O conceito Passivhaus no projecto de arquitectura

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura
Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto
Orientada por: Prof. Doutor Carlos Nuno Lacerda Lopes
Ano lectivo 2016/2017

Christian Ferreira

A presente Dissertação não foi escrita segundo o novo acordo ortográfico.

As citações em português, presentes nesta Dissertação, também não foram escritas segundo o novo acordo ortográfico. As restantes, excepto indicação contrária, encontram-se nas respectivas línguas, conforme a obra consultada, de modo a que seja mantido o rigor de cada expressão.

Algumas das imagens utilizadas foram editadas.

Ao professor Carlos Lacerda Nuno Lopes, pela orientação e disponibilidade.
Aos meus pais, pelo apoio incondicional, pela compreensão, por tudo.
Ao meu irmão, pela partilha de conhecimento.
Aos meus tios e primas, pelo apoio.
À Adélia, pela amabilidade, pela paciência, disponibilidade e ajuda.
À Beatriz, pela cumplicidade, motivação, compreensão, paciência infinita e ajuda imprescindível. Mit dir will ich uralt werden!

"The best thing a university can hope to achieve is to turn the student into an autodidact. This includes acquiring the basics unaided, posing probing questions, intensive research, the formulation of hypotheses and the preparation of syntheses."

Andrea Deplazes

RESUMO

Desde o início da Revolução industrial, a construção tem sido considerada uma das actividades menos sustentáveis e que muito tem contribuído para as alterações climáticas, nomeadamente para o aquecimento global, sobretudo através da emissão de dióxido de carbono para a atmosfera.

Num momento em que a Europa discute e prepara o seu ambicioso programa EUROPA 2020, cujos objectivos impõem uma filosofia de consumo energético quase nulo para construções futuras, esta Dissertação aborda a temática da sustentabilidade tendo como base de estudo o conceito construtivo alemão Passivhaus e a sua integração no projecto de arquitectura.

Assim, delimitando a área de estudo a Portugal, verificamos que a maioria das edificações não têm as devidas preocupações, do ponto de vista construtivo, em assegurar níveis de conforto e eficiência energética. Este facto é sublinhado pelos estudos que vêm sendo publicados, desde a viragem do milénio, e que apontam Portugal como o país que apresenta a mais elevada taxa de mortalidade sazonal da União Europeia.

Existindo os meios para reduzir significativamente a dependência das condições climatéricas e da energia, cabe ao Arquitecto, figura com responsabilidade social, cultural e moral acrescida, implementá-los de modo a reduzir a emissão de gases com efeito de estufa.

Uma vez enquadrado o conceito e as mais valias da metodologia Passivhaus, é feito um pequeno estudo que visa dar respostas concretas nas cidades de Lisboa e Porto.

ABSTRACT

Since the Industrial Revolution, construction has been considered by several authors one of the least sustainable activities, because it contributes negatively to climate changes, namely to global warming, especially by carbon dioxide emissions into the atmosphere.

In a time when Europe discusses and prepares its ambitious EUROPE 2020 program, pointing out new and demanding goals which impose a philosophy of energy consumption close to zero for future buildings, and with a view to improve energy efficiency to tackle climate change, this Dissertation approaches the subject of sustainability having, as a study basis, the German constructive concept Passivhaus and its integration in the architecture design.

Thus, delimiting the area of study to Portugal, we see that most buildings do not have the appropriate level of sustainability concerns, nor do they satisfy the minimum requirements of habitability and comfort. This is underlined by studies that have been published since the turn of the millennium and which classify Portugal as the country with the highest seasonal mortality rate in the European Union.

Since there are the means to significantly reduce dependence on climate and energy, it is up to the Architect, due to his great social, cultural and moral responsibility, to implement them in a way that reduces greenhouse gas emissions.

Once the concept and value of the Passivhaus methodology has been framed, a small study is carried out to provide concrete answers in the cities of Lisbon and Porto.

INDÍCE

Resumo/Abstract

1. Introdução
1.1 Enquadramento 4
1.2 Motivações 7
1.3 Objectivos 8

2. Concepções teóricas acerca da construção de uma Passivhaus

2.1 Origem
2.1.1 1974 - DTH-Nul-Energihus de Vagn Korsgaard e a Philipshaus 14
2.1.2 1977 - SCH e William Shurcliff 20
2.1.3 1984 - Rocky Mountain Insitute e Armory Lovins 22
2.1.4 1991 - Passivhaus Darmstadt - Kranichstein 24
2.1.5 1996 - Passivhaus Institut e Wolfgang Feist 28
2.1.6 2012 - Associação Passivhaus Portugal - PHPT 30

2.2 Conceito
2.2.1 Objectivo do conceito 33
2.2.2 Definição da norma 35
2.2.3 Critérios da norma 37
2.2.4 PHPP: certificação 41

2.3 Envolvente Opaca
2.3.1 Forma 46
2.3.2 Isolamento térmico 50
2.3.3 Pontes térmicas 60
2.3.4 Estanquidade ao ar 66
2.3.5 Inércia térmica 74

2.4 Envolvente Translúcida
2.4.1 Elementos envidraçados 80
2.4.2 Orientação solar 90
2.4.3 Iluminação natural 94
2.4.4 Protecção solar 96

2.5 Ventilação
2.5.1 Qualidade do ar 102
2.5.2 Ventilação mecânica 107
2.5.3 Conforto térmico 122

2.6 Exemplos construídos
2.6.1 Darmstadt - Kranichstein 130
2.6.2 Bambushaus 132
2.6.3 Casa B 134
2.6.4 Cestaria 136

3. Concretização prática: cálculo energético com a ferramenta PHPP
139 3.1 Modelo de simulação
142 3.2 Optimização
154 3.3 Conclusão
156 3.4 Passivhaus Lisboa
158 3.5 Passivhaus Porto

Considerações finais 4.
161 4.1 Recomendações para futuras pesquisas
162 4.2 Conclusão

5. Referências Bibliográficas
167 5.1 Bibliografia
175 5.2 Créditos das tabelas
177 5.3 Créditos das imagens
180 5.4 Siglas e acrónimos

6. Anexos
184 6.1 Folhas de verificação do PHPP, Lisboa
194 6.2 Folhas de verificação do PHPP, Porto

1. Introdução

Tab.1 *Enquadramento do parque habitacional português e europeu em 2002*

%	PORTUGAL	EU 14
Telhados com fugas	18,7%	6,9%
Humidade excessiva	33,4%	12,7%
Caixilhos defeituosos	25,2%	8,6%
Falta de sistema de aquecimento adequado	39,7%	11,5%
Incapacidade de aquecer adequadamente a casa	74,4%	16,9%
Pobreza energética (fuel poverty)	50,3%	14%
Moradores insatisfeitos	11,3%	6,4%
Variação de taxa de mortalidade sazonal (excess Winter mortality)	28%	16%

ENQUADRAMENTO

1.1

"A arquitectura do espaço externo parece ter interessado aos arquitectos da vanguarda à custa da arquitectura dos interiores. Como se a casa fosse concebida para o prazer dos olhos, em vez do bem-estar dos seus moradores."[1]

No século XX, um período de grandes mudanças, experimentações, evoluções e avanços tanto a nível político, social, cultural como tecnológico, a arquitectura assistiu, inevitavelmente, a grandes transformações com a industrialização do sector da construção. Deram-se grandes mudanças de prioridades e hábitos construtivos, observando-se um contínuo desvinculamento das condicionantes locais como afirma M. Wassouf, *"(...) o projecto e a execução das edificações contemporâneas desenvolveram-se segundo parâmetros estéticos, funcionais e económicos, limites que cercearam a liberdade arquitectónica aceite pela nossa sociedade."*[2] Embora o desempenho térmico dos elementos construtivos tenha melhorado desde 1945[3], a mudança para uma arquitectura universal, desenraizada do seu meio, traduziu-se, principalmente, em consumos desmedidos de matérias-primas o que levou, também, a uma diminuição significativa do conforto no interior dos edifícios, sentido, sobretudo, pela população economicamente mais pobre.

"Apenas 1/6 da população mundial - a minoria rica, portanto - consome quase todos os recursos naturais disponíveis."[4]

Na viragem do milénio, surge pela primeira vez um estudo[5] que constata o paradoxo: é nos países do Sul da Europa, onde o clima é mais ameno no Inverno - os ditos países economicamente mais pobres -, que ocorrem mais mortes sazonais devido à falta de qualidade das habitações (Tab.1). A inexistência de eficiência térmica e energética, como também a fraca qualidade do ar nos espaços interiores, são os principais causadores de problemas de saúde física e mental e de mortes prematuras.[6]

---

[1] Eileen Gray citado em PALLASMAA, Juhani. *Os Olhos da Pele: A Arquitectura e os Sentidos.* Porto Alegre: Bookman, 2011, p. 59

[2] WASSOUF, Micheel. *Da Casa Passiva à Norma Passivhaus: a arquitectura passiva em climas quentes.* Barcelona: Gustavo Gili, 2014, p. 8

[3] BIRCHALL, Sarah; Gustafsson, Marcus; Wallis, Ian; Dipasquale, Chiara; Bellini, Alessandro e Fedrizzi, Roberto. *Survey and simulation of energy use in the European building stock.* Conference Paper, 2016

[4] Tradução do alemão em: http://www.passivhaus.de/passivhaus-informationen/klimaschutz/klimawandel.html - Consultado 21-09-15

[5] HEALY, John D.. *Excess Winter Mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors.* Journal Epidemical Community Health, Vol. 57, 2003, p. 784-789

[6] BPIE. *Alleviating fuel poverty in the EU: investing in home renovation, a sustainable and inclusive solution.* Bruxelas: Buildings Performance Institut Europe, 2014, p. 15

Tab.2 *Taxa de mortalidade sazonal, Portugal vs. Europa*

Variação de taxa de mortalidade sazonal (excess winter mortality)	PORTUGAL	EU 28
2011	23,4%	-
2012	36,7%	-
2013	20,4%	15,9%
2014	24,9%	11,8%

Tab.3 *População incapaz de manter a casa quente, Portugal vs. Europa*

Incapacidade de manter a casa adequadamente quente	PORTUGAL	EU 27
2007	41,9%	10,9%
2008	34,9%	10,1%
2009	28,5%	9,3%
2010	30,1%	9,5%
2011	26,8%	9,8%
2012	27%	10,8%
2013	27,9%	10,7%
2014	28,3%	10,2%

Entre os países da Europa[7], Portugal era o que apresentava a variação da taxa de mortalidade sazonal mais elevada, subindo a média em 28% nos meses de frio. Também a capacidade para aquecer a casa era, à altura, quase inexistente. Passados 20 anos, poder-se-ia imaginar uma melhoria substancial destes dados estatísticos, no entanto, os valores recentes do Eurostat apontam para números semelhantes aos dos anos 90 (Tab.2 e 3).

"(...) more than 80% of the EU's existing building stock in the housing sector is highly inefficient and buildings are responsible for 40% of the EU's energy consumption."[8]

O parque habitacional português também é altamente ineficiente. Na verdade, é dos piores da Europa (EU 27): 30% da população não consegue manter temperaturas adequadas e 1/4 vive em habitações com patologias[9] severas. Este ciclo vicioso - eficiência energética inexistente, preços de energia elevados, baixos rendimentos das pessoas[10] - afecta sobretudo a população mais carenciada que, à partida, não tem capacidade para aquecer o seu lar. No entanto, comparativamente com os restantes países Europeus, a falta de qualidade construtiva em Portugal não é sinónimo de consumos energéticos elevados nem de níveis de poluição (CO_2) excessivos.[11] À luz destes dados, poder-se-à concluir que a elevada taxa de mortalidade sazonal registada em Portugal está directamente ligada à falta de eficiência das construções e ao não aquecimento dos espaços habitáveis. Assim, o que foi demonstrado por John Healy continua tão actual como há 20 anos atrás. O Arquitecto tem a responsabilidade social e moral de inverter essa realidade.

"(...) inhabitants gain significantly in terms of having a higher indoor thermal comfort (...). Therefore, the benefits are witnessed at a societal level by reducing the need for medical assistance and, at the same time, by having healthier citizens able to contribute more to the personal and societal welfare."[12]

---

[7] EU 14: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Itália, Irlanda, Luxemburgo, Países Baixos, Portugal e Reino Unido

[8] LAKATOS, Edit. *Warm homes for all - tools to tackle the energy poverty challenge.* Energy Poverty Handbook. Bruxelas: The Greens/EFA group in the European Parliament, 2016, p. 156

[9] Telhados com fugas, humidade nas paredes, pavimentos ou fundações e/ou caixilharias defeituosas. http:/www.ec.europa.eu/en/eu-buildings-database - última actualização 28-03-17 - Consultado 12-04-17

[10] JONES, Sian. *Social causes and consequences of energy poverty.* Energy Poverty Handbook. Bruxelas: The Greens/EFA group in the European Parliament, 2016, p. 23, 25

[11] http://www.ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-factsheets - Consultado 15-04-17

[12] BPIE. op. cit., p. 8

MOTIVAÇÕES

1.2

Após ter vivido duas décadas num país da Europa central, habituado ao conforto característico das casas por oposição ao clima desfavorável, o autor desta Dissertação vê-se agora num país com uma realidade oposta onde, segundo Francisco Moita, *"(...) os baixos padrões do nível de vida têm provocado uma tradicional falta de conforto térmico nos edifícios (...)"*.[13] Longe do clima agreste sentido noutros países, Portugal tem condições climatéricas únicas com temperaturas médias entre os 18 e 26 graus centígrados.[14] No entanto, essa riqueza que é o clima e o Sol - as infinitas horas de Sol - que nos são postas à disposição, de forma gratuita, não são transformadas em mais-valia para as pessoas. Podemos até afirmar que os edifícios apenas se limitam a proteger dos extremos climatéricos sem tirarem verdadeiramente partido do clima. Como enfatiza o arquitecto espanhol Rafael Serra, *"os nossos edifícios comportam-se pior do que o clima e oferecem, no seu interior, condições adversas: quando está calor os interiores são mais quentes, quando está frio, são mais frios..."*.[15] Quando já a arquitectura praticada na antiguidade tirava o maior proveito do Sol e do clima, poupando recursos, dois mil anos depois, estes já deveriam ser valores adquiridos e intrínsecos à pratica da arquitectura. No entanto, a realidade mostra o contrário.

Assim, foi o interesse do autor por questões construtivas, técnicas, ambientais, ecológicas e sociais, aliado à experiência pessoal, académica e profissional, que levou à escolha do tema desta Dissertação.

---

[13] MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* Lisboa: Argumentum, 2ª Edição, 2010, p. 14

[14] TIRONE, Livia e Nunes, Ken. *Construção Sustentável - Soluções para uma Prosperidade Renovável*. Sintra: Tirone Nunes, SA, 3ª Edição, 2010, p. 16

[15] Rafael Serra citado em TIRONE, Livia e Nunes ,Ken. op. cit., p. 107

OBJECTIVOS

1.3

"O arquitecto é o observador atento dos problemas a resolver e das discussões que à volta desses problemas se levantam. Em vez de ser função duma soma de opiniões, o resultado do seu trabalho será uma síntese de todos os contributos, depois de escrupulosamente discutida e verificada a justeza de cada um."[16]

Sendo já sobejamente conhecido que é possível construir de modo sustentável - *"tema actualmente tão badalado"*[17] - e que se pode alcançar padrões de conforto elevadíssimos com apenas uma fracção ínfima de energia, cabe ao Arquitecto a responsabilidade acrescida de, através da sensibilidade, bom senso e serenidade que lhe é expectável, colocar em prática os ensinamentos de outras áreas complementares da arquitectura como a física da construção, a engenharia, a medicina, etc. sem, no entanto, reduzir a arquitectura a *"um instrumento da funcionalidade, do conforto corporal e do prazer sensorial (...)"*.[18]

Pretende-se, assim, com a presente Dissertação, abordar e dar a conhecer de uma forma holística e recusando a *"ideia primária de especialização"*,[19] os conceitos físicos e construtivos da metodologia Passivhaus, tal como as suas implicações no processo de concepção da arquitectura. No entanto, não se pretende tomar por imperativos ou obrigatórios os procedimentos abordados nos temas das seguintes páginas. Pretende-se antes dar a conhecer e sensibilizar para as questões e problemas abordados pelo método construtivo Passivhaus que, numa primeira análise, pouco difere da construção corrente, mas que ainda assim, até à data desta Dissertação, apenas foi replicado por três vezes em Portugal.

Será objectivo identificar as concepções teóricas, tais como os princípios, requisitos e particularidades da construção de uma Passivhaus, atendendo ao clima português, menos agreste quando comparado com o da Europa Central, região de origem do conceito. Para finalizar, e através da elaboração de um pequeno estudo com a ferramenta de cálculo PHPP 9, serão analisadas as diferentes abordagens à norma nas cidades do Porto e Lisboa.[20]

---

[16] SIZA, Álvaro. *01 textos.* Porto: Civilização Editora, 2009, p. 16

[17] BAEZA, Campo. *Pensar com as mãos.* Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2ª Edição, 2013, p. 39

[18] PALLASMAA, Juhani. *Os Olhos da Pele: A Arquitectura e os Sentidos.* Porto Alegre: Bookman, 2011, p. 59

[19] SIZA, Álvaro. op. cit., p. 178

[20] Limite imposto pela própria ferramenta de cálculo que, até à data da elaboração desta Dissertação, ainda não dispunha de mais dados climatéricos.

2. Concepções teóricas acerca da construção de uma Passivhaus

2.1

ORIGEM

"(...) as paredes são revestidas com feltro asfáltico que por cima leva um enchimento de cortiça, depois uma forro de madeira, depois outra camada espessa de feltro e por fim uma camada estanque de linóleo que é forrada a madeira. Os tectos (...) têm ao todo uma espessura de aproximadamente 40cm. A janela, por onde o frio poderia entrar com facilidade, foi protegida por vidro triplo. Temos (aqui) um espaço de estar confortável e quente. Tanto faz o termómetro marcar 5 graus como 30 graus centígrados abaixo do zero, que não temos fogo na lareira. A ventilação é excelente, (...) pois faz chegar ar fresco polar através dos ventiladores. Dai que esteja tentado a retirar por completo o forno; apenas está a ocupar espaço."

Fridtjof Nansen, 1887



01. *Barco de expedição polar Fram, 1894*



02. *Postal da House of Tomorrow, 1933*

1974
DTH-NUL-ENERGIHUS DE VAGN KORSGAARD E A PHILIPSHAUS

2.1.1

É em 1883 que surge o que mais se aproxima de uma Passivhaus completamente funcional. Não era uma casa, mas sim um barco: o barco de expedição polar *Fram* do cientista e explorador norueguês Fridtjof Nansen.[21]

Cinquenta anos passados, no início da década dos anos 30 do século XX, o arquitecto George F. Keck, numa espécie de provocação futurista, apresenta ao mundo a *House of Tomorrow.*[22] Desenhada em torno de um sistema de ar condicionado, não teve na sua origem a intenção de abordar princípios passivos. No entanto, a "descoberta" do potencial do Sol - pelos piores motivos pois a casa sofria de sobreaquecimento constante - viria a culminar, uma década depois, no movimento *Solar House*.[23]

Já a entrar no último quarto do século, impulsionada pela crise do petróleo[24], ressurge a preocupação com os aspectos energéticos nas edificações. Muito à frente do seu tempo, Vagn Korsgaard, físico dinamarquês, desenvolve o conceito para a primeira casa de necessidade energética nula. Situado no campus da universidade Técnica de Copenhagen, Dinamarca, o edifício *DTH-Nul-Energihus* foi, desde 1975, usado como modelo à escala 1:1 para efectuar simulações e obter dados científicos para o desenvolvimento e optimização de componentes.

"Movable thermal insulation in front of windows, a device for the recovery of heat from exhaust air as well as a solar heating system consisting of 42 m² of flat-plate solar collectors and a 30 m³ hot water storage tank were used for this purpose."[25]

Nasce, assim, um projecto pioneiro e fundamental no desenvolvimento do que viria a ser a Passivhaus, conforme explica Wolfgang Feist:[26]

"Korsgaard's and Esbensen's work demonstrated back in the 1970s that energy-efficient technology really does work. The construction of this building was thus an important basis for later developments in Europe and around the world. The Danish zero-energy experiment was one of the very first of its kind and was certainly one of the most systematic. The published project findings were incorporated into Passive House research right from the start."

---

[21] https://www.passipedia.de/grundlagen/anmerkungen_zur_geschichte - Consultado 01-09-15

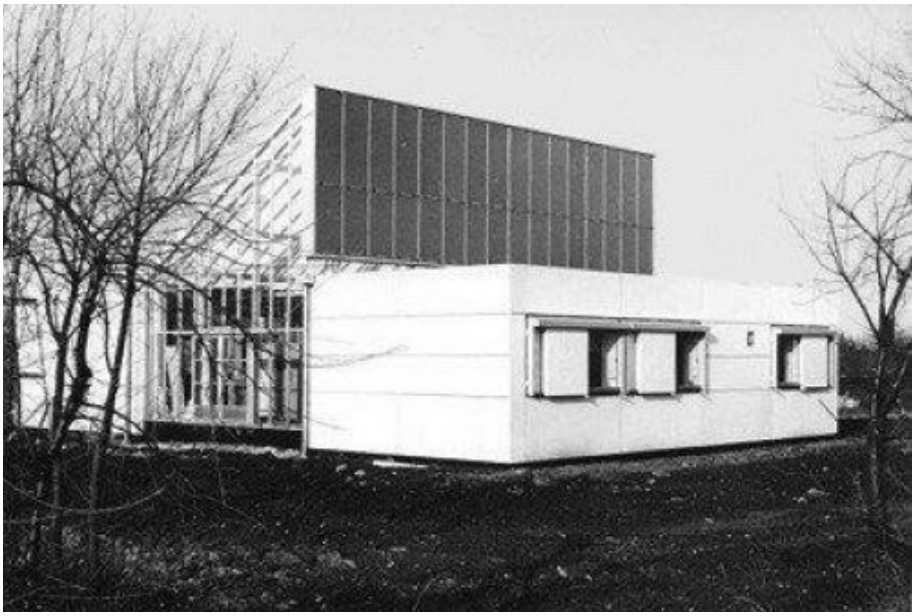
[22] https://www.treehugger.com/green-architecture/house-tomorrow-declared-national-treasure.html - Consultado 15-12-15

[23] http://solarhousehistory.com/blog/2013/4/21/80-years - Consultado 15-12-15

[24] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. *A Green Vitruvius: principles and practice of sustainable architecture design.* London & Washington: Earthscan, 2011, p. 1

[25] http://www.sustainapedia.com/pioneer-award-for-1970s-zero-energy-house-in-denmark/ - Consultado 19-08-16

[26] Citação de Wolfgang Feist em http://www.treehugger.com/green-architecture/passivhaus-precedents-zero-energy-house-1970s-recognized-award.html - Consultado 10-03-17



03. *DTH-Nul-Energihus, 1975*

Num documento apresentado em 1977, no primeiro forum alemão de energia solar, pode ler-se:[27]

"The windows facing south are relatively small, and they are provided with a sun shading device, which means that there have not been problems with high indoor temperatures on sunny days.
It was very interesting to see if the family would feel comfortable in this high-insulated, very tight house during the winter period.
However the family has been very satisfied with the indoor climate. The ventilation system has supplied the house with a sufficient amount of fresh air, and it has not at any moment been necessary opening the windows to ventilate the room.
The only thing which is different by living in the Zero Energy House is to remember closing and opening the insulating shutters."

