown, two of two bedrooms and two of three bedrooms. Ample space is available in the kitchen of all plans for a dining table. This Aladdin Home is shown in brick veneer and priced without siding; we will quote price for siding for the outside walls. Write for specifications.

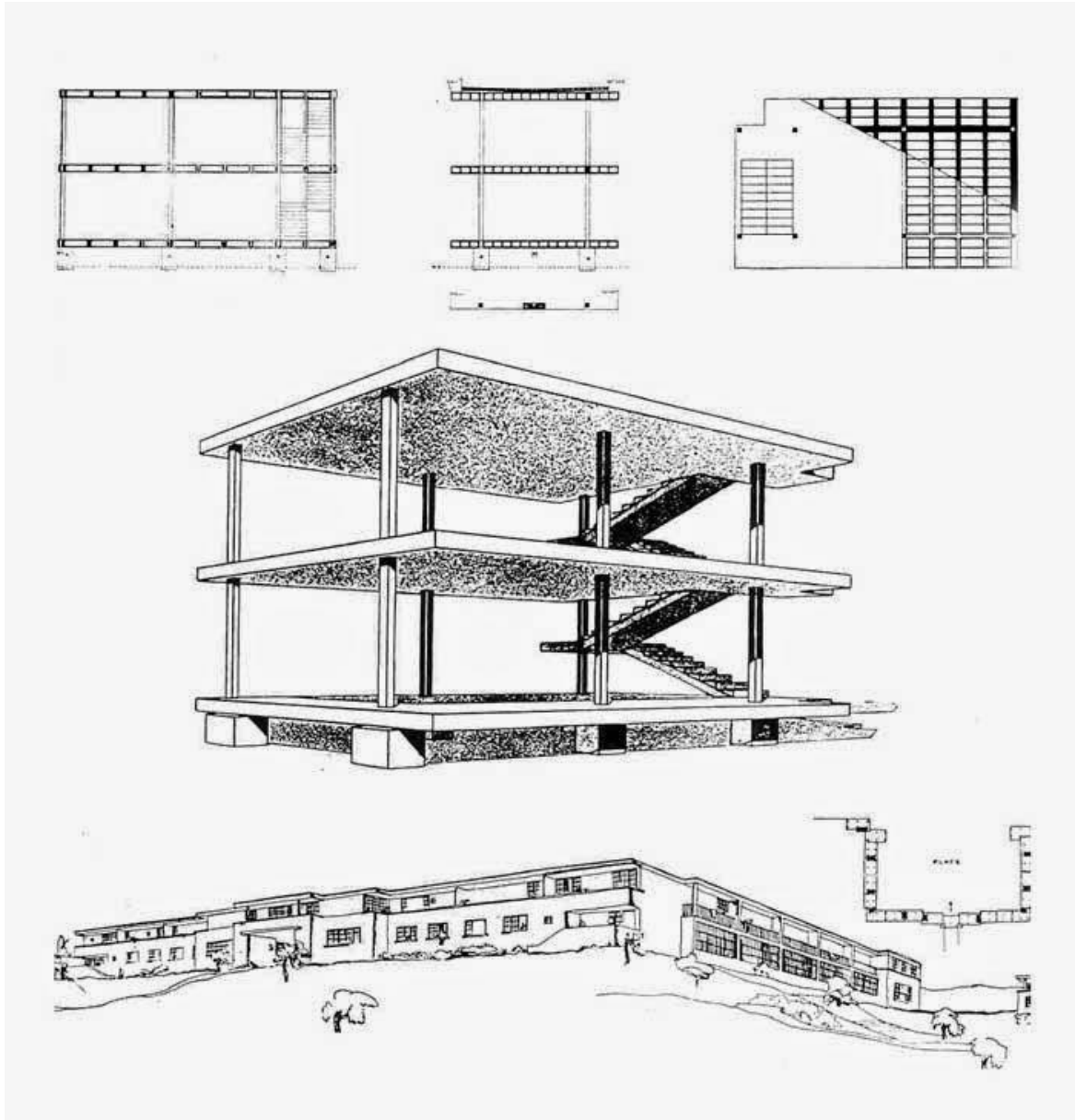


BRICK VENEER

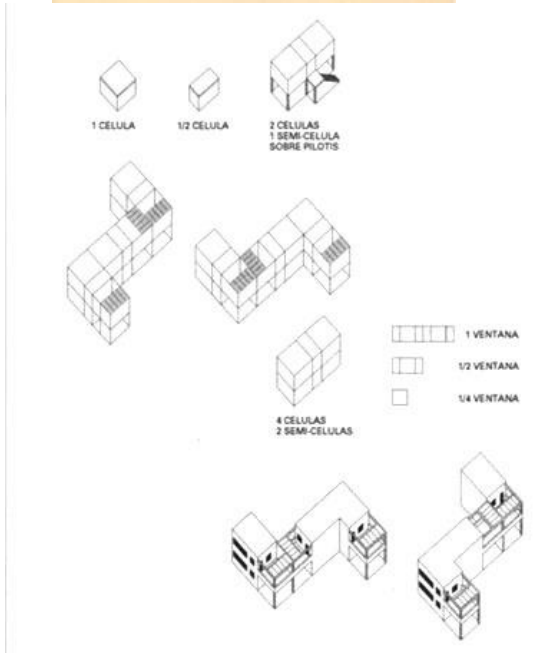
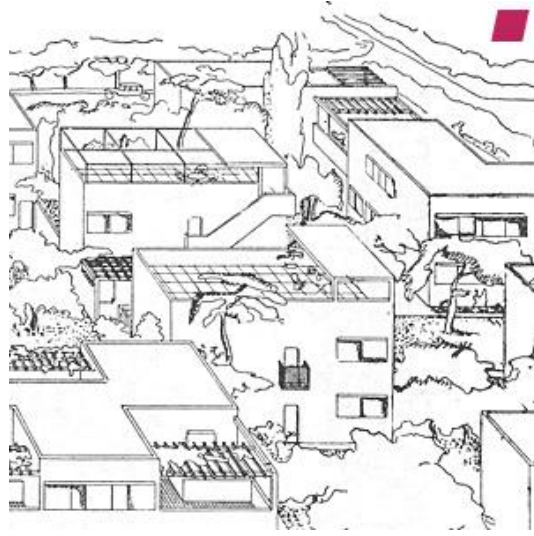
The Brentwood shown above is the only home in our Catalog priced without siding or shingles for the outside walls and shown in brick veneer. We do not include brick or masonry materials of any kind. If you do not

wish to use brick veneer on the Brentwood and prefer wood siding as shown in the illustration on page 34, write us. Write us for the allowance for omission of siding, paint and nails if you wish to veneer the exterior with brick. We do not furnish any of our homes having solid masonry exterior wall, such as solid brick, concrete blocks or stone.

Brentwood House (1951). Ao lado direito fotografia real e atual de uma das casas, localizada em Elm Grove, Wisconsin (2015).



Anexo 2: Sistema Dominó - Le Corbusier e os engenheiros M. Du Bois e I. Schneider (1914) (Adamczewski 2014)



Anexo 3: Processo Evolutivo do "Quartiers Moderns Frugès" – Le Corbusier (1925) (LeCorbusier and ADAGP 1995, Hinson 2013)

	Casema	Rei das Casas	Jular	Novo Habitat
Estrutura	Autoportante	Autoportante	Autoportante ou com estrutura em kerto reforçada com vigas I-Joist	Autoportante
Paredes	Dupla, com um total de 11,5 cm (madeiras duras) e 22 cm (madeiras macias). Sistema de encaixe macho/fêmea ou “woodframe”	Simples, constituída por pranchas de 3,5 x 14 cm. Sistema de encaixe macho/fêmea	Paineis e estrutura interna em casquinha-vermelha, revestimento em thermowood de casquinha-vermelha ou painéis cimentícios e isolamento com lâ de rocha 80mm	150 mm com câmara de ar e 80mm de isolamento de lâ de rocha.
Teto	Vigotas (4,5 x 11 cm ou 4 x 23,5 cm) e colchão-de-ar entre o forro e a telha	Estrutura em madeira, forro (tipo lambri) colchão-de-ar e telha	Telas betuminosas de duas camadas e isolamento de lâ de rocha 80mm	Vigas e estrutura em madeira, com isolamento de lâ de rocha 80mm, caixa de ar, painel MH hidrófugo de 19mm e acabamento em EPDM
Pavimento		Soalho ou deck de 2cm	Madeira maciça ou soalho flutuante	Parquet de madeira natural
Janelas e Portas	Caixilharia de alumínio com vidro duplo		Caixilharia de alumínio lacado com vidro duplo	Caixilharia de alumínio de choque térmico com vidro duplo
Durabilidade e Manutenção	Manutenção interior 15 a 20 anos, exterior cada 2 a 3 anos		Manutenção exterior 2 a 4 anos segundo o material, se for thermowood não precisa manutenção	Manutenção interior 15 a 20 anos, exterior cada 4 anos

Anexo 4: Caraterísticas das Casas de Madeira com Base nas Diferentes Empresas Consultadas (Casas 1994, habitat 2007, Jular 2010, Casema 2015).