Contudo, o conceito de V. Korsgaard não foi bem aceite, sobretudo pelos arquitectos que, desde cedo, se opuseram, principalmente, aos vãos reduzidos. Limitações técnicas próprias da época, ditaram vãos - já com vidro triplo - de dimensões reduzidas. O que gerou a ideia de que, do ponto de vista do desenho e da composição, não seria possível aplicar este conceito à construção corrente de habitações.[28]

---

[27] ESBENSEN, Torben V. e Korsgaard, Vagn. Performance of the zero energy house in Denmark. Lyngby: Techincal University of Denmark, 1977.

[28] FINGERLING, Anne. *Eine Geschichte der Nidrigenergiehauser bis zum Passivhaus.* Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GMBH, 1996, p.8



04. *Demonstração dos colectores solares utilizados na Philips Experimental House, 1975*

Tendo como ponto de partida o trabalho desenvolvido pelos escandinavos, lança-se o projecto *Philips Experimental House* na Alemanha. O objectivo do mesmo seria monitorizar e investigar uma casa pré-fabricada, construída nos terrenos dos laboratórios de investigação da *Philips GmbH* em Aachen, a fim de avaliar o potencial das energias renováveis, tal como sistemas solares, bombas de calor, etc.[29] Esta casa foi construída com elevados níveis de isolamento - o valor de U das superfícies opacas (paredes, chão e cobertura), foi melhorado e reduzido para 0,14 W/m²K, quando o valor normal da época era 1,23 W/m²K. Nas janelas, o ponto fraco da construção, apenas foi possível alcançar valores de U na ordem dos 1,9 W/m²K. Motivo pelo qual o dimensionamento das mesmas é muito reduzido.[30] Para além disso, construída com um sistema - provavelmente um dos primeiros do mundo - de ventilação com recuperação de 90% do calor, foi então possível estimar a necessidade de aquecimento em 20 - 30 kWh/m²a.[31]

Com este projecto, ficou, desde logo, evidente que as casas poderiam funcionar sem sistemas de aquecimento convencionais. Para isso, e para atingir esses valores, seria apenas necessário melhorar o isolamento, tal como também aplicar janelas e sistemas de ventilação muito mais eficientes.[32] Porém, mais uma vez, as dimensões reduzidas das janelas, reforçaram o preconceito, entre os arquitectos, de que a construção sustentável nada tinha a ver com arquitectura sofisticada.[33]

---

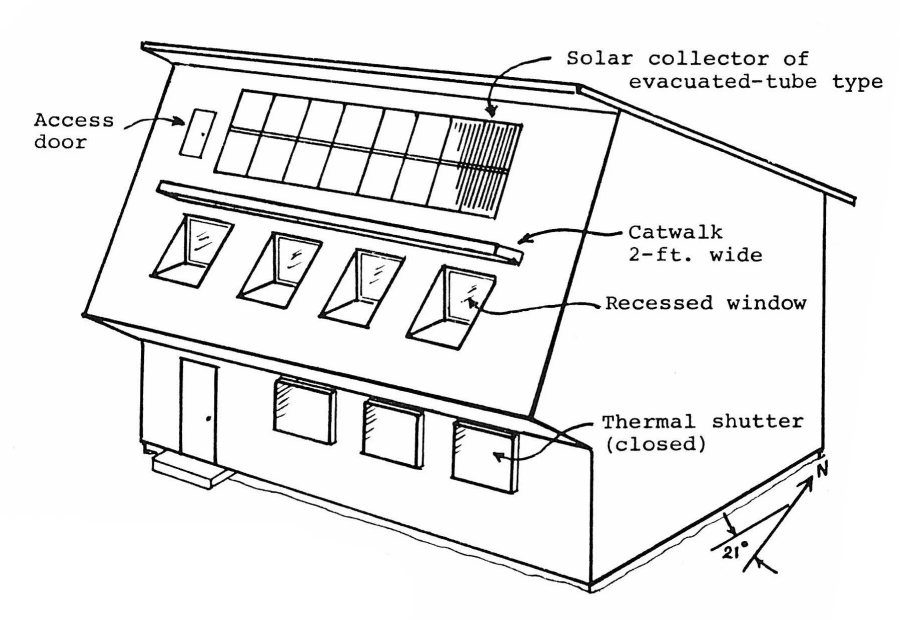
[29] STEINMÜLLER, Bernd. *Reducing Energy by a Factor of 10: Promoting Energy Efficient Sustainable Housing in the Western World.* Lüneburg: Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement, 2008, p. 37

[30] FINGERLING, Anne, op. cit., p. 16

[31] A necessidade de aquecimento para uma Passivhaus é de máximo 15 kWh/m²a

[32] STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 38

[33] FINGERLING, Anne. op. cit., p. 15



05. *Perspectiva da Saskatchewan Conservation House*



06. *Vista Sul da Saskatchewan Conservation House, 1977*

1977
SCH E WILLIAM SHURCLIFF

2.1.2

Do outro lado do Atlântico, e quase em simultâneo com os projectos europeus, um grupo de investigadores canadianos, motivado pelo aumento do preço do crude, construíu uma casa altamente eficiente, conforme explica Harold Orr, um dos responsáveis pelo projecto:[34]

"If you were to wake up today, get in your car to go to work, found that you need gas for the car, proceed to your favourite service station and find that the price of gas has doubled from yesterday. You look across the street and find the competitor has the same price. What do you do?

1. You complain to the service station attendant!
2. You fill your tank 1/2 full.
3. You call your Member of Parliament and complain loudly!
4. You buy a bicycle.

This is essentially what happened in 1973 when the OPEC countries raised the price of crude oil. Everyone was up in arms over the sudden increase in price and everyone started to look for ways to reduce energy costs."

Com grande atenção dada à estanquidade ao ar, elevados níveis de isolamento térmico, inteligentemente colocado, e equipada com um sistema de ventilação com recuperação de calor - um dos primeiros do mundo a par da casa Philips - a Saskatchewan Conservation House (SCH) aproxima-se muito de uma Passivhaus. A SCH esteve aberta ao público durante dois anos, período durante o qual foi monitorizada. Quando ficou provado que a casa funcionava com apenas uma fracção ínfima de energia, dispensando sistemas de aquecimento convencionais (gasóleo, gás, biomassa, etc.), recebeu a atenção da comunidade norte-americana de investigadores e construtores. Entre eles estava William Shurcliff, físico norte americano, defensor de uma abordagem semelhante desde meados da década de 70, o conceito de S*uper-insulated Houses,* que apostava em eficiência energética em vez de dispendiosos sistemas solares activos. Contudo, também este conceito *Super-insulated Houses* nunca chegou a ser aceite nos Estados Unidos por ser visto como um sistema "simplista" em que não era visível - no aspecto do edifício - a sua eficiência energética.[35]

---

[34] Harold Orr em https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review/poineer_award/saskatchewan_conservation_house - Consultado 20-01-16

[35] FINGERLING, Anne. op. cit., p. 13



07. *Vista interior da habitação do cientista Armory Lovins e sede do Rocky Mountain Institute*



08. *Vista exterior da habitação do cientista Armory Lovins e sede do Rocky Mountain Institute*

1984
ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE E ARMORY LOVINS

2.1.3

Também o cientista Armory Lovins contribui e prova, com experiências bem sucedidas na sua habitação e sede do *Rocky Mountain Institute*, que é possível construir solar passivo a 2164 m de altitude, onde a temperatura desce aos -44ºC no Inverno e atinge 33ºC no Verão. O edifício construído entre 1982 e 1984 deixa adivinhar, pela sua forma orgânica e pelos sistemas activos e passivos visíveis na cobertura, que se trata de um edifício diferente. As mediadas passivas, em conjugação com equipamentos que recuperam o calor ao invés de o perder, reduzem de tal modo as perdas energéticas que permitem a Lovins cultivar frutos semi-tropicais no interior da sua habitação, durante o ano todo, com apenas 1% do custo de aquecimento de uma construção convencional.[36]

"Some of the heat one may feel when visiting the building in November may have been absorbed in July."[37]

As superfícies envidraçadas estão todas orientadas a Sul e, tal como todo o edifício, têm vindo a ser alvo de melhorias constantes desde 1984. As janelas originais continham gás argon, posteriormente passaram a ter krypton e, hoje em dia, estão instaladas janelas de vidro quadruplo com gás xenon que apenas perdem 8% de calor comparativamente com uma janela de vidro simples.[38] As paredes maciças de pedra e o chão em betão servem de massa térmica que absorve a energia solar para a devolver novamente quando a temperatura interior baixa. Outra característica fundamental é a estanquidade ao ar que, mais uma vez, tem um contributo fundamental para o desempenho energético do edifício.

"Thanks to careful airsealing details, periodic blower-door tests, most recently in early 2007, have shown that the building is one of the most airtight ever measured, with a total uncontrolled leakage area smaller than a human hand."[39]

---

[36] YI, Aris; Ramirez, Samuel; Bendewald, Michael e Pradhan, Alok. *Lovins GreenHome 1.0: Factor ten engineering case study.* Colorado: Rocky Mountain Institute, 2010, p. 1

[37] Idem, p. 4

[38] Idem, p. 5

[39] ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. *Visitor's guide.* Colorado: Rocky Mountain Institute, 6th edition, 2007, p. 34



10. *Vista Sul da primeira Passivhaus construída, 1991*

1991
PASSIVHAUS
DARMSTADT - KRANICHSTEIN

2.1.4

Com a queda dos preços dos combustíveis a partir de 1986, a eficiência energética voltou a ser posta de lado. Durante alguns anos não se voltou a falar do assunto. Porém, em 1988, na Universidade de Lund, Suécia, nasce, da vontade e ambição de um engenheiro e professor sueco dessa mesma universidade e de um físico teórico alemão e também professor, Wolfgang Feist, a ideia e o conceito Passivhaus.

"...descobriram que quando a carga de aquecimento não superava 10 W/m² de superfície útil era possível prover o calor necessário para manter o conforto no Inverno mediante uma ventilação controlada com recuperação de calor."[40]

Segundo Roberto Gonzalo e Rainer Vallentin, o facto do conceito ter sido desenvolvido por um físico teórico, e não por um arquitecto, elevou a confiança na validade científica do conceito Passivhaus, permitindo o seu sucesso.[41]
Sob a alçada do IWU (*Institut Wohnen und Umwelt*) e com o financiamento do governo do estado de Hesse (Alemanha), foi criada, em torno de Wolfgang Feist, uma equipa multidisciplinar internacional. Sediada na Alemanha, continuou a investigação no campo da eficiência energética, tendo como base os conhecimentos adquiridos anteriormente com os projectos escandinavos, alemães e norte americanos - testados e provados nos anos 70 e 80. Esta equipa desenvolveu e melhorou componentes de forma a anular os problemas (substanciais) das experiências anteriores.

Esses problemas consistiam em:[42]
- falta de caixilharia eficiente com corte térmico, livre de restrições a nível de dimensionamento e sem isolamentos temporários, por exemplo como acontecia em Saskatchewan ou na casa Philips, o que acabava por levar à não aceitação deste conceito;
- consciência e reconhecimento da importância da estanquidade ao ar;
- ausência de fiabilidade, simplicidade e eficiência na tecnologia usada, ou seja, ventilação mecânica com recuperador de calor.

---

[40] WASSOUF, Micheel. *Da Casa Passiva à Norma Passivhaus: a arquitectura passiva em climas quentes.* Barcelona: Gustavo Gili, 2014, p. 16

[41] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. *Passive House Design: planning and design of energy-efficient buildings.* München: Detail, 2014. p. 14

[42] http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Geschichte_Passivhaus.html - Consultado 25-08-2015

"Consider the Saskatchewan Energy Conserving Demonstration House. Or consider the Leger House in Pepperell, Mass. They fit none of the ... listed categories [of solar houses]. The essence of the new category is:

"1. Truly superb insulation. Not just thick, but clever and thorough. Excellent insulation is provided even at the most difficult places: sills, headers, foundation walls, windows, electric outlet boxes, etc.

"2. Envelope of house is practically airtight. Even on the windiest days the rate of air change is very low.

"3. No provision of extra-large thermal mass. (Down with Trombe walls! Down with water-filled drums and thick concrete floors!)

"4. No provision of extra-large south windows. Use normal number and size of south windows — say 100 square feet.

"5. No conventional furnace. Merely steal a little heat, when and if needed, from the domestic hot water system. Or use a minuscule amount of electrical heating.

"6. No conventional distribution system for such auxiliary heat. Inject the heat at one spot and let it diffuse throughout the house.

"7. No weird shape of house, no weird architecture.

"8. No big added expense. The costs of the extra insulation and extra care in construction are largely offset by the savings realized from not having huge areas of expensive Thermopane [windows], not having huge well-sealed insulating shutters for huge south windows, and not having a furnace or a big heat distribution system.

"9. The passive solar heating is very modest — almost incidental.

"10. Room humidity remains near 50 percent all winter. No need for humidifiers.

"11. In summer the house stays cool automatically. There is no tendency for the south side to become too hot — because the south window area is small and the windows are shaded by eaves.

"What name should be given to this new system? Superinsulated passive? Super-save passive? Mini-need passive? Micro-load passive? I lean toward 'micro-load passive.' Whatever it is called, it has (I predict) a big future." [43]

William Shurcliff, 1979

---

[43] http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/forgotten-pioneers-energy-efficiency - Consultado 10-03-17

Numa entrevista, Wolfgang Feist afirma: *"My work was inspired by people like William Shurcliff, who has written books on energy-efficient construction. There were important papers from the late '70s and early '80s, when guys were working on superinsulation."*[44] Provavelmente, Wolfgang Feist baseou-se numa lista publicada por Shurcliff, em 1979. Num comunicado de imprensa, enumerava 11 pontos fundamentais de uma nova tipologia, que não se enquadravam nas categorias de casas solares até então conhecidas. A lista de Shurcliff serviu de matriz ao que viria a ser a metodologia Passivhaus que, em 1991, tem a sua primeira concretização prática sob forma de quatro casas geminadas, segundo desenhos dos arquitectos Bott-Ridder-Westermeyer. Optou-se, deliberadamente, por uma construção em banda, de modo a reduzir a superfície externa para benefício do coeficiente de forma da construção. O conjunto consegue, assim, chegar a um valor de U de 0,4 W/m^2K.[45] Um dos objectos de estudo deste projecto era determinar até que ponto seria possível reduzir o consumo energético, em edifícios residenciais, através de medidas exclusivamente passivas, prescindindo, assim, de mecanismos activos adicionais sem, no entanto, reduzir a qualidade de habitabilidade e o conforto, tanto de Inverno como de Verão. O armazenamento de calor, sob a forma de isolamento térmico e recuperação, torna-se numa componente essencial para atingir esse fim. A meta era não ultrapassar 30 kWh/m^2a de consumo energético total (electricidade, confecção de alimentos, ventilação, aquecimento e água quente sanitária). As medições anuais mostraram que esse valor foi ligeiramente ultrapassado: de 1994 até 2006, o consumo fixou-se nos 33 kWh/m^2a.[46] Uma análise minuciosa e exaustiva feita ao edifício mostra que, 25 anos depois da sua construção, os componentes e o todo ainda estão a funcionar como em 1991. Ao longo dos anos, apenas foi substituída a totalidade dos vedantes das janelas e portas, tal como alguns ventiladores pertencentes à unidade de ventilação mecânica, que continua com valores de recuperação de calor superiores a 80%. A média do gasto energético dos últimos 25 anos, para o aquecimento, é de apenas 8,4 kWh/m^2, o que perfaz uma redução de 94% comparativamente com a média de consumo, na Alemanha, em 2016.[47]

---

[44] Entrevista a Wolfgang Feist em Janeiro de 2008 em http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/forgotten-pioneers-energy-efficiency - Consultado 10-03-17

[45] FINGERLING, Anne. op.cit., p. 58

[46] https://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/Aufsatz_Passivhaus_1997.htm - Consultado 10-09-16

[47] FEIST, Wolfgang; Ebel, Witta; Peper, Søren; Hasper, Wolfgang; Pfluger, Rainer e Kirchmair, Martin. *25 Jahre Passivhaus Darmstadt Kranichstein.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016, p. 8



10. *Alçado Sul da Passivhaus Darmstadt-Kranichstein*



11. *Alçado Norte da Passivhaus Darmstadt-Kranichstein*

1996
PASSIVHAUS INSTITUT E WOLFGANG FEIST

2.1.5

O programa de monitorização das casas em Kranichstein, Darmstadt, obteve dados que corroboravam os cálculos da simulação. Os dados foram obtidos para uma utilização diária normal do quotidiano das famílias que nelas habitam. Ficou provado ser possível construir com padrões de conforto elevados, aliados a consumos energéticos muito reduzidos. O projecto ganhou notoriedade e despertou o interesse de cidadãos comuns, assim como de arquitectos e outros intervenientes. Restava apenas reduzir os custos para o conceito poder chegar às massas, uma vez que o público em geral dificilmente estaria disposto a pagar (muito) mais por um novo conceito construtivo que, à altura, ainda não reunia consenso. Era preciso agilizar o mercado e criar condição favoráveis à oferta e procura de casas energicamente eficientes. Tomou-se, então, como exemplo, a Suécia, onde, em 1991, se verificou o aumento das chamadas *Low Energy Houses* por força de uma nova lei introduzida pelo governo sueco que definia um tecto máximo de 70 kWh/m²a para aquecimento.[48] Anos depois, também na Alemanha, surge a vontade política de acelerar a construção de edifícios energicamente eficientes.

"The interaction of the Thermal Insulation regulation in 1995 accelerated the development in the German building industry towards energy efficiency. Whereas the professors of architecture were still criticizing the requirements of the Thermal Insulation Regulation as "enforced insulation", triple thermal insulation glazing and high quality insulation systems suddenly appeared on the market."[49]

A agilização política e o grupo de trabalho criado para este propósito, *Kostengünstige Passivhäuser* (em português: casas Passivhaus a custo controlado), possibilitaram a redução dos custos associados a uma construção eficiente do ponto de vista energético e, consequentemente, impulsionaram a expansão e progressão do conceito. Foi, assim, fundado, em 1996, o Instituto Passivhaus (PHI na sigla alemã). Trata-se de um instituto de pesquisa independente, sob a direção do Prof. Dr. Wolfgang Feist, que tem como função primordial a investigação e desenvolvimento no campo da eficiência energética e que tem sido, até à data, o agente principal do desenvolvimento do conceito e componentes Passivhaus, bem como da sua divulgação pelo mundo.

---

[48] FINGERLING, Anne. op. cit., p. 20

[49] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 14



12. *Vista Sul da primeira Passivhaus portuguesa, 2012*

2012
ASSOCIAÇÃO PASSIVHAUS PORTUGAL - PHPT

2.1.6

Pela proximidade geográfica com a Alemanha, as primeiras construções Passivhaus acontecem no Centro e Norte da Europa. Inicialmente, apenas projectos-piloto de dimensões reduzidas e, na sua maioria, patrocinados por entidades públicas. Com o apoio da União Europeia foram criados vários programas de implementação e divulgação do conceito, de modo a eliminar a barreira do desconhecimento entre arquitectos, engenheiros, empreiteiros, investidores e demais intervenientes no processo construtivo. Os números comprovam o sucesso: em 2014 o PHI estimava a existência de 50000[50] habitações Passivhaus em todo o mundo.

O primeiro desses programas foi o projecto CEPHEUS (*Cost Efficient Passive Houses as European Standard*) que previa a construção de 250 fogos de habitação em cinco países diferentes e teve início em 1998.[51] Na sequência do CEPHEUS, surgiu em 2005 o projecto PEP (*Promotion of European Passive Houses*)[52] cujo objectivo passava por promover, nos países do Centro e Norte da Europa, o conceito e por disseminar as experiências adquiridas nos projectos anteriores.[53] Em simultâneo, decorria o projecto *Passive-On,* direcionado à promoção e implementação das casas Passivhaus no Sul da Europa.[54] Outro contributo fundamental para a adaptação do conceito no Sul da Europa, em especial em Portugal, foi o estudo[55] realizado por Jürgen Schnieders. Deste modo, duas décadas após a Passivhaus (PH) pioneira, surge, por iniciativa do PHI e de uma empresa portuguesa, o objectivo de construir a primeira PH, em Portugal. Desde 2012 a "Associação Passivhaus Portugal - PHPT" divulga e promove o conceito.

"The strategy was defined: build the First Passive house; monitor its performance; create the Portuguese Organization to implement and develop the standard in Portugal."[56]

---

[50] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. Applying the passive house concept to a social housing project in Austria – evaluation of the indoor environment based on long-term measurements and user surveys. Advances in Building Energy Research, Vol. 10, issue 1, 2016, p. 126

[51] GAVIÃO, João Rui Santos Pires. *Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal.* Tese de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Braga: Universidade do Minho, 2012, p. 34

[52] Idem, p. 35

[53] STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 106

[54] PASSIVE-ON. *A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético.* Milão: Passive-On Project, 2007

[55] SCHNIEDERS, Jürgen. *Passive Houses in South West Europe: A quantitative investigation of some passive and active space conditioning technicuss for highly energy efficient dwellings in the South West European region.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 3rd edition, 2016

[56]MARCELINO, João e Gavião, João. *The Passive House in Portugal: encouraging its spread in South West Europe*. Ílhavo: Homegrid, 2013

2.2

CONCEITO

"Passam além do oficio de arquitecto, tornando-se matemáticos, aqueles a quem a natureza atribuiu inteligência, agudeza de espírito e memória, de modo a poderem ter um conhecimento profundo de geometria, astronomia, música e outras ciências. Eles poderão facilmente argumentar acerca daquelas disciplinas, porque estão armados com os dardos de muitos saberes."