	Modiko	Faz a Tua Casa	Moby	Kitur
Estrutura	Pilares e colunas aparafusadas, construídas com perfis em "C" de 3mm de espessura			Autoportante (Chassis galvanizado)
Paredes	São elementos encaixados e aparafusados, compostos por caixilho metálico, chapa galvanizada, poliestireno expandido (EPS), armadura em rede de fibra de vidro, argamassa e, posteriormente, primário e o revestimento final	Painéis de chapa lacada de 0,5mm com 85mm de poliuretano expandido		Perfis de aço galvanizado com painel sandwich de aço termolacado e poliuretano de 40mm e caixa de ar de 40mm
Teto	Perfis Perfex num único sentido, perfis de chapa colaborante (p9-111-25) fixo com parafusos, isolamento 30mm xps, painel sandwich e recobrimento ou manta geotêxtil e tela em pvc ou subtelha e telha.	O teto é realizado em pladur com revestimento de PVC ou pintura		
Pavimento	Laje de betão, tela de poliestireno e o acabamento selecionado. (Se utiliza lã mineral nas uniões com as paredes)	Laje de betão e acabamentos em cerâmico, flutuante ou deck		Aço galvanizado colaborante com camada de betão leve e acabados em pavimento flutuante ou cerâmica
Janelas e Portas	Caixilharia de PVC ou alumínio com vidro duplo e portas em madeira	Janelas e portas exteriores com caixilharia de alumínio e vidro duplo. Portas interiores em madeira		Caixilharia de alumínio com vidro duplo e portas em madeira

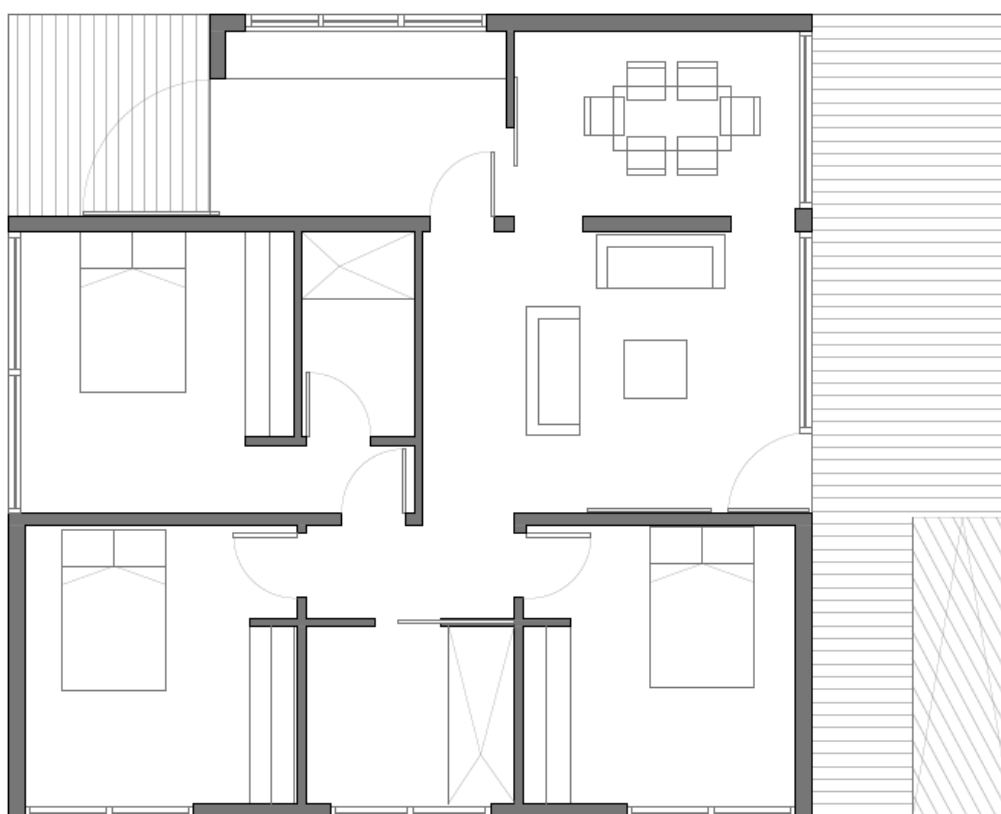
Anexo 5: Características das Casas em Metal com Base nas Diferentes Empresas Consultadas (Jular 2010, Fazatuacasa 2015, Ramisote 2015)

T3 

moby 
...natural lifestyle

Dimensão: 93,75m²
Modulos: 5 (2,5 x 7,5 x 3,6m)

	2
	3
1	4
	5



mais informações em:
www.cnll.pt/moby

HORÁRIOS DE OCUPAÇÃO - DesignBuilder						
Espaço	Horas	Dias da Semana e SDD	Fins de semana	Feriados	WDD e outros dias	
Casa-de-Banho	07:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0	0	0		
	23:00	0,2	0,2	0,2		
	24:00	0	0	0		
Sala de Jantar	06:00	0	0	0	24:00	0
	07:00	0,25	0,25	0,25		
	09:00	1	1	1		
	10:00	0,25	0,25	0,25		
	18:00	0	0	0		
	19:00	0,5	0,5	0,5		
	21:00	1	1	1		
	22:00	0,3	0,3	0,3		
	24:00	0	0	0		
Cozinha	07:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0	0	0		
	23:00	0,2	0,2	0,2		
	24:00	0	0	0		
Escritório (circulação domestica)	07:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0	0	0		
	23:00	0,2	0,3	0,3		
	24:00	0	0	0		
Quarto	07:00	1	1	1	24:00	0
	08:00	0,5	0,5	0,5		
	09:00	0,25	0,25	0,25		
	22:00	0	0	0		
	23:00	0,25	0,25	0,25		
	24:00	0,75	0,75	0,75		
Sala	16:00	0	0	0	24:00	0
	18:00	0,5	0,5	0,5		
	22:00	1	1	1		
	23:00	0,66667	0,66667	0,66667		
	24:00	0	0	0		

Anexo 7: Horários de ocupação para o DesignBuilder

HORÁRIOS DE UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS - DesignBuilder						
Espaço	Dias da Semana e SDD		Fins de semana	Feriados	WDD e outros dias	
Casa de banho	06:00	0,05997	0,05997	0,05997	24:00	0
	07:00	0,29498				
	09:00	1				
	10:00	0,29498				
	18:00	0,05997				
	19:00	0,52999				
	21:00	1				
	22:00	0,34198				
	24:00	0,05997				
Sala de Jantar	06:00	0,08157	0,08157	0,08157	24:00	0
	07:00	0,31118	0,31118	0,31118		
	09:00	1	1	1		
	10:00	0,31118	0,31118	0,31118		
	18:00	0,08157	0,08157	0,08157		
	19:00	0,54079	0,54079	0,54079		
	21:00	1	1	1		
	22:00	0,3571	0,3571	0,3571		
	24:00	0,08157	0,08157	0,08157		
Cozinha	07:00	0,06605	0,06605	0,06605	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0,06605	0,06605	0,06605		
	23:00	0,25284	0,25284	0,25284		
	24:00	0,06605	0,06605	0,06605		
Escritório (circulação domestica)	07:00	0,06368	0,06368	0,06368	24:00	0
	08:00	0,53184				
	09:00	1				
	10:00	0,53184				
	17:00	0,06368				
	18:00	0,29776				
	19:00	0,53184				
	20:00	0,76592				
	22:00	1				
	23:00	0,76592	1	1		
	24:00	0,29776	0,34458	0,34458		

Quarto	07:00	0,06993	0,06993		0,06993	24:00	0
	08:00	0,53497	0,53497		0,53497		
	09:00	1	1		1		
	10:00	0,53497	0,53497		0,53497		
	17:00	0,06993	0,06993		0,06993		
	18:00	0,30245	0,30245		0,30245		
	19:00	0,53497	0,53497		0,53497		
	20:00	0,76748	0,76748		0,76748		
	22:00	1	1		1		
	23:00	0,76748	0,76748		0,76748		
	24:00	0,30245	0,30245		0,30245		
Sala	16:00	0,06413	07:00	0,06413	0,06413	24:00	0
	18:00	0,53206					
	22:00	1					
	23:00	0,68804	23:00	1	1		
	24:00	0,06413	24:00	0,34489	0,34489		