Vitrúvio

OBJECTIVO DO CONCEITO

2.2.1

O consumo energético de um edifício, na sua fase de utilização, é determinado por vários factores, dos quais o aquecimento e o arrefecimento se destacam por absorver a maior parte dos recursos e serem, também, os que mais poluem o meio ambiente.[57] O conceito primordial da Passivhaus, de acordo com Roberto Gonzalo e Rainer Vallentin[58], resume-se ao resultado e ao conforto que podem ser obtidos pelo consumo dos recursos, uma vez que não existe interesse no desperdício de energia como um fim em si mesmo. Trata-se de um conceito baseado num método científico e objectivo, que se caracteriza pela sua consistência e transparência. O objectivo principal é o desempenho energético do edificado. Como este é alcançado, é propositadamente deixado ao critério do arquitecto. Não existe nenhuma matriz pré-determinada sobre como fazê-lo. É, portanto, um conceito que não quer interferir, nem influenciar, a linguagem arquitectónica. Contudo, o custo e o esforço despendidos para se alcançar esse objectivo, dependem - e muito - das condicionantes impostas pela arquitectura.

"The concept is designed to give architects a high degree of flexibility as to how target values can be reached (...) it is precisely this exploration of possibilities that makes the architects' contribution towards the further development of the Passive House standard so substantive."[59]

Como refere Javier Gauna[60], o edifício que não tenha como ponto de partida uma boa envolvente, bem isolada e com um controlo rigoroso das pontes térmicas e das infiltrações de ar indesejadas, nascerá obsoleto. A este rigor, prendem-se outros factores básicos do domínio da arquitectura solar passiva que, por si só, já deveriam ser considerados em qualquer projecto de arquitectura e que, sem os quais, será sempre mais difícil atingir os objectivos de um edifício eficiente.

---

[57] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 21

[58] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 8

[59] Idem, p. 6

[60] GAUNA, Javier Crespo. *Los edificios passivos*. Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 2. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 11

"The Passive House concept is designed to implement this efficiency standard consequently in the proposal, planning, development and operation of buildings. For economic and practical reasons, it begins with components that are generally required in every building anyway. These are further developed in such way that, in relation to the small additional constructional and technical effort required, superior results and comfort are achieved in total."[61]

Assim, defende Steinmüller, melhorando a envolvente para lá de um custo benefício mínimo, será possível simplificar os sistemas activos de um edifício, de modo a que seja obtido um novo custo benefício com uma exigência de aquecimento inferior. Isto é, reduzindo as perdas de calor do edifício, também a necessidade de aquecimento do mesmo será reduzida a tal ponto que deixa de ser necessário um sistema de aquecimento tradicional.[62] De facto, existe um custo superior no tratamento da envolvente e da estanquidade da construção, mas que acaba por ser reduzido - ou até mesmo anulado - pela inexistência de medidas activas.

Em suma, o objectivo do conceito Passivhaus é baixar, com custos controlados, o consumo energético, sem perder qualidade e conforto, independentemente da arquitectura e do clima em que se insere o edifício.

---

[61] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 8

[62] STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 42

2.2.2 DEFINIÇÃO DA NORMA

A norma Passivhaus determina um padrão energético que se caracteriza pelo conforto elevado e pelo consumo energético reduzido. A definição formal da norma, segundo o fundador do Instituto Passivhaus Prof. Dr. Wolfgang Feist, é a seguinte:

"A Passive House is a building, for which thermal comfort (ISO 7730) can be achieved solely by post-heating or post-cooling of the fresh air mass, which is required to fulfill sufficient indoor air quality conditions (DIN 1946) - without a need for re-circulated air."[63]

Esta é uma definição puramente funcional e que se aplica a qualquer tipo de clima. É, portanto, uma definição universal que não depende das condições climáticas externas.[64] Apenas determina um fluxo de ar mínimo para garantir a qualidade e salubridade do ar e características que correspondam ao mais alto nível de conforto térmico.

ISO 7730

A ISO 7730 baseia-se nas pesquisas de Fanger[65] e é uma norma internacional que vem sendo aperfeiçoada desde os anos 80, datando a última revisão do ano de 2005. Divide-se em três categorias de conforto térmico: A, B e C. Este conforto exige o cumprimento da categoria A, a mais exigente da ISO 7730. Esta classificação máxima prevê um PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*)[66] de apenas 6% e determina uma série de características, tais como: um limite de diferença da temperatura vertical entre piso e tecto não superior a 3ºC; um limite mínimo e máximo da temperatura radiante da superfície do piso; um valor máximo para a diferença da temperatura radiante assimétrica em que a diferença entre as superfícies internas das vedações térmicas (paredes, janelas, etc.) e a temperatura ambiente não pode ser superior a 4,2ºC; e, por fim, um limite da temperatura ambiente para o Inverno (≥ 21ºC) e para o Verão (≤ 25,5ºC).[67][68]

---

[63] STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 43

[64] http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/Geschichte_Passivhaus.html - Consultado 11-09-15

[65] ALFONSO, Jesús Soto. *La ventilación mecánica con recuperación de calor: la garantía de calidad del aire interior.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 9. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 135

[66] Em português: percentagem prevista de insatisfação

[67] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 33, 69, 70, 76

[68] VOLTANI, Eder R. e Labaki, Lucila C. *Revisão da última versão da norma ISO 7730 (2005): síntese bibliográfica dos trabalhos mais relevantes.* ENTAC, 2008

DIN 1946

Segundo a norma DIN 1946, o volume mínimo de ar fresco necessário para garantir a higiene e salubridade de um espaço habitacional é de 30 m^3/h por pessoa. Este fluxo de ventilação equivale a 0,3 troca de ar por hora - aproximadamente 30% do volume total - e é 10 vezes inferior ao fluxo de um ar condicionado.[69] Esse volume mínimo de ar fresco pode ser aquecido, através de recuperação de calor ou de uma resistência eléctrica, de modo a garantir a temperatura conforto na habitação. Porém, a carga de aquecimento através do ar é reduzida, tendo um limite de aproximadamente 10 W/m^2.[70]

Porquê apenas $10W/m^2$? A explicação é a seguinte:[71]
"O ar tem uma capacidade energética de 0,33 Wh/m^3K (à pressão normal e a cerca de 21ºC). O ar fresco pode ser aquecido por um máximo de 30K (ou seja, o ar não pode ser aquecido a uma temperatura superior a 55ºC, caso contrário, as partículas no ar queimar-se-iam, resultando num risco de saúde para os habitantes[72]). *Assim: $30m^3/h/pessoa * 0.33Wh/m^3K * 30K = 300 W/pessoa.$"*

Portanto, um sistema de ventilação tem capacidade para disponibilizar 300 watts por pessoa. Assumindo uma densidade de ocupação de, por exemplo, 30 m^2/pessoa, temos 300 W/pessoa : 30m^2/pessoa = 10 W/m^2.

Teoricamente, este valor pode mudar conforme a densidade de ocupação. Se tivermos uma ocupação de 20m^2/pessoa, poderíamos ter uma carga teórica de 15 W/m^2. Ou, tomando o valor médio da densidade de ocupação em Portugal[73], seriam necessários apenas 7 W/m^2. Assim, este valor (W/m^2) representa uma unidade de potência necessária, no dia mais severo do ano, para manter os espaços à temperatura ambiente definida pela norma PH e nunca poderá ser superior a 10 W/m^2.[74] Em termos práticos, isto significa que o grau de exigência implícito a todos os elementos que compõem a vedação térmica, para atingir os critérios rigorosos da norma, depende da zona climática onde esta se insere. Por exemplo, em Berlim terá de ser mais bem isolada, em Lisboa menos.

---

[69] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 16, 69

[70] STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 44

[71] Traduzido do Alemão em FEIST, Wolfgang. *Heizlast in Passivhäusern - Validierung durch Messungen.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2005, p. 4

[72] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 20

[73] INE, 2011 - À data dos Censos, o INE apurou 2.52 residentes por alojamentos familiares clássicos de residência habitual e que, a superfície média útil (m^2) desses mesmos alojamentos é igual a 109,09m^2. 2.52 pessoas para 109,09m^2 = 1 pessoa para 43,29m^2.

[74] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 70

CRITÉRIOS DA NORMA

2.2.3

Apesar de se tratar de um conceito em constante evolução, independente das condições climáticas (as leis da física são as mesmas em qualquer parte do mundo), existem alguns critérios, comuns a todas as Passivhaus, que devem ser cumpridos, de modo a tornar viável o aquecimento e arrefecimento apenas através do ar. Assim, é possível prescindir de sistemas activos tradicionais, os quais representam a maior fonte de consumo energético e, respectivamente, de poluição.

Os critérios Passivhaus fundamentais:[75][76]

1. Necessidade anual útil de aquecimento: ≤ 15 kWh/m²a.

2. Necessidade anual útil de arrefecimento: ≤ 15 kWh/m²a.
   A este valor acresce um limite variável para desumidificação dependente de dados climáticos, fluxo de ar necessário e fontes internas de calor/humidade.

3. Em alternativa aos valores dos dois pontos anteriores, e para edifícios com aquecimento e refrigeração apenas por ar, a carga de aquecimento ou arrefecimento tem de ser: ≤ 10 W/m².

4. Necessidade anual de energia primária: ≤ 120 kWh/m²a.
   O valor engloba energia para aquecimento, arrefecimento, desumidificação, água quente sanitária e electricidade para luz/aparelhos electrónicos.

5. Estanquidade ao ar n_{50}: ≤ 0.6 h^{-1}.
   Isto significa que com uma diferença de pressão de 50 Pascal, não pode haver mais de 0.6 renovações do volume de ar por hora dentro do edifício.

6. Temperatura no interior do edifício de: mín. 20ºC e máx. 25ºC (com 12 g/kg de humidade absoluta do ar).

7. Percentagem anual em que a temperatura pode exceder os 25ºC quando não há meios de arrefecimento activos: ≤ 10%.

8. Percentagem anual em que a humidade absoluta do ar pode ser superior a 12 g/kg quando não há meios de refrigeração activos: ≤ 20%.

9. Temperaturas superficiais no interior: > 17ºC.

---

[75] PHI. *Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard*. Darmstadt: Passivhaus Institut, Version 9f, 2016, pp. 5-17

[76] BENGOA, Alfredo e Nitsch, Bernd. *Los primeros hitos a tener en cuenta.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 3. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, pp. 28-35

Em Abril de 2015, o Instituto Passivhaus consolidou a norma com a introdução de três novas classes de desempenho. A alteração prende-se, por um lado, com a necessidade de incorporar e promover a produção de energia renovável nos edifícios PH. Por outro lado, actualizou-se o limite de energia primária que já vinha sendo considerado pouco exigente por vários autores.[77][78][79] Parece contraditório, hoje em dia, considerar sustentáveis valores de 120 kWh/m²a de energia primária quando já em 1991, a primeira PH conseguia alcançar valores na ordem dos 60 kWh/m²a.

Novas classes de desempenho Passivhaus:[80]

Classic: Necessidade anual de energia primária: ≤ 60 kWh/m²a.

Plus: Necessidade anual de energia primária: ≤ 45 kWh/m²a.
Produção de energia primária renovável: ≥ 60 kWh/m²a.

Premium: Necessidade anual de energia primária: ≤ 30 kWh/m²a.
Produção de energia renovável: ≥ 120 kWh/m²a.

Contudo, estes valores actualizados, por enquanto, só se aplicam aos países de língua inglesa e germânica. Em Portugal, segundo o Instituto Passivhaus, as mesmas só entram em vigor aquando da publicação do PHPP 9 em português. Até lá, (ainda) são válidos os critérios anteriores.[81]

---

77 BENGOA, Alfredo e Nitsch, Bernd. op. cit., p. 34

78 STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 44

79 GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 21

80 PHI. *Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard.* Darmstadt: Passivhaus Institut, Version 9f, 2016, p. 5

81 Idem, p. 4



13. *Classes de desempenho Passivhaus*

Todos os requisitos listados anteriormente dizem respeito à construção de edificações novas. Nas situações em que não seja possível - por vários motivos - atingir os valores rigorosos da norma Passivhaus, o PHI prevê três classes de desempenho menos exigentes no que diz respeito ao limite de consumo energético. No entanto, o conforto e a respectiva qualidade, mantêm-se.

São elas:[82]

EnerPHit: Aplica-se às situações de reabilitação, restauro ou modernização em que, seja pela vertente técnica, económica ou de outras condicionantes, não seja possível cumprir com os requisitos da norma Passivhaus.

EnerPHit^{+i}: Para os casos acima citados que têm mais de 25% da área da envolvente opaca isolada pelo interior.

PHI-Energiesparhaus: Destinada aos edifícios que foram construídos como cumpridores da norma Passivhaus mas que pelos mais diversos motivos não a conseguem atingir. Há casos em que depois da obra estar concluída, o edifício não cumpre os níveis de estanquidade devido a erros de execução, etc. É para estes casos que serve esta classe de desempenho.

As classes de desempenho EnerPHit e EnerPHit^{+i}, estão ainda sujeitas a uma divisão por clima - pré-estabelecida pelo Instituto - que determina o grau de exigência dos componentes e o limite da necessidade útil de aquecimento. Ou seja, o grau de exigência varia conforme a zona climática em que se inserir o edifício merecedor da intervenção. São sete divisões climáticas: Ártico, Frio, Frio Moderado, Morno Moderado, Morno, Quente e Muito Quente. Para as três mais quentes não existe a classe EnerPHit^{+i}. Como Portugal está inserido na terceira região climática (morno) mais quente, apenas existe a classe energética EnerPHit.

[82] PHI. *Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard.* Darmstadt: Passivhaus Institut, Version 9f, 2016, p. 28

"Es fácil de usar en tanto que es una aplicación Excel, pero necesita un mínimo de conocimientos del funcionamento energético de un edificio."[83]

PHPP: CERTIFICAÇÃO

2.2.4

O conceito Passivhaus, como visto anteriormente, baseia-se em requisitos energéticos bem definidos. Para averiguar o cumprimento desses requisitos é utilizada a ferramenta PHPP, especialmente desenvolvida pelo Instituto Passivhaus. O interface tem vindo a ser continuamente simplificado permitindo a utilização a um espectro mais alargado de profissionais. O acrónimo PHPP significa *PassivHaus Projektierungs Paket* que pode ser traduzido para português da seguinte forma: Ferramenta de Projecto Passivhaus. É uma ferramenta de cálculo auxiliar ao projecto e fundamental no cálculo do balanço energético e da certificação do edifício. A ferramenta que se apresenta em formato Excel com 34 folhas de cálculo[84], relacionadas entre si, não utiliza nenhum edifício/projecto de referência para efeitos de cálculo como acontece com outras ferramentas. Como diz o engenheiro Sergio Balsategui: *"Se busca un valor absoluto, los 15 kWh/m²a en calefacción y 120 kWh/m²a de energía primaria total."*[85]

O PHPP pode ser utilizado para qualquer projecto e em qualquer fase, no entanto, para tirar o maior proveito da ferramenta, deve ser utilizado desde o início sem, no entanto, nunca projectar em função da folha de cálculo. Esta deve ser vista como um complemento, e não imperativa de absolutismos condicionantes da arquitectura. Só os edifícios que cumpram todos os requisitos, serão objecto de certificação. Assim sendo, há dois momentos de certificação: o primeiro ocorre na fase de projecto e o segundo no fim da obra estar concluída. Apenas o PHI ou outra entidade credenciada poderá dar pareceres. O PHI também certifica componentes, produtos e sistemas construtivos como caixilharias, portas, lareiras, sistemas de ventilação, etc. Não há obrigatoriedade quanto à utilização de componentes certificados, no entanto, o uso dos mesmos, garante um produto previamente testado e avaliado, e de elevada qualidade, conforme os padrões Passivhaus. Estes elementos já certificados pelo Instituto, encontram-se, à semelhança dos dados climatéricos, todos disponíveis, em jeito de base de dados, na própria folha de cálculo. Assim, na escolha destes componentes certificados, deixa de ser necessário introduzir os dados característicos de todos os componentes construtivos manualmente.

---

[83] CLUA, Maria Hernández. *¿Será Passivhaus? ¿Será casa pasiva?* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 10. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 151

[84] CLUA, Maria Hernández. op. cit., p. 143

[85] BALSATEGUI, Sergio Díaz de Garayo. *Qué son los Puentes Térmicos y cómo se evitan.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 5. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 75

Segundo João Gavião, *"A introdução dos dados e a interpretação dos resultados é em tudo semelhante à folha de cálculo do RCCTE."*[86] Assim, para obter os valores dos critérios anteriormente listados, os dados do projecto a analisar devem ser introduzidos na seguinte sequência:[87][88]

- dados climáticos relativos ao local;
- informação relativa às superfícies da envolvente opaca;
- valores de U da envolvente opaca;
- informação relativa às janelas como área, tipo, sombreamento, etc.;
- dados relativos à ventilação para obter os valores estimados;
- consultar a folha de cálculo *Heating* (necessidades de aquecimento) e *Heating Load* (carga de aquecimento);
- determinar condicionantes da estação de Verão e dos sombreamentos;
- características relativas aos equipamentos e electrodomésticos utilizados;
- determinar necessidades de energia primária.

Na introdução destes valores é preciso ter atenção e rigor pois um erro numa casa decimal, por exemplo, poderá ser suficiente para obter resultados erróneos. Deste modo, é fundamental que os valores correspondam aos valores do projecto e que estes, posteriormente, também aos valores do edificado construído. Adivinha-se assim uma importância extrema na execução rigorosa da obra pois só assim será possível conseguir chegar aos valores previamente simulados através da ferramenta de cálculo.

---

[86] GAVIÃO, João Rui Santos Pires. op. cit., p. 51

[87] CLUA, Maria Hernández. op. cit., p. 145

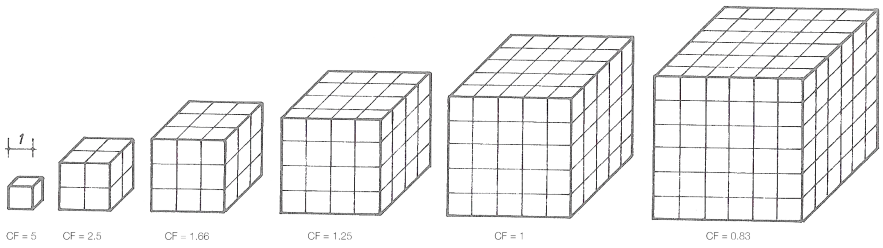
[88] GAVIÃO, João Rui Santos Pires. op. cit., p. 50

2.3

Envolvente Opaca

"Una vez fui invitado por un arquitecto norteamericano a su casa de Connecticut. Este es un lugar muy bello, posee un terreno grande y la casa está en medio de un hermoso bosque. No existe ningún vecino y sin embargo, rodeado por cuatro paredes de cristal no sentia privacidad, ni intimidad. Existe al centro de la casa un cuarto redondo totalmente cerrado que es el baño y vestidor. Pregunté a las personas que fueron con nosotros en qué lugar de la casa se sentían mejor. todos escogiera la sala de baño o el vestidor. Esto se debe a que aun sin estar expuestos a la vista de los demás. necesitamos el abrigo y la seguridad que nos proporcionan los muros. Ellos no sólo nos protegen fisicamente, sino que nos proporcionan un abrigo emocional."

Luís Barragan



14. *Coeficientes de forma*

FORMA

2.3.1

A norma Passivhaus é exequível em qualquer tipo de edifício independentemente da arquitectura, forma e geometria. No entanto, a forma de um edifício, assim como as suas proporções, saliências e reentrâncias, influenciam directamente a necessidade energética para climatização, ventilação e iluminação. Há noções a ter em consideração no que diz respeito à geometria sem nunca, no entanto, as tomar por imperativas prejudicando a interacção do objecto arquitectónico com a sua envolvente e, consequentemente, resultando numa arquitectura desprovida de qualidade. Uma forma optimizada é aquela que menor área da envolvente opaca expõe ao exterior, permitindo assim reduzir a necessidade de climatização de um edifício. Quanto menos superfície em contacto com o exterior uma forma tiver, menor é a área sujeita a perdas e a ganhos de calor. Os edifícios em banda com apenas duas fachadas em contacto com o exterior, como é o caso da primeira PH em Darmstadt - Kranichstein, configuram a forma mais eficiente. Seguindo esse raciocínio, um apartamento necessita de menos energia do que uma moradia em banda e esta menos do que uma moradia geminada que, por sua vez, necessita de menos energia do que uma moradia destacada.[89]

Dado isto: *"Para se ter uma ideia da relação das perdas térmicas, que são directamente proporcionais à extensão da superfície exterior, define-se um coeficiente de forma do edifício como o quociente da sua superfície exterior (excluindo as faces em contacto com o solo ou outros edifícios) pelo volume habitável."*[90]

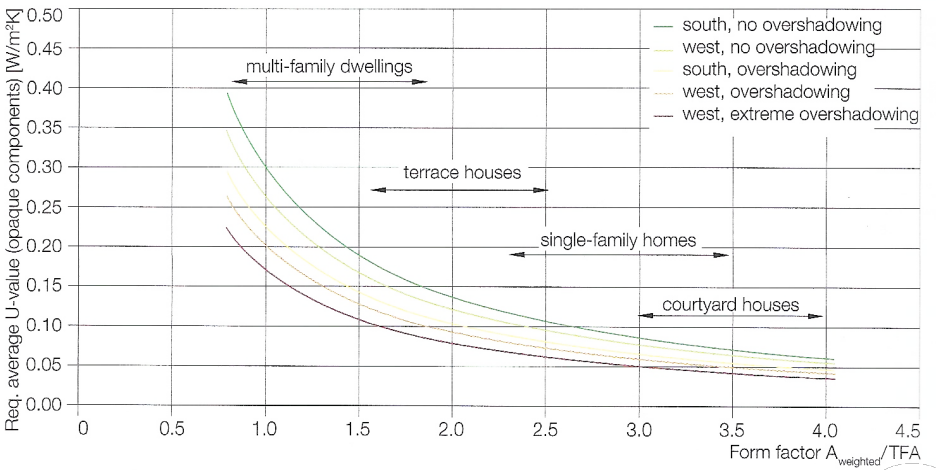
Por exemplo, um cubo de 5 metros tem um CF (coeficiente de forma) de 1. Um cubo de 10 metros tem um CF de 0,5 e, por fim, um de 20 metros tem um CF de 0,25. Assim, o coeficiente de forma (obtido pelo cálculo A_e/V) diminui com o aumento do volume de um edifício. Um coeficiente mais baixo é equivalente a menores necessidades energéticas. Porém, um estudo de 2014[91] indica que, apesar da diminuição do valor do coeficiente de forma ser directamente proporcional à redução das perdas térmicas, a diminuição da área exposta ao exterior, necessária para alcançar esses valores, impossibilita uma iluminação e ventilação natural correcta de todos os espaços.