Anexo 8: Horário de Utilização dos Equipamentos para o DesignBuilder

HORÁRIOS DE ILUMINAÇÃO - DesignBuilder						
Espaço	Horas	Dias da Semana e SDD	Fins de semana	Feriados	WDD e outros dias	
Casa de banho	07:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0	0	0		
	23:00	1	1	1		
	24:00	0	0	0		
Sala de Jantar	06:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	18:00	0	0	0		
	22:00	1	1	1		
	24:00	0	0	0		
Cozinha	07:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0	0	0		
	23:00	1	1	1		
	24:00	0	0	0		
Escritório (circulação doméstica)	07:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0				
	23:00	1				
	24:00	0				
Quarto	07:00	0	0	0	24:00	0
	10:00	1	1	1		
	19:00	0	0	0		
	23:00	0,2	0,2	0,2		
	24:00	0	0	0		
Sala	16:00	0	0	0	24:00	0
	23:00	1	1	1		
	24:00	0	0	0		

Anexo 9: Horário de Iluminação para o DesignBuilder

Capítulo IX – Referencias Bibliográficas

Adamczewski, G. (2014). **Prefabrykacja – jakość, trwałość, różnorodność**, Stowarzyszenie Producentów Betonów Warszawa.

Administration, U. S. E. I. (2013). **Delivere energy consumption by end-use setor and fuel, Total World, Reference case.** year. International Energy Outlook 2013, EIA

Agency, I. E. (2007). **Energy Use in the New Millennium.** IEA Online Bookshop, International Energy Agency: 168.

Alvarez, E. C. (2009). Antropologia de la Vivienda. Tectonico. Mexico. **2015.**

Alvarez, E. C. (2009). **La Vivienda del Siglo XXI com Proyección Ecológica** Tectonico. Mexico. **2015.**

Alvarez, E. C. (2009). Tipologia de Vivienda en la Edad Media. Tectonico. Mexico. **2015.**

ARCAM, A. A. (2014). **"Tuindorp Watergraafsmeer (Betondorp)** Tuindorp Watergraafsmeer (Betondorp)". Retrieved 20/07/2015, 2015, from <http://www.arcam.nl/tuindorp-watergraafsmeer-betondorp/>.

Arenas, J. M. C. (2011). **""The Packaged House System"**, Konrad Wachsmann y Walter Gropius, General Panel Corporation, New York, 1942." Arquitecturas y Objetos Prefabricados. Retrieved 29/07/2015, 2015, from <https://proyectos4etsa.wordpress.com/2011/12/26/the-packaged-house-system-konrad-wachsmann-y-walter-gropius-general-panel-corporation-new-york1942/>.

Artehistoria, P. D. S. L. "Las Viviendas." Retrieved 15/06/2015, 2015, from <http://www.artehistoria.com/v2/contextos/1339.htm>.

Arteplural (2015). "**Estilo Vitoriano.**" Retrieved 01/06/2015, 2015, from <http://www.arteplural.com.br/decoracao/estilos/vitoriano.php>.

Autodesk, I. (2015). "**Autodesk Ecotect Analysis.** ." Retrieved 20/10/2015, 2015, from <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>.

Autodesk, I. (2015). "**Green Building Studio.**". Retrieved 20/10/2015, 2015, from <http://www.autodesk.com/products/green-building-studio/overview>.

Autodesk, I. (2015). "**Software para Projeto de Edifícios e Construção.**". Retrieved 30/10/2015, 2015, from <http://www.autodesk.pt/products/revit-family/features/all/gallery-view>.

Balazs, A. "**The House.** La Maison Tropicale." Retrieved 29/07/2015, 2015, from <http://www.lamaisontropicale.com/www/>.

Barreiros, A. (2012). **A Arquitectura Barroca** A Arquitectura Barroca Lisboa, Portugal.

Barreiros, A. (2012). **A Arte Neoclássica: o Regresso à Ordem** A Arte Neoclássica: o Regresso à Ordem

Barreiros, A. (2012). **O Barroco em Portugal** O Barroco em Portugal Lisboa, Portugal.

Bean, R. (2012). "Operative Temperature." Retrieved 20/08/2016, 2016, from <http://www.healthyheating.com/Definitions/Operative-temperature.htm#.V9H1H1QrLcf>.

Bienenmann, M. (2006). "Can HVAC systems be modelled?". Retrieved 06/09/2016, 2016, from <http://support.designbuilder.co.uk/index.php?Knowledgebase/Article/View/7/9/can-hvac-systems-be-modelled>.

Campos, G. (2014). Introducción y Herencia. DesignBuilder Tutorials. España

Carro, D. A. F. and M. A. M. Dagnino (2011). Historia de la Casa.

Carvajal, L. E. M. (2012). Las Primeras Civilizaciones. Chile, Escuela Juan López D-86.

Casas, R. d. (1994). "**Casas e Chalés em Madeira Pré-fabricada**". Retrieved 30/08/2015, 2015, from <http://www.reisdascasas.com.br/index.html>.

Casema (2015). "**Construções e Perguntas Frequentes**." Retrieved 31/08/2015, 2015, from <http://www.casema.pt/>.

Ching, F. D. K. (1995). **Arquitectura: Forma, Espacio y Orden**. México, Ediciones Gustavo Gili.

Costa, P. J. L. d. (2011 - 2012). **Sistemas Modulares. Do Lugar ao Projeto**. Faculdade de Arquitectura, Universidade do Porto. **Mestrado**: 94.

De Alcântara, A. P. (2012) **Aspectos do Espaço Barroco na Arquitetura Civil dos Séculos XIX e XX** Aspectos do Espaço Barroco na Arquitetura Civil dos Séculos XIX e XX. Arquitextos

DesignBuilder, S. "Comfort Analysis." Retrieved 07/09/2016, 2016, from http://www.designbuilder.co.uk/helpv4.7/Content/HVAC_model_detail.htm.

DesignBuilder, S. "HVAC Model Options." Retrieved 07/09/2016, 2016, from http://www.designbuilder.co.uk/helpv4.7/Content/HVAC_model_detail.htm.

DesignBuilder, S. L. (2005-2015). "**DesignBuilder Software Product Overview**." Retrieved 20/10/2015, 2015, from <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/144/223/>.

DesignBuilder, S. "Simulation Detailed Results." Retrieved 01/09/2016, 2016, from http://www.designbuilder.co.uk/helpv3.4/Content/Simulation_Detailed_Results.htm.

Dias Neves, Y. C. (2013). **Conceção bioclimática de edifícios industriais**. Departamento de Engenharia Mecânica Universidade de Aveiro. **Mestrado**: 131.

Discovercasa (2013). "**Casas de madeira e modulares**." Retrieved 10/06/2015, 2015, from <http://www.casasdemadeira.com.pt/index.html>.

Eastman, C., et al. (2008). **BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** Hoboken - New Jersey, Estados Unidos, John Wiley & Sons, Inc.

Edwards, B. and P. Hyett (2001). **Guía Básica de la Sostenibilidad.** Barcelona, España.

Energy, U. S. D. o. (2015). "EnergyPlus Energy Simulation Software. ." Retrieved 30/10/2015, 2015, from <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.

Engel, H. (1977). **The Japanese House. A tradition for contemporary architecture.** Rutland, Vermont e Tokyo, Japan, Charles E. Tuttle Company, Inc.

Española, R. A. "Diccionario de la Real Academia Española." 2015, from <http://www.rae.es/>.

EUROSIS (2003 - 2015). **Directory of Simulation Software and Tools.** . Ostend, Belgica., Ghent University.

Fazatuacasa (2015). "Características das Casas Modulares ". Retrieved 03/01/2015, 2015, from <http://fazatuacasa.com/>.

Fernandes Freitas, S. (2009). **Arquitetura e Ecologia. Modular System: uma abordagem ecológica.** Faculdade de Arquitectura. Porto, Portugal, Universidade do Porto. **Mestrado em Arquitectura:** 141.

Francalossi, I. (2013). "AD Classics: The Dymaxion House / Buckminster Fuller." Retrieved 29/07/2015, 2015, from <http://www.archdaily.com/401528/ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller>.

Freire, A. J. N. (2009). **A Arquitectura como espaço Modular.** Forma, tipologia, sustentabilidade, flexibilidade, projectoA Arquitectura como espaço Modular. Forma, tipologia, sustentabilidade, flexibilidade, projecto. Arquitetura. Portugal, Universidade da Beira Interior. **Mestrado:** 107.

Freitas, V. P. (2002). **Isolamento térmico de fachadas pelo exterior.** Porto - Portugal, Maxit Group.

Furtado, D. R. B. (2011). "**Arte Barroca**". Retrieved 05/06/2015, 2015, from <http://arte-barroca.info/>.

Gauzin-Müller, D., et al. (2002). **Arquitectura Ecológica. 29 ejemplos europeos.** Barcelona, España.

Gonçalves Tomé, A. S. (2006). **Arquitecturas de Pré-fabricação: O fenómeno do contentor habitável.** Faculdade de Arquitectura. Porto, Portugal, Universidade do Porto. **Mestrado:** 105.