---

[89] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 58

[90] MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* Lisboa: Argumentum, 2ª Edição, 2010, p. 40

[91] MEISHUN, Lin; Yiqun, Pan; Weiding, Long; Weizhen, Chen. *Influence of Building Shape Coefficient on Energy Consumption of Office Buildings in Hot-Summer-and-Cold-Winter Area of China.* ASIM IBPSA, Asia Conference, 2014, p. 728-735



15. *Valor de U das superfícies opacas de acordo com coeficiente de forma, orientação e sombreamento para cumprir a norma Passivhaus*

Por isso, para os edifícios que ultrapassem os 12 metros de profundidade (espaços que se situem num perímetro de 6 metros da fachada ou que não tenham uma profundidade relativamente à fachada superior a duas vezes o pé-direito e que, portanto, permitem uma correcta iluminação e ventilação), a necessidade energética combinada de aquecimento/arrefecimento e iluminação supera a de um edifício com um coeficiente de forma superior que consegue garantir uma boa iluminação e ventilação natural. Para se conseguir obter o melhor proveito do factor de forma, os edifícios deveriam ter uma profundidade entre 7 e 15 metros, 40 a 60 metros de comprimento e 4 pisos, sendo que apenas um piso é desfavorável (mais área de cobertura em contacto com o exterior) e a partir de 4 pisos os ganhos são imperceptíveis.[92] Ora, se em climas frios, interessa ter um coeficiente de forma baixo, isto é, um edifício mais compacto, já nos climas muito quentes, segundo Claudio Vásquez, é recomendável um valor elevado (CF > 1,2), ou seja, uma forma mais fragmentada, para permitir uma maior dissipação do calor.[93]

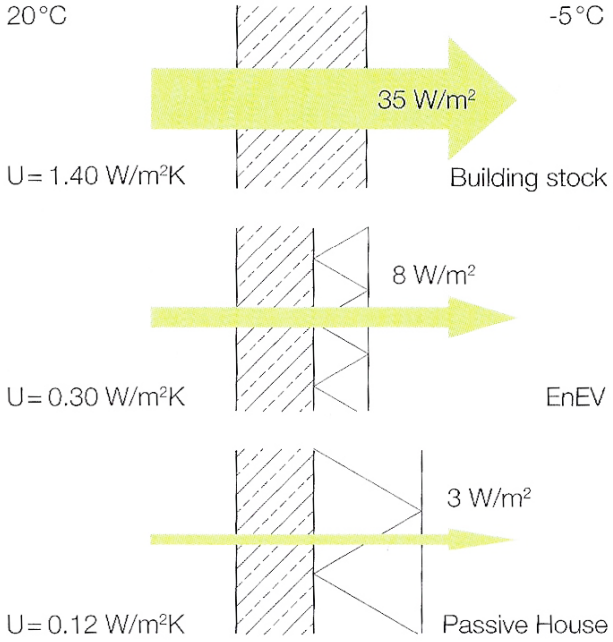
Posto isto, uma Passivhaus tem de atingir os pré-requisitos definidos pela norma, independentemente do factor de forma. Em termos práticos, um edifício com uma geometria menos favorável implica um maior esforço material - e financeiro - para atingir o mesmo requisito energético. Ou seja, existe um custo redobrado devido ao aumento em espessura e em área do isolamento térmico, pois um CF elevado equivale a mais área da envolvente exposta. Assim, os valores de U da envolvente opaca necessários para alcançar a norma PH, numa construção no centro da Europa, podem variar consoante o coeficiente de forma, desde 0,40 até 0,08.[94] É, portanto, possível ter um edifício 5 vezes menos isolado e com o mesmo desempenho energético desde que tenha uma forma compacta.

---

[92] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 36

[93] VASQUEZ, Claudio. *El Diseño Del Sistema De Cerramiento*. ARQ (Santiago), Santiago, n. 82, 2012, p. 102-107

[94] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer, op. cit., p. 72
Os autores consideram outro método de cálculo para apurar o coeficiente de forma, em que $cf = A_{e\ ponderada} / A_{interior\ útil}$ sendo que a área da envolvente em contacto com o solo, tem um valor pré-definido de 0.5 (a perda energética para o solo é menor do que para a atmosfera). Este coeficiente, é considerado pelos autores mais fidedigno e proporcional às perdas energéticas da envolvente opaca.



16. *Condução de calor conforme o coeficientes de transmissão térmica e a diferença de temperatura interior/exterior*

ISOLAMENTO TÉRMICO

2.3.2

Uma boa envolvente opaca para além de permear vento, chuva e humidade, também deve reduzir os efeitos do clima nos habitantes e sistemas de energia.[95] Por isto, o tratamento da envolvente opaca representa o maior desafio na construção de uma Passivhaus sem a qual não seria possível atingir os níveis de conforto e o baixo consumo de energia. Assim, a primeira abordagem para tornar possível a redução do consumo energético em edifícios passa pela utilização de medidas restritivas de perdas térmicas. Só posteriormente faz sentido pensar-se em utilizar sistemas activos ou passivos como, por exemplo, a energia solar como fonte de calor.[96]

"What did we learn? Conservation is much less expensive than solar. For every dollar we spent on reducing heat loss from the house, with a better air barrier and more insulation, we saved at least 10 dollars on the size of solar collectors and equipment needed to achieve the same thing."[97]

A envolvente opaca caracteriza-se pelo coeficiente de transmissão térmica - valor de U -, descrito pela unidade W/m²K.

"É a quantidade de calor que numa hora passa através de um elemento de construção de 1m² de superficie quando as temperaturas dos ambientes que o limitam (ar interior ou exterior) diferem de 1ºC."[98]

Segundo o projecto *Passive-On*[99], o isolamento típico para uma PH em Lisboa ronda os 0,23 e 0,32 W/m²K para cobertura e para paredes exteriores, respectivamente. Significa isto que um metro quadrado desse elemento construtivo deixa passar 0,23 W por hora pela cobertura e 0,32 W por hora pelas paredes exteriores, quando há uma diferença de temperatura interior/exterior de 1ºC. Ou seja, quanto maior a diferença de temperatura do interior para o exterior, também maior é a transmissão térmica. Deste modo, quanto maior a amplitude térmica entre interior e exterior, mais se sentem os efeitos do isolamento. À medida que a temperatura exterior igualar a interior, o isolamento perde o seu propósito e torna-se supérfluo.

---

[95] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 61

[96] FINGERLING, Anne. op. cit., p. 17, 59

[97] Harold Orr em https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review/poineer_award/saskatchewan_conservation_house - Consultado 20-01-16

[98] MOITA, Francisco. op. cit., p. 109

[99] PASSIVE-ON. *A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético.* Milão: Passive-On Project, 2007, p. 17

Tab.4 *Coeficientes de transmissão térmica, Portugal vs. Europa*

U (W/m²K)	EU 28 2014 média	PORTUGAL 2014 média	PORTUGAL 2016 máximos por lei
Envolvente do Edifício	1,69	2,45	1,13
Paredes	1,13	1,40	0,54
Pavimentos	1,15	1,90	0,62
Coberturas	1,09	2,50	0,55
Janelas	3,39	4,00	2,8

Em Portugal, com a introdução do primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), em 1991, o isolamento térmico passa à obrigatoriedade no sector da construção.[100] Os dados da Comissão Europeia demonstram que o parque habitacional português tem um dos piores desempenhos a nível europeu (EU 28). Este facto demonstra que o grau de exigência, relativamente à envolvente das edificações, não foi suficiente. Durante largos anos negligenciou-se a importância das coberturas das casas portuguesas. Passados 25 anos, em 2016, o RCCTE prevê já coeficientes de transmissão térmica mais rigorosos. Ainda assim, continuam a ser os mais elevados da EU.

[100] TIRONE, Livia e Nunes, Ken. *Construção Sustentável: soluções para uma prosperidade renovável.* Sintra: Tirone Nunes, SA, 3ª Edição, 2010, p. 156

"Uno de los principios básicos del estándar Passivhaus es conseguir que sus edificios funcionen de forma pasiva - como un termo - conservando el calor o el frío gracias al aislamiento térmico, a diferencia de un edificio convencional que emplearía sistemas activos para mantener el calor - como una cafetera - que utiliza una resistencia eléctrica."[101]

Existem, assim, distintas abordagens entre diferentes regiões climáticas para conservar o calor ou o frio dentro do espaço habitacional. Enquanto uma PH no centro ou Norte da Europa tem de ter entre 25 a 40 cm de isolamento, nos países do Sul da Europa, 5 a 25 cm será suficiente segundo M. Wassouf.[102] O próprio instituto Passivhaus, a título de referência, exemplifica que, na cidade do Porto, uma Passivhaus não precisa de ter mais de 10 cm de isolamento térmico.[103] Já para Helsínquia são precisos quase 60cm.[104] Esta abordagem também se aplica às diferentes regiões do território nacional. Os níveis de isolamento não poderão ser os mesmos entre cidades como, por exemplo, Bragança e Faro, que apresentam uma temperatura média de 13,1 e 18,9ºC, respectivamente.[105] Assim, o objectivo do isolamento térmico consiste em restringir a condução de calor através dos elementos que compõem o perímetro do edifício (paredes, pavimentos, coberturas, elementos estruturais), impedindo assim, no Inverno, que o calor se dissipe para o exterior através desses mesmos elementos. No Verão, o isolamento térmico funciona no sentido inverso, impedindo a condução do calor externo para o interior da edificação. As vantagens na estação fria são indiscutíveis e consensuais. Já nos climas mais amenos ou quentes, como é o caso de Portugal, o isolamento, muitas vezes, ainda é visto como um problema e não como uma solução. A ideia de que um edifício muito bem isolado tem um desempenho térmico negativo no Verão, apenas é verdadeira caso haja ganhos solares excessivos e se verifique a inexistência de ventilação nocturna. Nesse caso, o isolamento representa um problema, pois não permite que o edifício dissipe naturalmente a energia acumulada ao longo do dia.

---

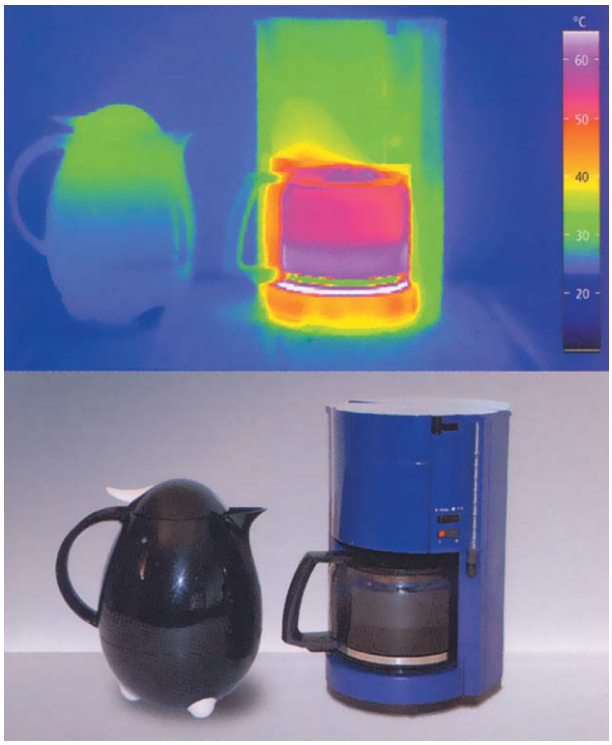
[101] ANTÓN, Nuria Díaz e Vogt, Anne. *La Envolvente Opaca y el Aislamiento: minimizar pérdidads.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 4. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 45

[102] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 33

[103] Caso haja um sistema de ventilação com capacidades superiores a 60% de recuperação de calor.

[104] FEIST, Wolfgang. *First Steps: What Can be a Passive House in Your Region with Your Climate?*. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2005, p. 7

[105] Temperatura média anual do ar referente ao ano de 2016. Fonte: PORDATA - Consultado 10-04-17



17. *Termografia de um mecanismo passivo vs. activo*

Porém, nas construções que têm ganhos solares conscientemente controlados no período de arrefecimento e uma eficiente ventilação nocturna, o isolamento térmico, aplicado de forma contínua pelo exterior[106][107][108], melhora o desempenho energético, pois evita que as paredes estejam em contacto directo com a fonte de calor.[109] Deste modo, o equilíbrio da temperatura operativa no interior do edifício não será negativamente afectado. É, assim, fundamental ter a envolvente opaca bem isolada em todos os climas.

No que diz respeito à cobertura - que por si só é o elemento construtivo que mais contribui com ganhos (no Verão) e perdas (no Inverno) de calor - esta deve ter sempre mais isolamento do que as restantes superfícies opacas, tanto em climas quentes como frios.

Os pavimentos térreos também têm de ser isolados, pois ocorrem também perdas térmicas para o terreno, *"ainda que de forma diferente das que se efectuam para o meio atmosférico: porque no terreno as amplitudes térmicas são menores, as perdas térmicas absolutas também o são, mas em contrapartida, são mais constantes (dia e noite)."*[110] É, portanto, essencial isolar os pavimentos nos climas mais frios. Já nos climas mais quentes, quando existe necessidade de arrefecimento, deve ser isolada apenas uma faixa de 1m do pavimento no perímetro das paredes exteriores, de modo a possibilitar a libertação de calor pelo solo no Verão[111] sem, no entanto, haver uma diferença de amplitude térmica entre o pavimento e o tecto superior a 3ºC como é definido pela norma Passivhaus.

O excelente isolamento térmico numa PH está associado a:[112]

- bom isolamento sonoro;
- clima interior agradável de Verão e Inverno;
- superfícies quentes no Inverno e respectivo conforto daí resultante;
- inexistência de condensações nas superfícies internas e consequente melhoramento de condições de higiene e saúde.

---

[106] TIRONE, Livia e Nunes, Ken. op. cit., p. 156

[107] MOITA, Francisco. op. cit., p. 57

[108] COMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. *Energie Conscious Design: a primer for architects*. London: B.T. Batsford, 1992, p. 69

[109] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 32

[110] MOITA, Francisco. op. cit., p. 56

[111] PASSIVE-ON. *A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético*. Milão: Passive-On Project, 2007, p. 17

[112] https://passiv.de/former_conferences/Passivhaus_D/Aufsatz_Passivhaus_1997.htm - Consultado 10-09-16



18. *Primeira Passivhaus no Japão com escadas exteriores estruturalmente independentes do edifício, 2009*

Assim o comprova uma análise exaustiva à primeira Passivhaus. Demonstrou-se que, graças à envolvente opaca extremamente bem isolada, as temperaturas interiores do ar, num dia de Inverno[113], estavam entre 21,2 e 23,4ºC. Consequentemente, as superfícies interiores da habitação (tectos, paredes e pavimentos) registaram, mesmo nos pontos geometricamente menos favoráveis (cantos), uma temperatura acima de 19,2ºC e um máximo de 60% de humidade relativa.[114] Em termos práticos, as temperaturas elevadas das superfícies interiores diminuem o risco de haver patologias nos pontos mais susceptíveis e conferem, também graças à sua temperatura homogénea, um grande conforto térmico. É importante que o isolamento seja contínuo ao longo de toda a envolvente opaca. Tem também de ser estanque à água e ao ar, de modo a que não haja penetrações que reduzam a eficiência do isolamento térmico.[115] Deve também ser dada uma especial atenção às transições para os vãos envidraçados e para elementos e espaços não aquecidos que se situem fora do perímetro aquecido. Esses últimos, segundo Roberto Gonzalo e Rainer Vallentin, pela dificuldade técnica que representam, deveriam ser incluídos dentro da envolvente isolada. Recomendam também estes autores que espaços como, por exemplo, varandas, escadas de acesso, parques de estacionamento subterrâneos, espaços de transição não aquecidos, caves, etc., sejam construídos geometricamente separados do edifício. Isto significa totalmente independentes da "estrutura-mãe", a fim de anular qualquer ponto de contacto e de penetração com a envolvente opaca. Também os espaços de transição, também chamados "espaços tampão", deveriam ser evitados, pois não têm qualquer efeito positivo do ponto de vista da eficiência energética numa Passivhaus. Antes pelo contrário, a sua inclusão representa uma dificuldade e um custo acrescido. Os mesmos autores explicam que, devido ao excelente isolamento térmico da envolvente de uma Passivhaus, a temperatura num desses ditos "espaços tampão" é praticamente igual à temperatura exterior. Se houver um fluxo de ar quente, proveniente do interior para um desses espaços, a humidade contida no ar vai condensar nas superfícies frias, representando assim um problema desnecessário e evitável.[116]

---

[113] As medições decorreram no dia 01-01-2016 entre as 07:50 e as 11:15 num dia muito nublado.

[114] FEIST, Wolfgang; Ebel, Witta; Peper, Søren; Hasper, Wolfgang; Pfluger, Rainer e Kirchmair, Martin. *25 Jahre Passivhaus Darmstadt Kranichstein.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016, pp. 84, 85

[115] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 10

[116] Idem. 34, 47



19. *Pormenor construtivo à escala 1/1 da primeira Passivhaus Japonesa*

Pode parecer, num primeiro instante, uma medida limitadora do processo criativo inerente à arquitectura, porém, uma abordagem perspicaz à problemática, poderá resultar em novas soluções tectónicas. O desafio põe-se, desde logo, na consciencialização destas medidas numa abordagem holística. Só assim, e numa fase inicial do processo, se conseguem evitar situações complexas que podem resultar em custos acrescidos.

Por fim, no momento de escolher o isolamento térmico, a consciência ambiental deve sempre pesar. Embora a norma Passivhaus não especifique nem avalie a energia incorporada nos materiais[117], cabe ao arquitecto fazer uma escolha responsável dando preferência, pela seguinte ordem, aos materiais: renováveis, reutilizáveis, recicláveis e, por fim, aos materiais derivados de componentes já reciclados.[118] Esta abordagem não se restringe aos materiais de isolamento térmico, é transversal à construção. Os materiais à base de petróleo como o EPS (poliestireno) ou PU (poliuretano), para além de serem resistentes à difusão do vapor de água - o que por si só já devia ser motivo suficiente para se repensar a sua utilização - também necessitam de até 27 vezes mais energia e emitem até 18 vezes mais dióxido de carbono (CO_2)[119], só na sua produção, quando comparados com a cortiça.[120] Parece, nesse sentido, incoerente, promover uma norma cujo objectivo é a redução do consumo energético, sem ter em consideração os meios para atingir esse fim. Fica, assim sendo, ao critério e ao bom senso dos intervenientes no processo construtivo as escolhas acertadas.

---

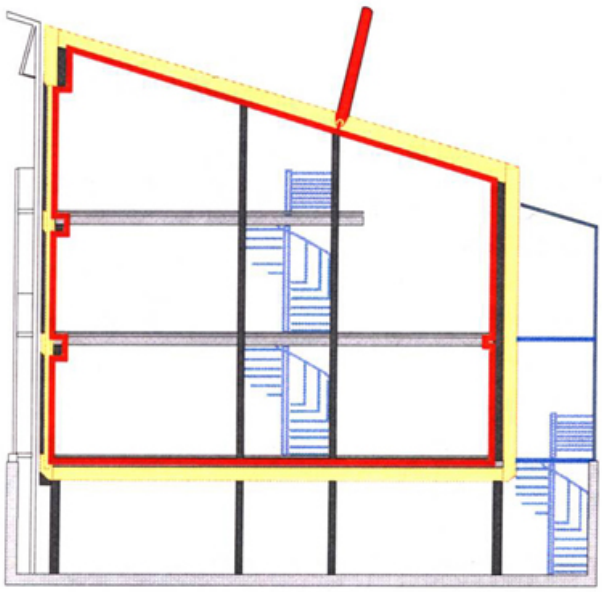
[117] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 31

[118] JOURDA, Françoise-Hélène. *Pequeno Manual Do Projecto Sustentável*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012, p. 48

[119]

EE (embodied energy) MJ/Kg:	Cortiça = 4,00	EPS = 109,20	PU = 101,50
EC (embodied carbon) kgCO_2/kg:	Cortiça = 0,19	EPS = 3,45	PU = 3,48

[120] HAMMOND, Geoff e Jones, Craig. *Inventory of Carbon & Energy (ICE), Version 2.0.* Bath: University of Bath, 2011



20. *Regra do lápis*

PONTES TÉRMICAS

2.3.3

"As superfícies interiores nas quais se produzem transmissões térmicas mais elevadas do que no resto da construção, e onde muitas vezes se formam condensações de vapores motivados por insuficiente isolamento, designam-se por pontes térmicas."[121]

Uma boa envolvente opaca de um edifício pressupõe uma excelente pormenorização de todas as junções e transições. Como visto anteriormente, o isolamento térmico deve ser feito pelo exterior, contínuo e homogéneo em toda a envolvente opaca do edifício. Sempre que se verifiquem situações de alteração de espessura do isolamento térmico (IT), transições entre elementos construtivos, interrupções e/ou penetrações/saliências, dá-se um aumento do fluxo do calor entre o interior e exterior, denominado por ponte térmica. A premissa básica para desenhar uma PH consiste no estudo do perímetro do edifício, tanto em planta como em corte, de modo a conseguir alcançar um edifício livre de pontes térmicas.[122] Quanto mais pontes térmicas, maior a dificuldade de atingir os parâmetros Passivhaus como refere W. Feist *"(...) internal insulation is much more difficult. You will never reach the Passivhaus standard with internal insulation, because of thermal bridging."*[123]

A fim de ter uma maior percepção das pontes térmicas numa fase inicial do projecto, *"O Passivhaus Institut definiu a chamada "regra do lápis" que diz que nas plantas e nos cortes deveria ser desenhada uma linha contínua das vedações térmicas."*[124] Essa regra, embora não científica, permite, através do gesto singelo do desenho, evitar de forma intuitiva as pontes térmicas.