Guerra, A. R. (2008). La Evolución de la Vivienda desde el Neolítico. República Dominicana, Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra.

habitat, N. (2007). "**Casas de madeira e modulares**". Retrieved 20/12/2014, 2014, from <http://www.novohabitat.com.pt/cmadeira.html>.

Heitlinger, P. (2007). "Bahaus - Dessau (1925)." Retrieved 27/07/2015, 2015, from <http://www.tipografos.net/bauhaus/bauhaus-dessau.html>.

Hinson, C. (2013). **Rage Against the Machine for Living: Corbu in Pessac.** Architrouve*. Bordeaux, France. **2015.**

Hirsch, J. J. (1998-2009). "**DOE-2 Building Energy Use and Cost Analysis Tool.** ." Retrieved 30/10/2015, 2015, from <http://doe2.com/DOE2/index.html>.

Homes, K. M. (2015). **A Casa dos seus Sonhos.** Kitur. Águeda, Portugal.

Imperiale, A. (2012). **An American Wartime Dream: The Pachaged House System if Konrad Wachsmann and Walter Gropius.** ACSA Fall Conference. Philadelphia: 39-43.

INE, I. N. d. E. Quadros de Apuramento . Edifícios - 2.03 Edifícios, segundo a época de construção, por principais materiais utilizados na construção. Portugal, INE.

INE, I. N. d. E. (2012). **Número de Fogos e Núcleos Familiares** Portal do Instituto Nacional de Estatística.

Jular (2010). "**Casas Pré-fabricadas em Madeira**". Retrieved 31/08/2015, 2015, from http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=36.

Lapillone, B., et al. (2014). **Energy Efficiency Trends for households in the EU. Households**, ODYSSEE-MURE.

Lapillone, B., et al. (2014). **Energy Efficiency Trends for households in the EU** Energy Efficiency Trends for households in the EU. Households, ODYSSEE-MURE.

Lauren and Jim **Kit Home Information** The Arts & Craft Society. Portland, Oregon. 2015.

Lauren and Jim **Kit Home Information** Kit Home Information The Arts & Craft Society. Portland, Oregon. 2015.

Lazo, T. A. (2010). Historia de la Vivienda Edad de Piedra - Egipto - Mesopotamia - Roma. Apuntes de Arquitectura. Revista Digital. Peru. 2015.

LeCorbusier, F. and ADAGP (1995). "**Quartiers Moderns Frugès, Pessac, France, 1925.**" Retrieved 20/07/2015, 2015, from http://www.fondationlecorbusier.fr/corbuweb/morpheus.aspx?sysId=13&IrisObjectId=4705&sysLanguage=en-en&itemPos=50&itemSort=en-sort_string1%20&itemCount=78&sysParentName=&sysParentId=64.

Lopes, N. L. "**MOBY. Natural Lifestyle.**" Retrieved 10/10, 2014, from <http://www.cnll.pt/moby/indexpt.html>.

Ltda., Q. e. C. "Historia de la Vivienda I." Retrieved 16/06/2015, 2015, from <http://www.profesorenlinea.cl/mediosocial/ViviendaI.htm>.

Martins, P. C. F. (2011). **A Interoperabilidade entre Sistemas BIM e Simulação Ambiental Computacional: Estudo de Caso.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, Brasil, Universidade de Brasília. **Mestrado**: 229.

Martins Vasconcelos, D. A. (2013). **Building Information Modeling: BIM na arquitetura, construção e pré-fabricação.** Faculdade de Arquitectura. Porto, Portugal, Universidade do Porto. **Mestrado:** 123.

Mcrae, S. **Sobre o Estilo Vitoriano** eHow Brasil. Brasil. 2015.

Modiko (2014). "**MODIKO - Modular Construction Thecnology**". Retrieved 20/10/2014, 2015, from <http://modiko.pt/pt/>.

Museum, H. F. "**R. Buckminster Fuller's Dymaxion House.**" Retrieved 29/07/2015, 2015, from <https://www.thehenryford.org/exhibits/dymaxion/index.html>.

One, B. (2014). "**Sustentabilidade na arquitetura: o que é arquitetura vernacular?**" Arquitetura Verde Retrieved 02/03, 2015, from <http://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/sustentabilidade-na-arquitetura-o-que-e-arquitetura-vernacular/>.

PORDATA (2012). **Fogos Concluídos e Famílias Clássicas.** PORDATA.