Quanto mais isolada estiver uma construção, mais se evidenciam as PT (ponte térmica). Por isso, numa PH que tem coeficientes de transmissão pela envolvente opaca muito baixos, o tratamento das pontes térmicas torna-se fundamental. No total, estas podem representar perdas energéticas na ordem dos 50%, segundo o Prof. Sergio Balsategui.[125]

---

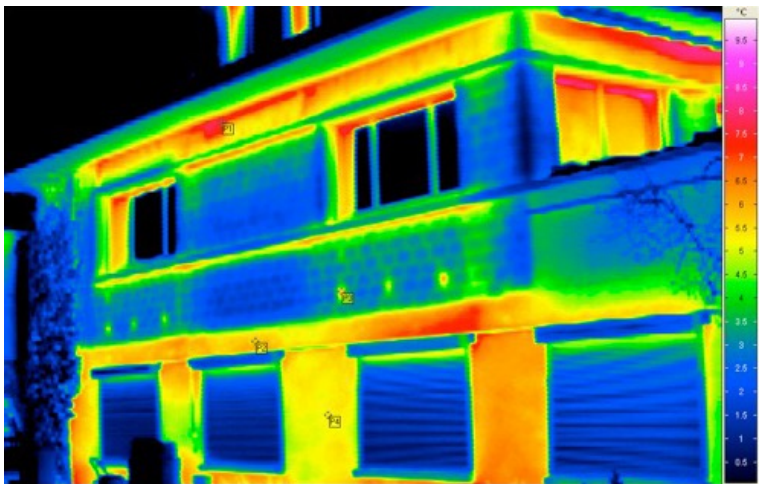
121 MOITA, Francisco. op. cit., p. 56

122 BALSATEGUI, Sergio Díaz de Garayo. op. cit., p. 71

123 Entrevista ao Prof. Dr. Wolfgang Feist em Outubro de 2010, presentation at the Boston Architectural College - http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/conversation-wolfgang-feist - Consultado 10-04-17

124 WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 34

125 BALSATEGUI, Sergio Díaz de Garayo. op. cit., p. 58



21. *Imagem termográfica de um edifício com pontes térmicas lineares nas lajes*

Mais uma vez, também os efeitos negativos que as pontes térmicas podem causar dependem do clima. Nos climas amenos sente-se menos os efeitos. Já nos casos que se faz sentir a diferença da temperatura entre exterior e interior, como é o caso dos climas que registam temperaturas acima dos 30ºC, as PT contribuem para o aquecimento ou arrefecimento da temperatura interior.[126] Assim, para além de afectarem o consumo energético, as PT podem também influenciar a higiene dos espaços interiores. Com o aumento da transmissão de calor, dá-se o respectivo arrefecimento desse local, podendo a humidade do ar quente interior condensar e desenvolver patologias (bolor) caso a humidade relativa desse ponto estiver perto dos 80%.[127]

Existem as pontes térmicas lineares Ψ *(*psi em W/mK) e as pontes térmicas pontuais Χ *(*chi em W/K). As PT lineares caracterizam-se pelo coeficiente de transmissão térmica - valor de psi - descrito pela unidade W/mK. Uma protecção solar que se materialize em forma de elemento integrado na estrutura do edifício é exemplo de uma ponte térmica linear.

O valor de chi, descrito pela unidade W/K, caracteriza as pontes térmicas pontuais, resultantes de, por exemplo, grampos para fixação de elementos de fachada. As PT lineares, pela sua dimensão, têm mais impacto no balanço energético do que as pontuais.[128]

Para contabilizar as pontes térmicas, o instituto Passivhaus desenvolveu uma definição pragmática. Partindo do princípio de que se contemplam dimensões externas para fazer o cálculo da perda energética pela envolvente opaca, considera-se uma construção livre de pontes térmicas se o valor de psi for igual ou inferior a 0,01 W/mK.[129]

---

[126] WASSOUF, Micheel, op. cit., p. 39

[127] BALSATEGUI, Sergio Díaz de Garayo, op. cit., p. 60

[128] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 38

[129] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 37



22. *Solução construtiva para anular uma ponte térmica pontual*

As pontes térmicas podem ser:[130][131]
Construtivas: quando há alteração na solução construtiva da envolvente opaca como, por exemplo, um pilar integrado, uma varanda projectada, consola, etc. Essa descontinuidade leva ao aumento do fluxo do calor para o exterior.

Geométricas: surgem nos encontros entre planos numa construção, sejam eles em planta ou em perfil. O calor migra sempre no sentido perpendicular ao plano e, portanto, a cada centímetro quadrado da superfície quente no interior, corresponde outro centímetro quadrado na superfície fria no exterior. Nos cantos, esse fenómeno é agravado: a cada ponto do canto interior (quente) correspondem 10 ou 15 vezes (conforme a espessura do elemento construtivo) mais pontos no canto exterior (frio). Assim, nos cantos, o fluxo de calor toma várias direcções, deixando de migrar apenas no sentido perpendicular.

Materiais: quando existe um material com maior conductividade térmica na envolvente como, por exemplo, os elementos de fixação do IT exterior ou o encontro entre IT e vão envidraçado.

Assim, numa PH devem ser tidas em conta as seguintes regras estabelecidas pelo PHI para anular ou reduzir o efeito das pontes térmicas:[132][133]
- situações identificadas como possíveis PT devem ser, desde o momento inicial do projecto, eliminadas ou então reduzidas de modo a que sejam de fácil. (e económica) resolução;
- o isolamento deve ser contínuo, sem falhas, e com a mesma espessura em todos os pontos de união. As juntas entre os elementos do IT não devem ser superiores a 2 - 4mm;
- devem ser utilizados materiais de baixa conductividade térmica (por exemplo PVC, madeira, espuma de vidro - *foam glass*, etc.) nos pontos de ruptura da camada de isolamento. Sempre que possível, as pontes térmicas lineares devem ser mudadas para pontes térmicas pontuais.

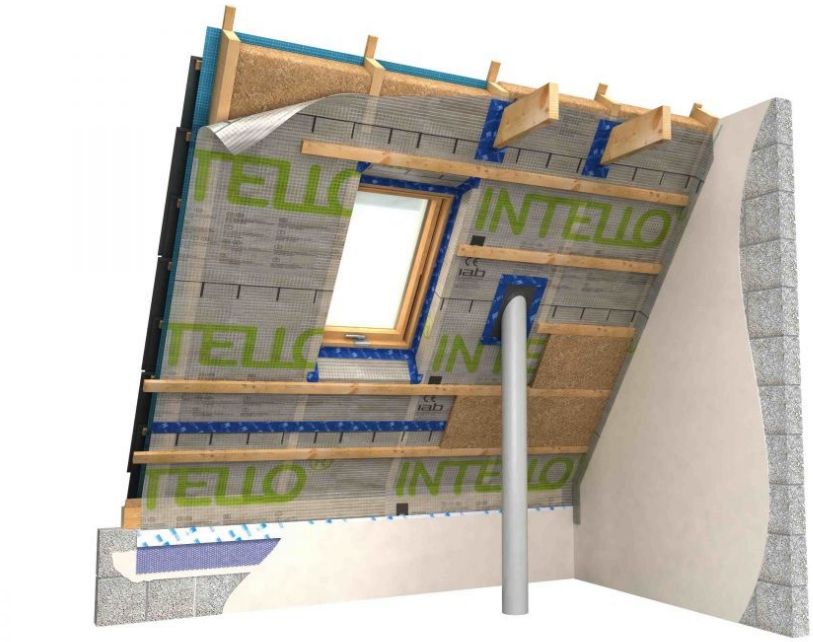
---

[130] WASSOUF, Micheel, op. cit., p. 38

[131] BALSATEGUI, Sergio Díaz de Garayo. op. cit., p. 57-59

[132] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 36-37

[133] ENERGIEINSTITUT VORARLBERG. Wärmebrückenkatalog Fenstereinbau: Teil 1, Details für hocheffiziente Neubauten. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Version 2.0, 2013



23. *Pormenor construtivo da camada estanque assegurada por película e reboco*

ESTANQUIDADE AO AR

2.3.4

A estanquidade ao ar da construção é um ponto fundamental e dos mais importantes, logo a seguir a um bom isolamento térmico, em edifícios bem isolados. Sempre que uma construção é térmicamente isolada, também deve ser hermética, a fim de evitar que fluxos de ar quente provenientes do interior da habitação penetrem na camada de isolamento, causando assim danos na estrutura da construção e comprometendo a eficácia do material isolante.

"O conceito de estanquidade ao ar refere-se à ausência de infiltrações de ar."[134]

Numa Passivhaus com, por exemplo, 500m^3 de volume, a soma total de infiltrações de ar não deve ser superior a 12,3 x 12,3 cm. Ou seja, relativamente à soma de toda a envolvente opaca do edifício, pode haver no máximo uma área de 150 cm^2 - equivalente, mais ou menos, a uma palma de mão adulta - por onde ocorram infiltrações de ar.[135] Assim, as infiltrações de ar numa Passivhaus têm de ser reduzidas a um mínimo, ainda hoje considerado por muitos intervenientes no processo construtivo, impossível de atingir. Esta forma de estar/pensar deve-se, ora ao desconhecimento de como atingir a estanquidade, ora à ideia generalizada que *"as juntas mal seladas numa construção ajudam a melhorar a ventilação de um edifício."*[136] Actualmente, não faz sentido deixar (consciente ou inconscientemente) as juntas mal seladas encarregues de fazer a ventilação de um edifício, uma vez que representaria, entre outros, uma perda energética significativa, como explica Harold Orr referindo-se à Saskatchewan Conservation House de 1977: *"In my prescription I said, "no basement" and a "very tight air/vapour barrier". If we could reduce air leakage by 80% and heat loss to ground (basement) by about 80% we would have a 64% reduction in heat loss without touching the windows and doors, walls, and ceiling."*[137]

---

134 WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 43

135 BERGER, Wolfgang. *Necesitamos edificios estancos.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 7. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 105
500 m3 x 0,6/2 = 150 cm2 = 12,3 cm x 12, 3 cm

136 Traduzido do Espanhol em BERGER, Wolfgang. op. cit., p. 89

137 Harold Orr em https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review/poineer_award/saskatchewan_conservation_house - Consultado 20-01-16

A quantidade de ar que penetra uma junta nunca é constante e depende sempre da pressão do vento e da diferença de temperatura entre interior e exterior. Quanto maior a diferença térmica, maior a troca de ar.[138] Portanto, o fluxo de ar nunca é constante e provavelmente também não é suficiente para garantir uma correcta ventilação. Como agravante, no Verão o ar quente exterior entra no interior e, no Inverno, o ar quente do interior sai. É também no Inverno que podem ocorrer patologias devido à condensação produzida pela convecção, quando o ar atravessa a construção pelas juntas abertas do edifício, como explica Wolfgang Feist:[139] *"If you have air flow through the structure, humid air flowing through the construction, you can get condensation. That is the most important reason it has to be airtight, to avoid problems due to structural damage from moisture. (...) That was one of the experiences in very early superinsulated houses - there were often problems, structural problems, from condensation."*.

As infiltrações de ar indesejadas representam ainda outro problema nos edifícios providos de sistemas de ventilação como acontece nas Passivhaus, onde a renovação do ar é feita pelo equipamento mecânico. O bom funcionamento fica, deste modo, comprometido devido à descompensação causada pelas infiltrações de ar. Isto é, um sistema de ventilação controlada com recuperador de calor trabalha com o mesmo fluxo constante de ar que entra e sai do edifício. Se houver infiltrações de ar, vai haver ar que entra directamente do exterior sem passar antes pela unidade de ventilação, causando assim uma descompensação que leva ao mau funcionamento do equipamento. Estudos realizados em edifícios bem isolados e com unidades de ventilação mecânica com recuperador de calor, mas com uma construção pouco estanque ao ar, gastam mais energia do que aquela que o sistema é capaz de poupar.[140]

---

138 BERGER, Wolfgang, op. cit., p. 89

139 Prof. Dr. Wolfgang Feist numa apresentação na Faculdade de Arquitectura de Boston, Estados Unidos no dia 23 de Outubro de 2010. - http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/conversation-wolfgang-feist - Consultado 10-04-17

140 BERGER, Wolfgang. op. cit., p. 91

Estanquidade ao ar nada tem a ver com a capacidade de difusão do vapor de água de uma construção. Um edifício pode - e deve - ser hermético, mas permeável à difusão de vapor que é maioritariamente causado pela ocupação humana (respiração, transpiração, banhos, etc.). Há assim que diferenciar o conceito de estanquidade ao ar do conceito de troca de vapor de água entre interior e exterior da envolvente opaca. Por exemplo, uma folha de PE (polietileno) é hermética e não é permeável ao vapor de água. Isto é, não permite a passagem de ar, nem de vapor de água entre o interior e o exterior de uma construção. Torna-se então essencial ter uma envolvente que promova a difusão do vapor para o exterior, de modo a garantir a salubridade e higiene dos espaços. Por norma, os materiais feitos a partir de elementos naturais são sempre mais permeáveis. Os rebocos interiores (estuque, cimento, etc.) são exemplo disso. Constituem uma camada estanque ao ar e são permeáveis. A camada estanque ao ar deve estar sempre do lado aquecido da construção, ou seja, no pano interior da envolvente opaca. Assim, nas construções maciças, uma parede de alvenaria de tijolo para ser hermética, deve ter o pano interior sempre totalmente revestido por uma camada de reboco de cimento. Uma parede de betão já é, por si só, estanque ao ar e não necessita de mais nenhum tratamento. Nas construções "leves", a estanquidade é garantida por placas compósitas de madeira como o OSB ou por barreiras de vapor como, por exemplo, películas PE/PVC ou papel reforçado.[141] Algumas destas películas apenas trabalham no sentido interior/exterior, ou seja, apenas ocorre difusão do vapor do interior para o exterior. Contudo, como explica Wolfgang Feist: *"If the vapor barrier is not airtight you really run into problems. So the latest developments in Europe go in the direction of avoiding a vapor barrier, but having a vapor retarder on the warm side of the structure, to allow it to dry out if there is any moisture."*.[142] Assim, hoje em dia, já existem membranas "inteligentes" que trabalham nos dois sentidos, conforme a humidade relativa do ar, permitindo que a construção consiga secar caso haja alguma humidade no interior da mesma.

---

[141] BERGER, Wolfgang. op. cit., p. 92

[142] Prof. Dr. Wolfgang Feist numa apresentação na Faculdade de Arquitectura de Boston, Estados Unidos no dia 23 de Outubro de 2010. - http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/conversation-wolfgang-feist - Consultado 10-04-17



24. *Junta mal vedada*



25. *Junta bem vedada*

A madeira e as placas de gesso cartonado, por exemplo, apesar de serem impermeáveis ao ar, não são considerados materiais herméticos pelo PHI pois a madeira, a médio/longo prazo, pode apresentar fissuras e, no gesso cartonado, pode ocorrer fissuração na sua instalação. Por isso, o PHI estabeleceu alguns materiais que considera adequados para servirem o propósito da estanquidade.

Alguns materiais estanques ao ar:[143][144]
- betão segundo a norma DIN 1045-2;
- cimento;
- parede de alvenaria rebocada na face interna;
- placas OSB com as juntas e pontos de fixação devidamente vedados;
- membranas PE/PVC consideradas barreiras ao vapor com as juntas sobrepostas e devidamente vedadas.

Alguns materiais não estanques ao ar:[145]
- painéis de madeira devido à possibilidade de lascar;
- painéis de gesso cartonado, tanto devido ao próprio material que pode fissurar, como às juntas que também podem levantar problemas a médio/longo prazo;
- qualquer tipo de painel de isolamento;
- parede de alvenaria de tijolo sem ser rebocada;
- argamassa de cimento com excesso ou falta de água;
- juntas de silicone ou de espuma de poliuretano.

"These airtightness details are all a question of design. It's not a question of the quality of work on the site; it is a question of design. The designer must know what is the airtight layer, and how are the different parts of the structure all connected. It is not the handcraft person who achieves that — it is the designer who does that. It is quite easy to reach."[146]

Cabe, assim, ao arquitecto, desde uma fase muito precoce, uma abordagem no sentido de evitar possíveis problemas que possam comprometer a estanquidade ao ar e cuja resolução, por vezes, se revela excessivamente dispendiosa.

---

[143] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 45, 46

[144] BERGER, Wolfgang. op. cit., p. 95

[145] WASSOUF, Micheel, op. cit., pp. 46-47

[146] Prof. Dr. Wolfgang Feist numa apresentação na Faculdade de Arquitectura de Boston, Estados Unidos no dia 23 de Outubro de 2010. - http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/conversation-wolfgang-feist - Consultado 10-04-17



26. *A turbulência no fumo indicada uma fuga de ar*



27. *Teste de BlowerDoor*

Posto isto, aplica-se também aqui a "regra do lápis" - em planta e corte - para definir, já numa fase inicial do projecto, o plano hermético e os respectivos materiais, conforme o tipo de construção, pois diferentes tipos de construção levam à adopção de métodos distintos para garantir a estanquidade. Devem-se definir, igualmente, os pontos de ruptura necessários que podem perfurar a camada estanque.

"Os pontos mais susceptíveis à permeabilidade ao ar acontecem nas transições de elementos do interior para o exterior da zona aquecida, como por exemplo as condutas do sistema de ventilação na passagem da garagem para a zona aquecida ou todas as tomadas eléctricas existentes."[147]

Alguns desses pontos podem, desde logo, ser eliminados na fase de projecto. Será assim vantajoso e desafiador evitar a colocação de tomadas eléctricas, interruptores de luz, pontos de água ou qualquer outro tipo de elemento que pressuponha a interrupção da camada estanque ao ar, no perímetro exterior do edifício, para reduzir os pontos problemáticos que requerem sempre uma atenção redobrada e tratamento cuidado.

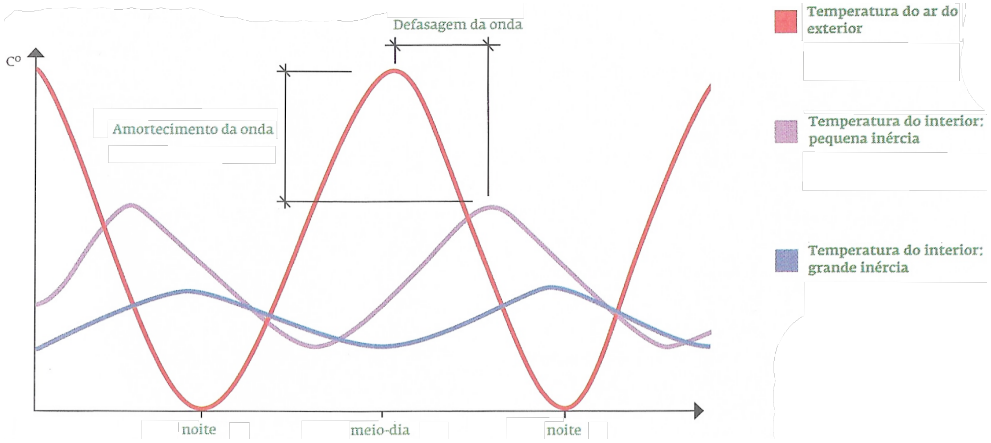
Para garantir a hermeticidade da construção, esta é submetia ao teste de *BlowerDoor*, após a sua conclusão. O teste *BlowerDoor* é utilizado desde 1989 na Alemanha[148] e serve para medir a estanquidade do edifício e está definido na norma EN-13829.[149] Durante o teste, o edifício é submetido a uma pressão positiva e negativa de 50 Pa, equivalente a uma velocidade do vento de 33 km/h e a uma força de aproximadamente 5 kg/m^2. Numa Passivhaus, mediante estas condições, o valor do teste não pode ser superior a 0,6 renovações de ar por hora ($n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$). Em comparação, os edifícios de habitação novos, construídos, por exemplo, em Espanha à data de 2011, apresentam valores de $n_{50} > 3\ h^{-1}$, existindo casos onde esses valores chegam até 6 h^{-1}.[150] Significa isto que num ciclo de 24 horas, uma casa pouco hermética pode promover até 144 renovações completas de ar, enquanto uma Passivhaus não faz mais de 14.4 renovações.

[147] GAVIÃO, João Rui Santos Pires. op. cit., p. 91

[148] BERGER, Wolfgang. op. cit., p. 98

[149] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 47

[150] BERGER, Wolfgang, op. cit., p. 105



28. *Desfasamento das ondas térmicas*

INÉRCIA TÉRMICA

2.3.5

A inércia térmica está intrinsecamente ligada ao conforto, ao comportamento térmico e às necessidades de aquecimento/arrefecimento de um edifício. A sua principal função é a redução das oscilações de temperatura no interior dos compartimentos.

"A inércia térmica descreve a energia necessária para aumentar 1 kelvin à temperatura de um volume de 1 metro cúbico do elemento construtivo."[151]

A inércia térmica é medida pelo desfasamento entre os picos de temperatura entre interior e exterior. Isto é, mede-se o tempo, em horas, que a temperatura máxima de um dia de calor demora a atingir o interior. Assim, quanto maior o desfasamento entre ondas térmicas, mais tempo demora o edifício a responder à oscilação de temperatura. O desfasamento mínimo deveria ser de, pelo menos, 10 horas, sendo o ideal entre 12 e 14 horas.[152][153] Deste modo, o pico de calor que se faz sentir no exterior do edifício pelas 13h, só será sentido no interior da habitação às 23h, altura em que a temperatura do ar exterior permite efectuar o arrefecimento da construção, através de ventilação natural. Assim, a inércia térmica tem vantagens tanto em climas quentes como em climas frios, mas só e apenas, se a massa térmica estiver revestida de isolamento na sua face exterior.[154]

Os elementos e materiais que compõem uma construção têm capacidade - uns mais, outros menos - para absorver e armazenar energia, desde que estejam em contacto directo com o ar interior ou desde que sofram incidência directa dos raios solares. Francisco Moita define dois conceitos distintos de massa térmica: a primária e a secundária.[155] A massa térmica primária está em contacto directo com os raios solares, tendo assim resultados mais significativos do ponto de vista da carga e descarga térmica. São exemplos disso os elementos absorvedores de energia como pavimentos e paredes nas proximidades de janelas. A massa térmica secundária é composta pelos elementos que ficam na sombra, armazenando apenas a energia através do ar do interior do espaço. Esta tem um desempenho térmico inferior.

---

151 WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 34

152 https://www.u-wert.net/berechnung-des-hitzeschutzes/ - Consultado 16-09-16

153 WASSOUF, Micheel, op. cit., p. 35

154 MOITA, Francisco. op. cit., p. 80, 191

155 MOITA, Francisco. op. cit., p. 190

Na falta de isolamento térmico, a massa térmica liberta, por convecção natural, calor nos dois sentidos (interior e exterior), ocorrendo assim perdas (no Inverno) e ganhos (no Verão) significativos de energia. Situando-se o isolamento térmico no plano interior da massa térmica, esta deixa de ter capacidade para absorver ou libertar energia. No Inverno, até pode ser vantajoso em casos de edifícios com uma utilização intermitente (por exemplo escritórios, habitação turística, etc.), pois o espaço aquecer-se-á mais rapidamente. Porém, numa Passivhaus, o excesso de energia que poderia ocorrer através de ganhos solares, levaria rapidamente ao aumento excessivo da temperatura do ar, passando a ser necessário proceder à abertura de janelas, contrariando, assim, o seu principio básico da preservação de energia. No Verão, em climas como o de Portugal, a ausência de inércia térmica significaria ter temperaturas desconfortáveis, durante todo o dia, a não ser que fosse anulada qualquer penetração de raios solares durante esses meses. No caso de se anular a entrada de raios solares, existem, segundo M. Wassouf, construções Passivhaus "leves", *"com óptimos resultados de conforto no Verão em climas quentes".*[156] No Inverno, a envolvente opaca, como massa agregadora de energia, acumula calor durante o(s) dia(s) - cargas térmicas internas, radiação solar, etc. - e liberta, novamente, o calor para os espaços, nos momentos em que a temperatura do ar interior diminui, como por exemplo, em longos períodos com ausência de radiação solar, mantendo assim a temperatura de conforto constante.

"*Quando a temperatura do elemento construtivo é mais alta que a do ar circundante, o fluxo energético inverte-se e a energia começa a fluir de novo do elemento construtivo para o ar."*[157]

No Verão, a energia é armazenada durante o período diurno, mantendo os espaços frescos. Porém, esta energia terá de ser obrigatoriamente libertada durante a noite, através de uma boa ventilação cruzada.[158] Caso não aconteça esta "descarga de calor", no dia seguinte a massa térmica já não terá capacidade para absorver mais energia e passará a libertar calor, aquecendo ainda mais os espaços. Assim, a massa térmica influencia directamente a necessidade energética para aquecimento e pode levar a uma redução de até 5 kWh/(m^2a).[159]

---

[156] WASSOUF, Micheel. *op. cit.,* p. 36

[157] Idem, p. 34

[158] JOURDA, Françoise-Hélène. *Pequeno Manual Do Projecto Sustentável*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012, p. 54

[159] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 14

Como visto anteriormente, são os materiais que conferem a massa térmica ao edifício. Isto significa que, quanto mais denso é o material, mais capacidade de armazenamento tem. São exemplo disso a pedra, o betão, o tijolo maciço, etc. Contudo, a capacidade de armazenamento dos materiais que asseguram a massa térmica, num edifício, não é exponencial à sua espessura. Há assim vantagens significativas em ter mais área de superfície de massa térmica do que mais espessura.[160] Francisco Moita, explica que *"qualquer elemento de construção da envolvente (...) que desempenhe funções de massa acumuladora só é teoricamente actuante (...) até uma determinada profundidade (...)"* e que, apesar do aumento da espessura de um elemento também significar um aumento da capacidade de armazenamento, *"a carga térmica solar produzida num ciclo de vinte e quatro horas (com interrupção ao fim de doze!) não produz, no entanto, efeitos relevantes para além dos 10-12 cm."*[161]

Portanto, visto que uma Passivhaus prescinde de sistemas tradicionais de aquecimento ou arrefecimento, é fundamental - ainda mais no clima português com oscilações de temperatura muito pronunciadas - a existência de massa térmica com mais área do que espessura.

[160] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 62

[161] MOITA, Francisco.op. cit., p. 191

2.4

ENVOLVENTE TRANSLÚCIDA

"A luz é o mais bonito, o mais rico e mais luxuoso dos materiais utilizados pelos arquitectos. O único problema é que é gratuito, está ao alcance de todos e por isso não se valoriza suficientemente."

Campo Baeza



29. *Vãos contidos na fachada Sul da Saskatchewan Conservation House, 1977*



30. *Fachada Sul em vidro no edifício vencedor do 1º prémio de arquitectura Passivhaus, 2006*

ELEMENTOS ENVIDRAÇADOS

2.4.1

O sol constitui uma fonte de energia renovável, inesgotável e que pode ser aproveitada de forma passiva para aquecer qualquer edifício. O próprio nome "Passivhaus" deixa adivinhar a importância do Sol numa construção deste tipo. São os vãos envidraçados que possibilitam tirar o melhor proveito do Sol, porém, pela sua função complexa, representam, do ponto de vista da eficiência energética, o elemento mais frágil de toda a envolvente de um edifício. Exige-se a um componente transparente a comunicação com o exterior, a vista, a iluminação natural como também o aquecimento passivo através da entrada de raios solares e o arrefecimento e renovação do ar através da ventilação. Nenhum elemento construtivo tem uma espectro de uso tão alargado.

"Calentar con energía solar es fácil y cualquiera sabe hacerlo: solo hay que dejar que el sol entre a través de la ventana."[162]

Desde logo, nas construções pioneiras anteriores à primeira Passivhaus, ficou evidente essa fragilidade dos elementos transparentes. Como diz Harold Orr, *"These windows were essentially holes in the walls."*[163] A qualidade térmica das janelas de então - reconhecidamente fraca - eram ilustrativas do estado da arte da época. O calor facilmente dissipava pelas janelas. Em consequência dessa fragilidade, optava-se por um tipo de vão de dimensão reduzida e, na sua maioria, orientado a Sul, para tentar reduzir ao máximo as perdas energéticas associadas a este elemento. Tal pode ser observado na Saskatchewan Conservation House, onde a maioria dos vãos, 87%[164], estão orientados a Sul para equilibrar o balanço energético. Simulações[165] posteriores, efectuadas em função de diversos climas, vieram demonstrar que mais de 30 a 50% da área envidraçada, orientada a Sul, não trariam mais vantagens em edifícios muito bem isolados e situados no Norte e centro da Europa.

---

[162] PASTOR, Rafael Royo. *Las ventanas y la gran fuente de calefacción de los edificios: el sol.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 6. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 77

[163] Harold Orr sobre a Saskatchewan Conservation House em passipedia.com - Consultado 20-01-16

[164] FINGERLING, Anne. op. cit., p. 11

[165] STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 39

W. Feist debruça-se sobre a problemática dos vãos envidraçados ainda no início dos anos 90, aquando da construção do que viria a ser a primeira Passivhaus. A disponibilidade de caixilharias e vidros suficientemente evoluídos de modo a assegurar o conforto térmico e o desempenho energético característico de uma Passivhaus, eram uma miragem.

"You know the first Passivhaus in 1991, there was no window. Nothing. There was nothing on the market."[166]

Apenas no final da década de 90 começaram a ser comercializadas as primeiras janelas de alto desempenho. Com a evolução dos componentes que configuram uma janela, passou a ser possível o que até então não era: capturar a energia fornecida pelo Sol, sem deixar que esta se perdesse novamente. Isto é, se até então as janelas representavam um balanço energético negativo, ou seja, era perdida mais energia pelo vão do que aquela que se conseguia obter, agora era possível capturar essa energia toda, sem a perder de novo para o exterior.
Estudos[167] mais recentes, realizados em função do clima do Centro e Norte da Europa, mostram que aumentar a área envidraçada orientada a Sul, em mais de 30%, apenas resulta num balanço energético positivo (da janela) com a utilização de caixilhos com vidro triplo ou quadruplo. No caso da utilização de vidro duplo, o balanço é afectado negativamente e a necessidade energética com aquecimento sobe. Portanto a ideia de quanto mais área de vidro orientada a Sul, melhor, depende directamente da qualidade da janela. Assim, ficou demonstrado que o aspecto mais importante de uma janela, numa PH, é o coeficiente de transmissão térmica do vidro (U_g). Só com um baixo valor de U_g será possível garantir que não seja ultrapassado o limite entre a diferença de temperatura operativa e a temperatura da superfície do vidro, estabelecido pelo PHI em 4,2ºC. Assim, com uma janela de alto desempenho, independente da quantidade de área envidraçada orientada a Sul, podem alcançar-se estes padrões de conforto e de energia.

---

166 Prof. Dr. Wolfgang Feist numa intervista a Martin Hollday na Faculdade de Arquitectura de Boston o dia 23 de Outubro 2010 - Disponível em http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/conversation-wolfgang-feist - Consultado 10-04-17

167 GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 38

Os factores que melhoram o desempenho de uma janela são:[168]

- o aumento de folhas de vidros;
- o factor solar;
- a inclusão de diferentes tipos de gases entre as folhas de vidro;
- os revestimentos de baixa emissividade;
- o corte térmico da caixilharia;
- os perfis intercalares.

O coeficiente de transmissão térmica de uma janela é caracterizado pelo valor de U_w contemplando os coeficientes do vidro (U_g), do caixilho (U_f) e do perfil intercalar do vidro (U_{spacer}). Quantas mais camadas de vidro uma janela tiver, mais baixo será o coeficiente de transmissão térmica.

Os valores tipo são:[169]

Vidro simples:	4,8 a 5,8 W/m²K.
Vidro duplo:	1,2 a 3,7 W/m²K dependendo da composição.
Vidro triplo:	menos de 1 W/m²K.

O grande intervalo de valores de U de uma caixilharia de vidro duplo ou triplo deve-se aos vários tipos de composição possíveis de configurar. A incorporação e combinação de novas tecnologias leva a uma melhoria significativa do desempenho energético da janela, de tal modo que, hoje em dia, os elementos transparentes já apresentam coeficientes de transmissão térmica idênticos aos de um elemento opaco vulgar. Este avanço tecnológico permite rasgar vãos maiores sem que haja perdas energéticas significativas. O acréscimo em conforto também é notável, ao ponto de permitir a organização de espaços de permanência prolongada nas proximidades de uma janela de grandes dimensões.

Numa Passivhaus no centro da Europa, segundo o PHI, o valor de referência do coeficiente de transmissão térmica de uma janela (U_w) não pode ser superior a 0,80 W/m²K. *"O limite de 0,80 W/m²K é justificado pela temperatura exterior mínima considerada para o cálculo, -10ºC."*[170] Assim, o U_w deve ser sempre definido de acordo com os dados climáticos da localização do edifício. Desta forma, em climas amenos ou quentes, as exigências que se põem aos elementos transparentes não são tão elevadas. Em Portugal, uma janela de vidro duplo

---

[168] Adaptado de PASTOR, Rafael Royo. op. cit., p. 81

[169] https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/U-values - Consultado 01-06-17

[170] GAVIÃO, João Rui Santos Pires. op. cit., p. 42

baixo emissivo é suficiente para garantir os padrões PH. Por exemplo, as primeiras três Passivhaus, no distrito de Aveiro, têm janelas com valores de U_w entre 0,91 e 1,77 W/m²K com vidro triplo e duplo, respectivamente.[171] Não há, portanto, um valor que dite a regra. Apenas há que ter em consideração que o desempenho global do edifício depende directamente do desempenho dos vãos envidraçados e, por isso, a qualidade destes deve acompanhar o desempenho do todo. Caso contrário, será necessário, por exemplo, incrementar a espessura de isolamento térmico nas restantes superfícies opacas para equilibrar o mau desempenho térmico de uma janela menos boa. Há estudos[172][173] que demonstram que, para o território português - em função do clima e dos ganhos/perdas energéticas através dos vãos envidraçados - caixilhos de vidro duplo são suficientes para satisfazer os critérios de conforto. No entanto, Benjamin Krick prova que o *optimum* económico para o Sul de Portugal são os caixilhos com vidro triplo. Contudo, analisando em função da energia incorporada na produção e na quantidade energética que se consegue poupar com a sua utilização durante o tempo de vida útil, o *optimum* para todo o território continental de Portugal são as janelas de vidro triplo.

Enquanto que o desempenho energético de um elemento opaco é apenas caracterizado pelo coeficiente de transmissão térmica (valor de U) - visto a relação ganhos/perdas energéticas ser quase inexistente -, no caso de um elemento transparente, que pode ter ganhos energéticos significativos, o valor de U, por si só, não é suficiente para descrever o desempenho energético.[174] É assim necessário contemplar os ganhos energéticos possíveis de obter com um elemento transparente. A percentagem de radiação solar que é, por um lado, directamente transmitida pela janela e, por outro, absorvida e só posteriormente libertada para o interior, denomina-se de factor solar.[175]

"Cuanto más factor solar, más calor del sol se transmite al interior."[176]

---

[171] http://www.passivhausprojekte.de - Consultado 28-09-16

[172] KRICK, Benjamin. *Optimum Glazing in the Regions of Europe considering the Embedded Energy.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2014

[173] KRICK, Benjamin. *Smartwin Compact: Economic Optimum in the regions of Europe.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2014

[174] SCHLITZBERGER, Stephan; Maas, Anton e Philipson, Bruno. *Kennzeichnung der Energiebilanz von Fassaden- und Dachflächenfenstern.* BauSIM IBPSA, German-Austrian Conference, 2010, p. 542

[175] SEQUEIRA, Jorge Miguel Coelho Antunes Repolho de. I*nlfluência do Factor Solar dos Envidraçados no desempenho térmico dos edificios no Verão: exigências regulamentares*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções. Porto: FEUP, 2012. p. 7

[176] PASTOR, Rafael Royo. op. cit., p. 79

Inversamente, quanto mais baixo o factor solar, menos energia solar (radiação infravermelho) atravessa o vidro - o que poderá interessar nas situações de elevada exposição ao sol. Contudo, e em especial no nosso clima, um factor solar alto na orientação Sul (≥ 50%)[177] não dispensará uma protecção solar adicional pelo lado exterior.

Os gases nobres têm um contributo fundamental para o desempenho de um elemento transparente. A capacidade isoladora de um gás depende do seu peso e, por isso, os gases utilizados para preencher a caixa de ar entre vidros são mais pesados do que o próprio ar. Porém, para que cumpram a sua função, têm de estar em repouso. Caso contrário, dão-se perdas por convecção.[178] De facto, é possível ter uma janela de vidro duplo até três vezes mais eficiente com a adição de gases como Argon, Krypton ou Xenon. Enquanto uma janela convencional tem ar entre as folhas de vidro, uma janela de alto desempenho, cheia com Argon, tem um poder de isolamento térmico 20% superior, sem reduzir a quantidade de luz que atravessa o vidro.[179] No caso dos gases Krypton e Xenon, o desempenho é ainda mais significativo. No entanto, a incorporação destes, em especial do Krypton e Xenon, representa um acréscimo nos níveis de energia e de poluição relacionados com a produção de uma janela. Por janela, em média, a adição de Krypton representa uma acréscimo de 510 MJ e de 26 kg de CO_2 e o Xenon de 4500 MJ e de 229 kg de CO_2.[180]

Tab.5 *Conductividade térmica de diferentes gases*

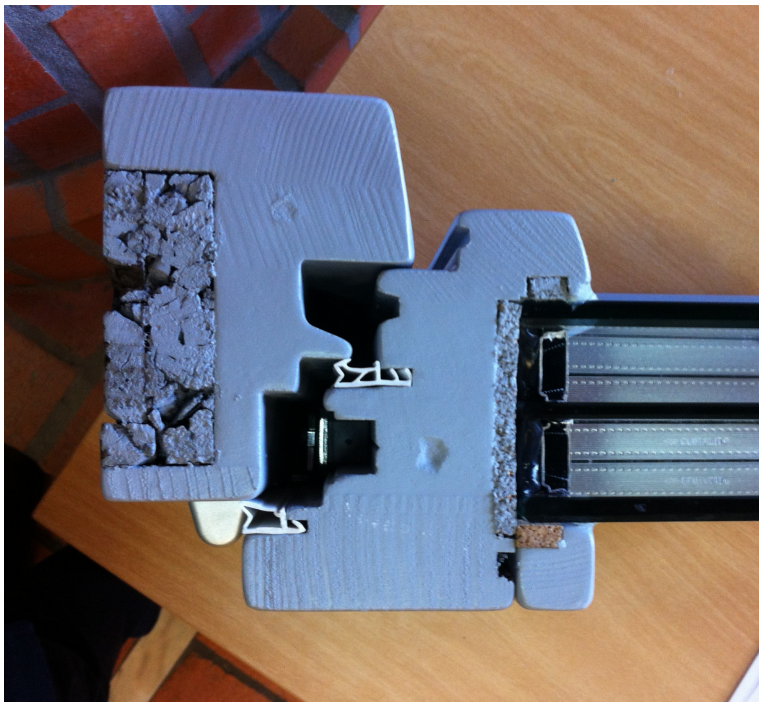
Gás em repouso	Massa Molecular (kg/kmol)	Conductividade Térmica (W/mK)
Ar	2,45	1,69
Argon	1,40	1,13
Xenon	1,90	1,15

[177] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 40

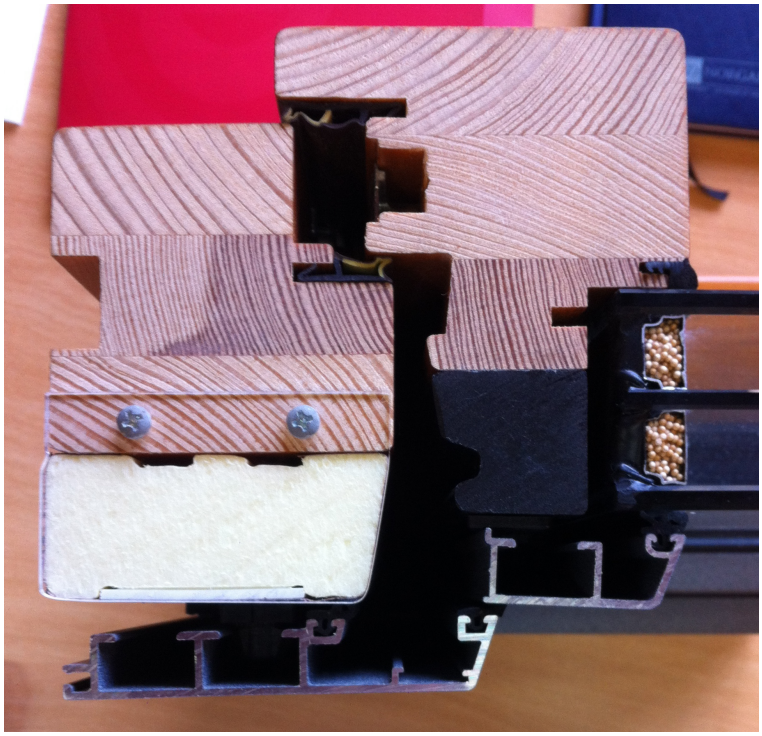
[178] PASTOR, Rafael Royo. *op. cit.,* p. 82-84

[179] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 96

[180] HAMMOND, Geoff e Jones, Craig. *Inventory of Carbon & Energy (ICE), Version 2.0.* Bath: University of Bath, 2011



31. *Caixilharia Passivhaus - madeira sem corte térmico, vidro triplo*



32. *Caixilharia Passivhaus - madeira com corte térmico, revestimento alumínio, vidro triplo*

Outro aspecto que contribui para a melhoria do desempenho de um elemento transparente - coeficiente de transmissão térmica mais baixo - são os revestimentos de baixa emissividade. Isto é, os vidros de baixa emissividade, também denominados de *Low E-glazing,* têm um revestimento praticamente transparente de óxido de metal, o que reduz o poder de radiação do vidro. Este revestimento diminui, assim, a transferência de calor através do vidro e pode funcionar em ambos os sentidos, interior/exterior ou exterior/interior.[181] Ou seja, para reduzir as perdas térmicas no Inverno, o revestimento situa-se na folha de vidro em contacto com o exterior. Para controlar os ganhos térmicos no Verão, este também está presente no lado do vido em contacto com o interior.

Como um vão envidraçado não se faz apenas de vidro, há ainda a peça de transição, o caixilho, entre a área envidraçada e a área opaca, o que também contribui para a transmissão térmica e que tem um papel decisivo no que diz respeito aos ganhos energéticos. Por exemplo, a espessura de um caixilho minimalista "liberta" mais área de vidro, o que se traduz em mais ganhos solares. O coeficiente de transmissão térmica do caixilho é caracterizado por U_f. Para atingir valores de U_f baixos, um caixilho Passivhaus tem corte térmico com os núcleos preenchidos com isolamento e a sua estrutura deve ser preferencialmente de madeira ou PVC, pela razão de serem materiais menos condutores do que os metais. Outra vantagem da madeira face ao alumínio é que a madeira necessita de até 23 vezes menos energia e consequentemente também emite até 23 vezes menos CO_2 na sua produção.[182]

Comprovadamente, também os perfis intercalares de um vidro contribuem para perdas energéticas significativas. A ponte térmica gerada por dois perfis intercalares de alumínio com 0,5 mm de espessura e 1 m de comprimento é equivalente às perdas térmicas de 15,5 m^2 de vidro com qualidade PH.[183] É assim, fundamental, optar sempre por perfis de PVC para não promover a condução térmica entre as folhas de vidro.