Priberam (2008). "**Dicionário Priberam da Língua Portuguesa.**" 2015, from <http://www.priberam.pt/DLPO/>.

Ramisote, V. (2015). **Informação Casas Modiko** - Via Email.

Recco, C. B. "**O Modernismo**". Retrieved 02/07/2015, 2015, from <http://www.historianet.com.br/interno/default.aspx?s=13>.

Reguilón, A. M. "Vida Cotidiana en la Edad Media." Retrieved 14/06/2015, 2015, from <http://www.arteguias.com/vidaedadmedia.htm>.

Seguin, P. G. "**Jean Prouvé Architecture.** 6x6 Demountable House, 1944." Retrieved 29/07/2015, 2015, from <http://www.patrickseguin.com/en/designers/architect-jean-prouve/available-houses-jean-prouve/6x6-demountable-house1944/>.

Slimak. "**Evolución Histórica de la Vivienda.**" Retrieved 20/03, 2015, from <http://html.rincondelvago.com/evolucion-historica-de-la-vivienda.html>.

Sousa, V. H. B. d. (2011). **Arquitectura, Sustentabilidade e Coordenação Modular.** Desenvolvimento de Sistema Construtivo Modular. Arquitectura. Portugal, Universidade da Beira Interior. **Mestrado:** 97.

System, I. G. B. (2011). "**Sistema construtivo com painéis de aço galvanizado.**" Retrieved 10/06/2015, 2015, from <http://www.todayhome.fr/fr/article/116,PRODUIT.html#top>.

Thermal Energy System Specialists, L. (2015). "**TRNSYS. Transient System Simulation Tool.**". Retrieved 30/10/2015, 2015, from <http://www.trnsys.com/>.

Thornton, R. and D. Wolicki. "**Wardway Homes.**" Pre-cut and plan book homes of Montgomery Ward and Company 1909-1932. Retrieved 20/07/2015, 2015, from <http://www.wardwayhomes.com/about.php>.

Thornton, R. and D. Wolicki (2015). **Aladdin Kit Homes.** Sears Modern Homes. 2015.

Viviendademadera. "**Cabañas de madera, casas de madera y viviendas de madera ecológica.**" Retrieved 10/06/2015, 2015, from <http://www.viviendademadera.es/index.php>.

Wiki, D. B. (2014). "Operative Temperature." Retrieved 20/08/2016, 2016, from <http://www.designingbuildings.co.uk/w/index.php?title=Operative%20temperature&action=history>.

Wiki, D. B. (2015). "Dry-Bulb Temperature." Retrieved 20/08/2016, 2016, from http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Dry-bulb_temperature.

Wiki, D. B. (2016). "Humidity." Retrieved 20/08/2016, 2016, from <http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Humidity>.

Yovane, K. C. S. (2003). Reacondicionamiento Bioclimático de Viviendas de Segunda Residencia en Clima Mediterráneo. Arquitectura. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. **Doctor.**

Páginas web consultadas

<https://www.timetoast.com/timelines/evolucion-de-la-vivienda>

https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_medieval

https://pt.wikipedia.org/wiki/Barroco_no_Brasil#Arquitetura_civil

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Barroco#Cronologia>

http://www.ecivilnet.com/artigos/historia_da_arquitetura_3.htm

https://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura_do_neoclassicismo

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Neoclassicismo#Arquitetura>

http://www.ecivilnet.com/artigos/historia_da_arquitetura_3.htm

https://pt.wikipedia.org/wiki/Neog%C3%B3tico#Do_s.C3.A9culo_XX_em_diante

[https://es.wikipedia.org/wiki/Modernismo_\(arte\)#Arquitectura_modernista](https://es.wikipedia.org/wiki/Modernismo_(arte)#Arquitectura_modernista)

https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_moderna

https://pt.wikipedia.org/wiki/Arquitetura_contempor%C3%A2nea

<http://www.dsarch.net/projects/prouve.html#>

<http://www.arcspace.com/exhibitions/unsorted/jean-prouve-tropical-house/>

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

<http://prefabricate.blogspot.pt/2014/03/prefabrication-experiments9-frankfurt.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/New_Frankfurt

http://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1017&context=john_mullin

<https://senakocakaya.wordpress.com/2015/04/20/ernst-may-housing-policy-of-frankfurt-on-the-main1929/>

<http://www.planum.net/neues-bauen-in-frankfurt-am-main-a-new-way-of-building-in-frankfurt>