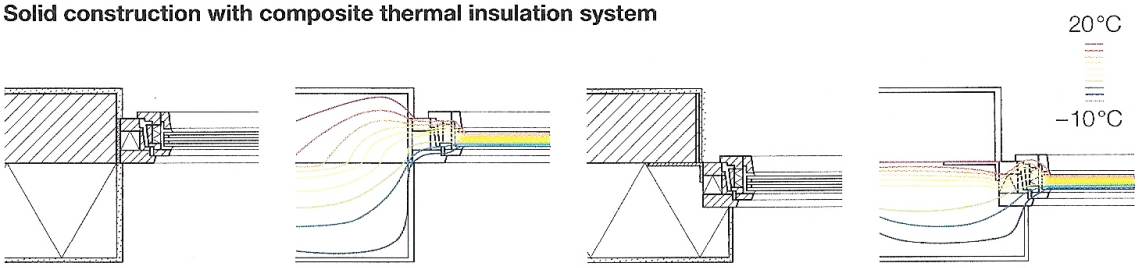
---

[181] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 96

[182] HAMMOND, Geoff e Jones, Craig. *Inventory of Carbon & Energy (ICE), Version 2.0.* Bath: University of Bath, 2011

[183] BALSATEGUI, Sergio Díaz de Garayo. op. cit., p. 73

Solid construction with composite thermal insulation system



Unfavourable window position
psi-value of installation (Ψ): 0.104 W/mK
U_w-value (installed): 1.074 W/m²K
surface temperature frame/wall: 17.1 °C
Space heat demand for standard building with Passive House insulation and energy-efficient ventilation unit:
single-family home: 18.6 kWh/m²a
multi-family home: 16.1 kWh/m²a

Favourable window position
psi-value of installation (Ψ): –0.007 W/mK
U_w-value (installed): 0.755 W/m²K
surface temperature frame/wall: 18.6 °C
Space heat demand for standard building with Passive House insulation and energy-efficient ventilation unit:
single-family home: 12.8 kWh/m²a
multi-family home: 12.4 kWh/m²a

33. *Desempenho energético consoante a posição de instalação da janela*

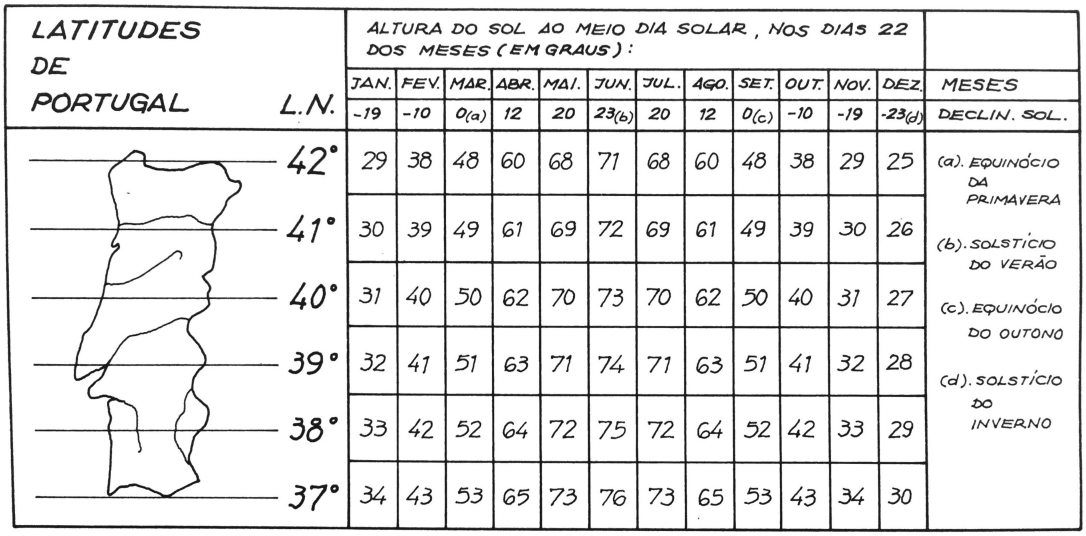
Como a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, no Inverno, pode superar os 20ºC (mesmo em Portugal), numa janela convencional ocorre o fenómeno de condensação pelo lado interior; já numa janela Passivhaus, devido à sua proteção térmica extremamente elevada, este fenómeno não se verifica. A única condensação que, neste tipo de janelas, pode ocorrer é pelo lado exterior. Isto acontece porque a superfície do vidro em contacto directo com o exterior pode atingir temperaturas muito baixas, uma vez que o calor interior não consegue alcançar a última folha de vidro. Com a subida da temperatura do ar exterior, pode verificar-se condensação pelo lado exterior.

A posição e a instalação da janela no vão estão intrinsecamente ligados ao desempenho global do edifício e, por isso, também são objecto de estudo numa Passivhaus. A janela pode estar situada em vários pontos do vão. Posições diferentes levam a resultados de iluminação, sombreamento e exposição solar distintos. Este facto deve pesar na escolha do posicionamento. Contudo, para garantir a continuidade do isolamento térmico que, como visto anteriormente, deve estar sempre do lado exterior da envolvente opaca, a posição no vão das janelas, numa Passivhaus, deve ser sempre de acordo com a camada de isolamento térmico.

"According to the principle of homogeneity, the windows in Passive House buildings should always sit in the same layer as the insulation, since this is the only way to ensure a good continuation of the insulation plane."[184]

Assim, independentemente da posição da janela no vão, é fundamental que haja uma sobreposição do IT com o caixilho. Os melhores resultados são obtidos quando a parte exterior do caixilho é envolvida pela camada de IT de modo a minorar as perdas de calor através da ponte térmica ali existente. Esta abordagem traduz-se, em termos práticos, na colocação da janela imediatamente à frente do pano da envolvente opaca. O caixilho é fixado no suporte (parede de alvenaria, betão, etc.) através de cantoneiras metálicas pontuais e a transferência da carga é feita através de um barrote de madeira aparelhada colocado na parte inferior. O caixilho deve sobrepor-se à camada estanque vinda do interior. Em obra, contrariamente ao que é comum na construção portuguesa, a janela tem de ser colocada já numa fase inicial. Embora possa representar uma vantagem pelo facto de permitir "encerrar" desde logo o edifício, requer um redobrar dos cuidados para não danificar as caixilharias nas fases seguintes da obra.

[184] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 40



34. *Latitudes de Portugal*

ORIENTAÇÃO SOLAR

2.4.2

A energia do Sol chega à atmosfera da Terra com uma intensidade constante de cerca de 1370 W/m2. Apenas 47% dessa energia é absorvida pela Terra, ou seja, aproximadamente 650 W/m2. No entanto, esse valor pode variar entre 600 e 1200 W/m2, estando directamente dependente de inúmeros outros factores.[185] Com tanta energia gratuita, seria - no mínimo - desleixo não aproveitar os benefícios do sol para suprimir parte - ou até a totalidade - das necessidades energéticas mandatórias para o aquecimento dos edifícios.

O Sol é um bem-maior, crucial para o bem-estar das pessoas e para o desempenho energético do edificado. A interacção de um edifício com o sol está intrinsecamente ligado à sua orientação que, no caso de ser boa, consegue ter ganhos solares quando necessário (Inverno) e evitá-los quando são dispensáveis (Verão). O Sol tem diferentes ângulos de incidência ao longo do ano. No Inverno aproxima-se e, no Verão, afasta-se do horizonte. Por isso, enquanto que, no Inverno, os vãos orientados a Sul conseguem ganhos solares elevados, no Verão, a protecção destes é de elevada simplicidade. De um ponto de vista energético, a orientação predominante devia ser sempre Sul. Mesmo em Portugal, como indica o estudo Passive-On[186] e, como afirmam L. Tirone e K. Nunes, *"(...) num clima como o nosso, faz todo o sentido privilegiar-se sempre a orientação a Sul."*[187] Contudo, isso não significa que os vãos envidraçados devam estar orientados apenas a Sul. Todas as orientações são de considerar, ora pela diversidade espacial, ora por motivos de ventilação natural (vãos em fachadas opostas também são sinónimo de uma boa ventilação natural), ora por limitações da envolvente urbana ou natural onde o edifico está inserido. O impacto energético da orientação será mais evidente nos casos em que há uma concentração de elementos transparentes apenas numa das fachadas. Uma distribuição homogénea da área envidraçada por todas as fachadas, em edifícios cúbicos, por exemplo, torna a orientação de uma Passivhaus irrelevante. Numa situação onde, por exemplo, as melhores vistas se concentram na orientação Norte, o acréscimo dessa área envidraçada representará consequentemente uma maior perda térmica. Para colmatar esse acréscimo de perda térmica, deve ser aumentada a área envidraçada orientada a Sul ou, caso isso não seja possível, deve ser melhorado o desempenho do isolamento térmico na restante envolvente opaca.[188]

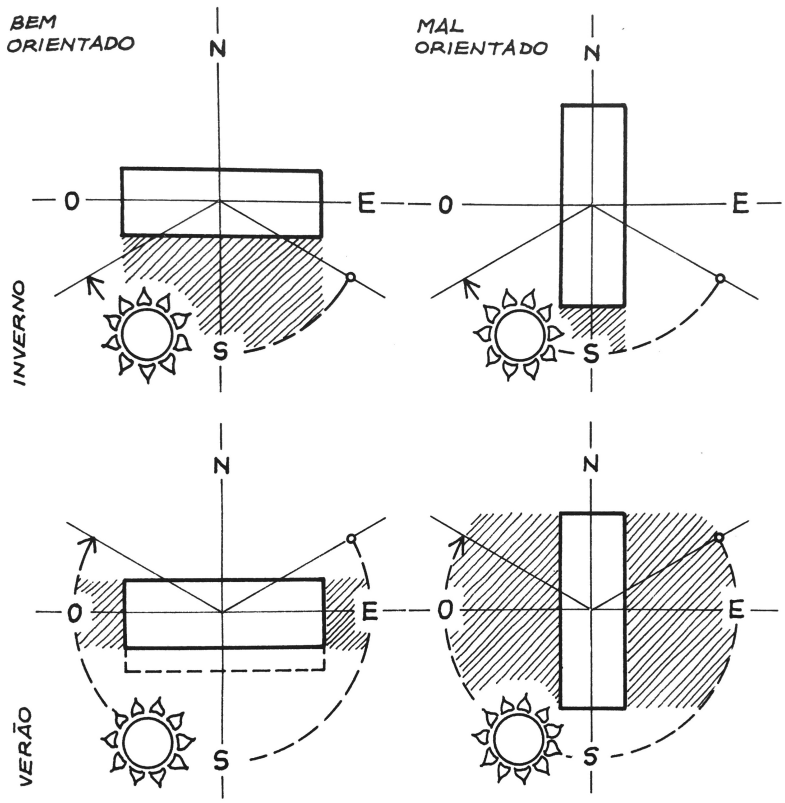
---

185 MOITA, Francisco. op. cit., p. 20-25

186 PASSIVE-ON. *A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético*. Milão: Passive-On Project, 2007, p. 16

187 TIRONE, Livia e Nunes, Ken. op. cit., p. 134

188 GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 39



35. *Orientação solar correcta vs. errada*

Pela facilidade em obter ganhos solares no Inverno e de os bloquear quando não são necessários nem desejados (no Verão), a orientação Sul é a mais indicada e a que mais vantagens tem em qualquer clima Europeu. Para ter os maiores ganhos solares, o edifício não deve derivar mais de 15º do eixo Sul.[189] Esta medida simples afecta directamente o conforto térmico e *"tem um potencial de melhorar em até 30% das necessidades energéticas de um edifício"*[190]. Deve ser sempre garantido o sombreamento exterior tendo em consideração os ângulos de incidência solar, que em Portugal são de 25-30º (solstício de Inverno) e 71-76º (solstício de Verão) de Norte a Sul, respectivamente.[191] Deste modo, a penetração dos raios solares na estação fria não fica comprometida enquanto que, no Verão, o sombreamento será o suficiente para evitar o sobreaquecimento. Estes vãos devem ter um factor solar elevado.

Nas orientações Nascente e Poente, o ângulo de incidência solar é sempre ao nível do horizonte. Apenas avança ou recua o ponto do nascer e pôr do sol. Deste modo, nos meses de mais frio, a incidência solar na janela é quase inexistente. Inversamente, nos meses de calor, são os vãos mais expostos. No pior dos casos, um edifício com os vãos restritos a estas orientações como, por exemplo, moradias em banda, tem incidência solar desde o nascer até ao pôr do sol. Para evitar esta situação de sobreaquecimento nestas orientações, para além da redução da área de envidraçado, o vidro também deve ter um factor solar reduzido, acompanhado de um sombreamento eficaz colocado do lado exterior da janela.

"No nosso clima, sobretudo os alçados orientados a Poente devem ser extremamente bem protegidos para não proporcionarem ganhos excessivos durante o Verão - uma das medidas bioclimáticas da arquitectura tradicional, implementada de forma sistemática."[192]

Na orientação Norte os vãos são decisivos no balanço energético do edifício. Dependendo do clima, uma área excessiva orientada a Norte sem a devida compensação por envidraçados a Sul, pode levar à impossibilidade de cumprir os critérios Passivhaus. O factor solar nesta orientação deve ser alto para permitir a entrada de mais luz natural.

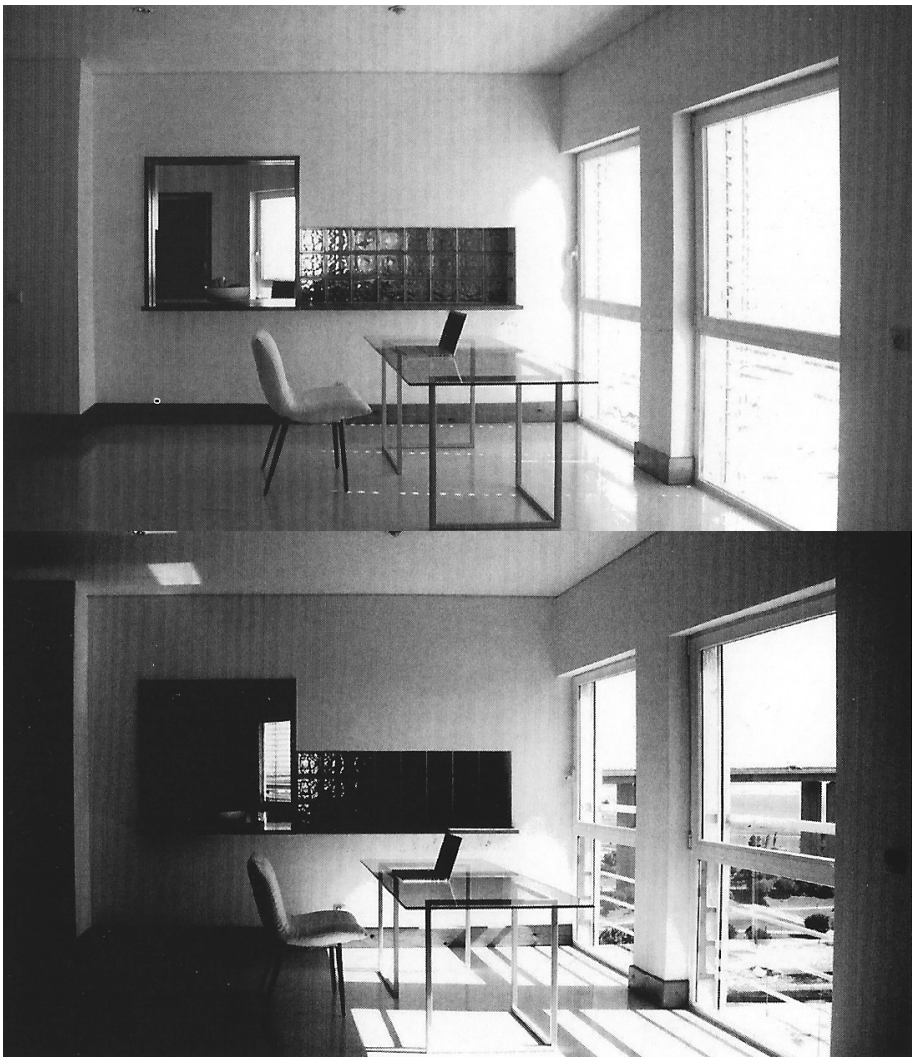
---

189 BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 58

190 TIRONE, Livia e Nunes, Ken. op. cit., p. 136

191 MOITA, Francisco. op. cit., p. 97-102

192 TIRONE, Livia e Nunes, Ken. op. cit., p. 134



36. *Iluminação natural difusa vs. directa*

ILUMINAÇÃO NATURAL

2.4.3

"A luz natural do Sol tem uma poderosa influência sobre a nossa percepção de conforto e sensação de bem-estar; mais, marca o ritmo da nossa vida, o ciclo circadiano (luz/obscuridade, dia/noite)."[193]

A escassez de luz natural, por força da condição geográfica, é sempre associada aos países nórdicos. Portugal, sendo um país do Sul da Europa, contabiliza, na sua extensão continental, entre 1800 e 3100 horas de insolação por ano.[194] Perante estes dados, é surpreendente que Portugal surja no último lugar, a par da Letônia, no que diz respeito a habitações demasiado sombrias.[195]

"Um método eficiente de tortura mental é o uso de um nível de iluminação alto e constante que não deixa espaço para o retraimento mental ou para a privacidade; até mesmo a interioridade escura do ego é exposta e violada."[196]

As vantagens da luz natural não são apenas de ordem energética. A luz do dia influencia o bem estar dos habitantes e interfere com os sentidos. Tanto o excesso como a privação de luz natural podem ter efeitos negativos na saúde humana. A iluminação natural é de extrema importância nas habitações, pois constitui a fonte de luz à qual o olho humano melhor responde e que contribui para o aumento da qualidade espacial e conforto visual.[197] Como fonte de energia renovável contribui para o decréscimo do uso da iluminação artificial. Como visto anteriormente, a luz natural apenas ilumina, eficientemente, os espaços com um máximo de 6 metros de profundidade (ou que não tenham mais do dobro do pé-direito em profundidade) em relação à fachada. Assim, a melhor iluminação - a mais constante e difusa ao longo do ciclo - é aquela que ilumina os espaços orientados a Norte. Nos restantes casos, a luz é sempre directa, podendo ser excessiva e provocar desconforto visual. Se houver contrastes acentuados de luminosidade, entre a janela e o ponto mais afastado desta, as pessoas que se situam no ponto menos luminoso - mesmo que os níveis de luz sejam adequados - sentem a necessidade de mudar as condições do espaço em que se encontram, recorrendo à iluminação artificial.[198]

---

[193] GUIMARÃES, Marcelina e Fernandes, Miguel. *Uma Casa mais Saudável uma Família mais Feliz.* Lisboa: A Esfera dos Livros, 2016, p. 122

[194] MOITA, Francisco. *op. cit.,* p. 104

[195] 10% da população portuguesa considera a sua habitação demasiado sombria. Fonte: EUROSTAT, média de 2007 a 2015 - Consultado 12-04-17

[196] PALLASMAA, Juhani. *Os Olhos da Pele: A Arquitectura e os Sentidos.* Porto Alegre: Bookman, 2011, p. 46

[197] ELGHAZI, Y.; Wagdy. A.; Mohamed, S.e Hassan, A.. *Daylighting driven design: Optimizing kaleidocycle facade for hot arid climate.* BauSIM IBPSA, German-Austrian Conference, 2014, p. 314

[198] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 24

”Quando a luz é bem doseada, como o sal, a arquitectura atinge o seu melhor ponto. Mais luz do que a conta desfaz, dissolve a tensão da arquitectura. E menos do que a conta deixa-a insonsa, muda. Assim como a falta de sal na cozinha deixa os alimentos insípidos e o excesso de sal arruina-os.”[199]

Para evitar este efeito de percepção que pode induzir comportamentos comprometedores da eficiência energética, as entradas de luz devem ser dimensionadas, controladas e bem distribuídas no espaço em função da orientação solar. Com a utilização inteligente de espelhos, lâminas horizontais e superfícies lisas e de cores claras no exterior, colocados junto ao vão envidraçado, é possível “levar” a luz até aos pontos menos iluminados.[200] Deste modo, quanto menos lâmpadas estiverem acesas durante menos tempo, também menores serão os ganhos internos que podem levar ao aumento desnecessário da temperatura operativa nas estações de calor. A fim de atingir o limite de energia primária anual total de 120 kWh/m^2, imposto pela norma Passivhaus, deve ser garantida *”uma eficiência da iluminação de no máximo 2,5 W/m^2 com uma intensidade de 100 lux.”*[201] A soma destas medidas traduz-se em poupanças energéticas que podem ir dos 30 aos 70%.[202]

---

[199] BAEZA, Campo. *Pensar com as mãos.* Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2ª Edição, 2013, p. 54

[200] JOURDA, Françoise-Hélène. op. cit., p. 58

[201] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 63

[202] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 68

PROTECÇÃO SOLAR

2.4.4

Os ganhos solares de um elemento envidraçado durante o Verão podem ser de tal modo excessivos que afectem a temperatura interior e, consequentemente, prejudiquem o bem-estar dos ocupantes. Sempre que se verifiquem situações de radiação solar excessiva, devem ser adoptadas medidas que protejam o vão envidraçado. A protecção solar deve situar-se sempre do lado exterior do vão, evitando que os raios solares contactem com a superfície da janela. Pela sua grande redução de ganhos solares, até 80%[203], esta configura a forma mais eficiente de evitar o sobreaquecimento. Nos casos em que apenas é possível ter a protecção do lado interior do vão, esta deve situar-se o mais próximo possível da janela a fim de minorar o inevitável sobreaquecimento.

"High temperatures due to overheating during heat waves have been found to be associated with an increase in mortality and affect especially those with poor health."[204]

Os últimos dados da Comissão Europeia colocam Portugal num registo negativo relativamente às temperaturas excessivas dentro das habitações. Enquanto na Europa (EU28) 19% da população sofre de sobreaquecimento, Portugal está no penúltimo lugar da tabela com 35.7%, só ultrapassado pela Bulgária com 49.5%.[205] De facto existem inúmeras maneiras de garantir uma boa protecção solar: ou através de elementos fixos que configuram saliências como beirados, consolas, galerias, etc., ou através de elementos movíveis como persianas, toldos, lâminas, etc., ou até através da utilização da vegetação. O sombreamento fixos, embora configure uma solução muito eficaz e provavelmente até a mais conveniente para países do Sul da Europa, pode ser os menos adequados no que diz respeito à luz natural. Nos períodos de Inverno, quando a luz natural é mais necessária no interior, estes elementos reduzem a quantidade de luz que penetra os espaços. Outra desvantagem é que apenas funcionam com ângulos de incidência solar elevados. Ou seja, apenas nos vãos orientados a Sul, já que a Nascente e a Poente o ângulo de incidência é baixo ao longo de todo o ano. Nesta situação é recomendável utilizar dispositivos movíveis ou vegetação pois *"os vãos envidraçados orientados a Poente são, no nosso contexto climático, os que melhor poderão contribuir para o sobreaquecimento da habitação."*[206]

---

[203] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op.cit., p. 97

[204] Comissão Europeia em www.ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-factsheets - Consultado 14-04-17

[205] Comissão Europeia em www.ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-factsheets - Dados de 2012 - Consultado 14-04-17

[206] TIRONE, Livia e Nunes, Ken. op. cit., p. 152



37. *Protecção solar sem bloquear a luz natural*

A importância do sombreamento é demonstrada num estudo de monitorização[207] realizado na Áustria. A percentagem anual de horas de sobreaquecimento (> 25ºC), prevista segundo os cálculos, era de 3,5%. No entanto, registaram-se valores de 20,6% no primeiro ano após a conclusão da obra. Esta discrepância deve-se ao facto de não terem sido implementados, em obra, os dispositivos de proteção solar exteriores previstos no projecto e também no cálculo.
A vegetação, para além de servir o propósito do sombreamento no Verão, também tem a capacidade de equilibrar os níveis de humidade do ar e a temperatura. Atenua a intensidade dos ventos até 50%, funciona como barreira de som e ainda absorve até 75% da poluição e partículas do ar.[208]

"Over onde day, a single, large tree can transpire 450 liters, diverting 230,000 Kcal of energy away from raising air temperatures, equivalent to five average air-conditioner units running for 19 hours each."[209]

Com uma transparência de 70 a 90% no Inverno e 5 a 40% no Verão (para árvores de folha caduca)[210], as árvores apresentam-se como o melhor aliado no combate ao sobreaquecimento - e não só. Apenas é necessário ter atenção no que diz respeito à localização, dimensão e proximidade destas com o edifício, pois mesmo uma árvore de folha caduca pode reduzir em até 20%[211] a quantidade de luz disponível no Inverno. Sempre que possível, o Homem, como interveniente directo na natureza, devia fazer proveito desta *"(...) porque da boa relação da envolvente do edifício com a natureza se poderá tirar consideráveis mais-valias."*[212]

---

[207] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p.125-148

[208] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 55

[209] Idem, p. 49

[210] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 39

[211] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 56

[212] TIRONE, Livia e Nunes, Ken. op. cit., p. 136

2.5

VENTILAÇÃO

"Se eles não forem deixados entrar, não só o lugar ficará saudável para os corpos sãos, como também, se eventualmente se originarem doenças a partir de outros condicionalismos, a que em outros lugares salubres se opõem tratamentos médicos, nestes lugares, devido à mistura de ventos na devida proporção, essas doenças mais facilmente serão tratadas. (...) No sentido oposto, um ar brando e espesso, que não apresenta brisas nem frequentes turbulências, devido à sua imóvel estabilidade, reforçando os seus membros, alimenta-os e restaura aqueles que estão atacados por estes males."

Vitrúvio



38. *Smog na cidade de Londres*

QUALIDADE DO AR

2.5.1

Os níveis de poluição do ar nos espaços interiores dos edifícios pode ser até 10 vezes superior àquela registada no exterior. Para este valor contribuem os próprios materiais de construção (tintas, vernizes, mobiliário, etc.), a contaminação biológica (mofo, bactérias, etc.) e o próprio uso doméstico (produtos de limpeza, ambientadores, fumos, etc.).[213] Sendo que a maioria das pessoas passa 90% da sua vida no interior de edifícios, torna-se essencial assegurar uma boa qualidade do ar que é sabido ter impacto directo na saúde e produtividade das pessoas. Os problemas de saúde relacionados com a má qualidade do ar podem ser: asma, doenças infecciosas, cancro e outros danos genéticos.[214] Marcelina Guimarães e Miguel Fernandes enfatizam a problemática da poluição do ar, tanto interior como exterior, comparando as 230000 mortes por ano causadas por este fenómeno às 20000 mortes/ano causadas pelos acidentes de trânsito.[215] Assim, devem ser definidas estratégias de ventilação, em primeiro lugar, eficazes e, em segundo lugar, eficientes do ponto de vista energético. Só assim podem ser evitadas situações como as que ocorrem na maioria dos edifícios onde (ainda) existe uma dependência directa do clima exterior para ventilar, com sucesso, os espaços dos edifícios pois, como é sabido, apenas é possível ventilar quando estão reunidas as condições para tal. Por exemplo, as baixas temperaturas exteriores, no Inverno, até são favoráveis para ventilar em virtude do grande contraste com a temperatura interior. No entanto, o frio leva à diminuição da frequência de abertura das janelas. Assim, o Inverno torna-se o período mais crítico no que diz respeito à qualidade do ar (QAI) das habitações.

Determina-se assim a QAI segundo:

- a qualidade do ar no exterior dos edifícios;
- a frequência de ventilação;
- emissão de poluentes no interior como CO_2, humidade, radão e compostos orgânicos voláteis (COV).

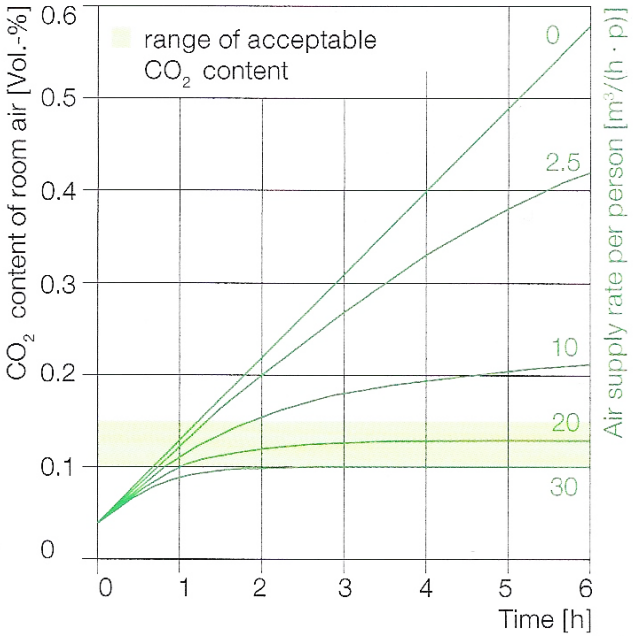
No caso de existirem equipamentos mecânicos de ventilação, a QAI também é directamente influenciada pela eficiência dos filtros e pela manutenção regular do equipamento.

---

213 GUIMARÃES, Marcelina e Fernandes, Miguel. op. cit., p. 113

214 BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 32

215 GUIMARÃES, Marcelina e Fernandes, Miguel. op. cit., p. 112



39. *Concentração de CO_2 conforme o tempo e a taxa de renovação do ar*

O CO_2 é um gás nocivo que está presente em todos os edifícios pois o próprio ar expirado pelo corpo humano contém uma concentração de 4,5% (45000 parte por milhão, ppm) deste gás.[216] Assim, o corpo, quando executa tarefas simples em posição sedentária, produz aproximadamente 18 litros de CO_2; durante o sono, este valor reduz-se para cerca de 12 l/h.[217]

"A concentração de CO_2 numa divisão está dependente do número de ocupantes, do tempo de ocupação, da quantidade de ar da divisão que é renovado, da dimensão da divisão, da existência de fontes de contaminação e da concentração exterior (que pode variar entre 350 e 400 ppm)."[218]

Os níveis de CO_2 presentes no ar são um indicador simples da QAI que é classificada segundo a EN 13779. Esta norma foi desenvolvida originalmente para espaços não habitacionais, no entanto, também é tomada como referência para as habitações. As classificações são:[219]

IDA 1	≤ 400 ppm	QAI Elevada
IDA 2	≤ 600 ppm	QAI Média
IDA 3	≤ 1000 ppm	QAI Moderada
IDA 4	> 1000 ppm	QAI Baixa

IDA, indoor air.

Para satisfazer o chamado limite de Pettenkoffer (a concentração de CO_2 numa divisão tem de ser inferior a 0,1% do volume do ar, ou seja, menos de 1000 ppm de CO_2) é necessário garantir um volume de ar fresco equivalente a 30 m^3/h por pessoa.[220] Apesar desta classificação, os níveis de CO_2 entre 1000 e 1500 ppm são aceitáveis quando analisados estrictamente do ponto de vista da saúde. Nesse sentido, o estudo realizado pela equipa do PHI demonstra a satisfação dos inquiridos (80%) com o sistema de ventilação mesmo com os níveis superiores a 1000 ppm registados durante mais de metade das horas nocturnas.[221]

---

[216] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 49

[217] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 134

[218] GAVIÃO, João Rui Santos Pires. op. cit., p. 46

[219] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 135

[220] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 134

[221] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 144

A humidade relativa descreve, em percentagem, a quantidade de vapor de água presente no ar em função do máximo de humidade que o ar pode transportar àquela temperatura e pressão.[222] A humidade contida no ar depende, assim, sempre da temperatura deste. Quanto mais quente o ar, mais humidade consegue transportar. Salvo situações extremas, a influência da humidade relativa (HR) não afecta o conforto térmico. Como o corpo humano não dispõe de nenhum orgão dedicado à detecção da humidade, tolera um espectro de variação alargado deste parâmetro.[223] Por exemplo, aumentar a HR de 20% para 60% permite reduzir a temperatura em 1ºC sem haver alteração da percepção de conforto.[224] Deste modo, valores de HR situados entre 30 e 70% são aceitáveis, tendo sempre em consideração que valores acima dos 60% aumentam a percepção de frio no Inverno e de calor no Verão, o que pode tornar os espaços desconfortáveis.[225]

Todas as actividades humanas, como as tarefas domésticas e de higiene e o próprio metabolismo, aumentam a HR. Por exemplo, quatro pessoas podem gerar até 15 litros de vapor de água, diários.[226] Torna-se assim necessário eliminar o vapor de água eficazmente, caso contrário, a HR aumenta para níveis superiores aos 70% o que, para além de criar uma situação de desconforto como acima visto, também pode causar o surgimento de patologias (mofo).[227] No sentido inverso - apesar de não haver consenso acerca do impacto na saúde humana - uma exposição prolongada a uma humidade relativa inferior a 30% pode ter como consequência o surgimento de problemas de garganta, olhos e pele seca.[228] Deste modo, em climas muito secos a ventilação mecânica (VM) pode agravar o problema da HR demasiado baixa. Nestas situações, é vantajoso baixar o fluxo de ar para 20 m^3/h por pessoa. Esta redução permite preservar o nível de HR. Em climas muito secos a redução do fluxo de ar pode não ser suficiente para manter a HR. Por motivos de salubridade, não é aconselhado reduzir ainda mais o fluxo, passando a solução pela integração (no sistema de ventilação) de um recuperador de humidade. Assim, a humidade é recuperada à medida que a taxa de renovação para uma boa QAI é mantida.

---

[222] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 22

[223] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 133

[224] COMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. op. cit., p. 113

[225] GUIMARÃES, Marcelina e Fernandes, Miguel. op. cit., p. 129, 130

[226] ALFONSO, Jesús Soto. *La ventilación mecánica con recuperación de calor: la garantía de calidad del aire interior.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 9. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 132

[227] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 48

[228] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 144 - 145

Radão

O radão é invisível, inodoro e imperceptível, mas é radioactivo e nocivo. A exposição prolongada a este gás, pode ter consequências prejudiciais à saúde. Tem origem no solo, especialmente em zonas graníticas, mas pode também ter origem em materiais de construção. Significa isto que uma construção, em contacto directo com o solo, terá mais probabilidade de acumular radão. Contudo, não significa que todas as construções padeçam desta patologia nem que as construções em granito tenham necessariamente de apresentar concentrações de radão elevadas.

Um estudo[229] prova que a concentração de radão está directamente ligada à taxa de renovação do ar, temperatura e humidade relativa. Registam-se os valores menos favoráveis à acumulação de radão quando a taxa de renovação do ar é igual a 0,3 (valor também recomendado pelo PHI), a temperatura do ar está entre 21-23ºC e a humidade relativa é igual a 60%, sendo que abaixo de 30% e acima de 70% os valores sobem consideravelmente. Assim, a manutenção da temperatura interior, da humidade relativa e de uma boa ventilação, são determinantes para reduzir a concentração de radão no ar. Contudo, por motivos óbvios, é no Inverno, quando a frequência de ventilação é reduzida ou inexistente e a temperatura interior tende a ser mais baixa, que se registam os valores mais elevados. Medições efectuadas na habitação do autor desta Dissertação mostram que os níveis podem chegar a valores próximos de 1500 Bq/m^3 no Inverno, o que corresponde a um valor quase 4 vezes superior ao valor limite de referência recomendado pela legislação portuguesa (400 Bq/m^3). Contudo, não há consenso quanto ao valor máximo admissível. A União Europeia recomenda um valor máximo de 300 Bq/m^3, já a Organização Mundial de Saúde (WHO) considera um valor máximo de 100 Bq/m^3.[230]

COV

É considerado composto orgânico volátil (COV) qualquer substância química que se converta em gases nocivos à saúde humana.[231] Os COV estão presentes nos acabamentos interiores das construções e nos objectos do quotidiano como por exemplo, *"madeiras, placas de contraplacado, aglomerados, lá de rocha, pinturas, vernizes, decapantes, colas, fungicidas, bactericidas, móveis de contraplacado, carpetes, cortinas, colchões, detergentes, ambientadores, impressoras, fotocopiadoras, etc."*[232]

---

[229] AKBARI, Keramatollah; Mahmoudi, Jafar e Ghanbari, Mahdi. *Inlfuence of indoor air conditions on radon concentration in a detached house.* Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 116, 2013, p. 166-173

[230] GUIMARÃES, Marcelina e Fernandes, Miguel. op. cit., p. 79

[231] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 48

[232] GUIMARÃES, Marcelina e Fernandes, Miguel. op. cit., p. 113

Sempre que possível, dever-se-ia promover a ventilação natural pois é gratuita e não consome qualquer tipo de recurso. Está comprovado que no Verão a ventilação natural, quando nocturna, é vantajosa e evita a frequência de sobreaquecimento das habitações.[233] Por exemplo, através da colocação das janelas na posição inclinada (basculante) durante o período nocturno, é possível diminuir a necessidade energética para arrefecimento em 3,8 kWh/(m^2a).[234] No caso de se abrir as janelas na totalidade, Jürgen Schnieders calculou ser possível anular a necessidade para arrefecimento em cidades como Lisboa e Porto. No entanto, o elevado fluxo de ventilação que ocorre nestas condições tem o inconveniente de introduzir ar mais húmido e frio na habitação. Consequentemente, a temperatura do ar interior baixa e a humidade relativa aumenta.[235] Assim, ventilar de forma natural e eficaz, pode tornar-se desafiante. Por exemplo, partindo do princípio que se consegue fazer uma renovação total do ar de cada vez que se abre as janelas, seria necessário repeti-lo pelo menos sete vezes por dia (7 renovações totais em 24 horas). Só assim seria possível assegurar uma taxa de renovação por hora igual a 0,3 (valor considerado como mínimo para assegurar a QAI). Outros factores limitadores e inibidores da ventilação natural poderão ser a poluição atmosférica (veículos, indústria, fogos florestais, etc.), os odores desagradáveis, a poluição sonora, a falta de vento suficiente para ventilar, assim como outras condições climáticas como tempestades, chuva, etc. Assim sendo, esgota-se rapidamente o potencial da ventilação natural que se pretende eficaz e que, nestas situações, pode ter efeitos contrários aos pretendidos.

Existem três tipos de ventilação:[236]
- natural;
- híbrida;
- controlada.

---

[233] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 11

[234] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 199

[235] Idem, p. 14 - 15

[236] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 49

Ao contrário da ventilação natural que é apenas eficaz em situações muito específicas, a ventilação híbrida permite ventilar os espaços de forma mais eficaz e contínua. A ventilação híbrida, também denominada de "ventilação de fluxo simples", consiste num sistema de ventilação mecânica que apenas extrai o ar dos espaços húmidos como a cozinha, quartos de banho, instalações sanitárias, etc. A insuflação é assegurada por aberturas na caixilharia concebidas para o efeito ou mesmo por aberturas na fachada. Este tipo de ventilação adequa-se especialmente às Passivhaus construídas nos climas amenos onde as temperaturas são constantes tanto no Verão como no Inverno.[237] Nos climas mais frios, este tipo de ventilação representa uma grande perda de energia pois o calor contido no ar expulso não consegue ser recuperado e o ar exterior admitido directamente para o interior leva ao arrefecimento da temperatura ambiente.

O terceiro tipo de ventilação - e o que mais se adequa a um edifício de baixo consumo energético - é a ventilação controlada, também conhecida por "ventilação de fluxo duplo" ou "ventilação conforto". Este sistema de ventilação funciona segundo o mesmo princípio da ventilação híbrida, no entanto, ao contrário desta, usa duas redes de condutas: uma de insuflação (ar fresco vindo do exterior) e outra de extração (ar viciado vindo do interior). Estes equipamentos destinam-se tanto a climas quentes como frios, sendo regra nos edifícios Passivhaus da Europa Central e também nos construídos em Portugal.

O sistema de ventilação de fluxo duplo é composto por:[238]
- unidade de ventilação composta por recuperador de calor, filtros de ar e dois ventiladores:
- condutas de insuflação (ar fresco);
- condutas de extracção (ar viciado);
- componentes complementares.

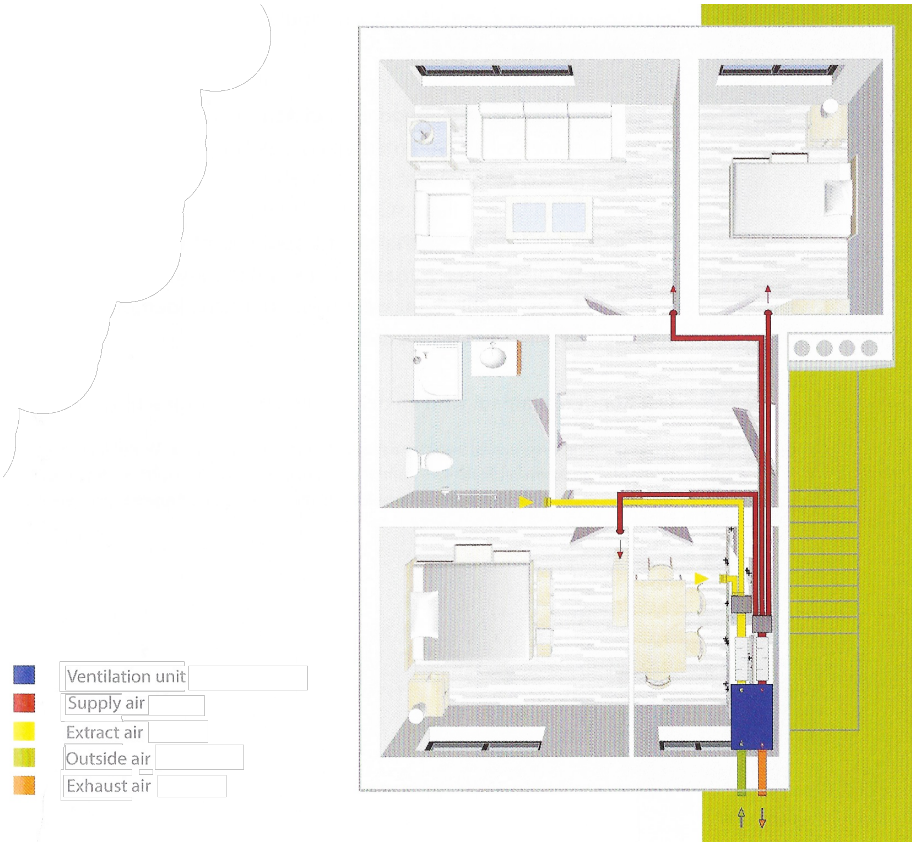
Aquando do *Component Award 2016*, o PHI comparou as três soluções vencedoras (ventilação controlada com recuperador de calor) com um sistema de exaustão de ar de referência. Os resultados do estudo mostram que, apesar do custo de aquisição avultado do sistema de ventilação com recuperador de calor (RC) (mais do dobro), a diferença do custo real ao longo do ciclo de vida útil. (25 anos) é inferior a 70€ anuais graças à eficiência elevada da VM com RC.[239]

---

[237] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 51

[238] Idem, p. 54

[239] Valores referentes ao clima do centro da Europa.
PHI. op. cit., p. 32 - 35



40. *Conceito de ventilação*

A elevada estanquidade típica de uma PH permite implementar sistemas de ventilação de um modo extremamente eficaz e eficiente. Caso contrário, dificilmente seria possível controlar os fluxos de entrada e saída de um edifício, nem seria eficaz recuperar a energia térmica (calor). Assim, um dos aspectos mais importantes numa Passivhaus, para além dos vistos nos capítulos anteriores, é o sistema de ventilação. A ventilação mecânica é indispensável numa construção hermética, como é o caso da Passivhaus, pois não será expectável que os habitantes consigam providenciar uma ventilação suficiente através da aberturas de janelas apenas. Assim, este equipamento permite eliminar tanto o excesso de CO_2 e humidade, como as bactérias, os maus odores, a poluição exterior dos espaços habitáveis de um modo quantificável e controlado. Ou seja, só assim são evitadas situações patológicas (bolor) e assegurada uma boa qualidade do ar interior de um modo energicamente eficiente.

Visto que uma Passivhaus dispensa sistemas de aquecimento activos, não há forma de colmatar as perdas energéticas originadas pela ventilação (o ar interior quente é evacuado e o ar frio exterior é insuflado). Daí, quando se conjuga o sistema de ventilação com um recuperador de calor, os níveis de conforto e de eficiência energética sobem consideravelmente. Deste modo, uma PH equipada com ventilação mecânica (VM) e recuperador de calor (RC) é sinónimo de conforto térmico, qualidade do ar muito elevada e eficiência energética.

Países como a Alemanha, por exemplo, reconhecem as vantagens e têm vindo a promover a implementação de sistemas de ventilação: *"In order to further contribute to increasing energy efficiency in the building sector, on 1 January 2016 the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy launched the Incentive Programe for Energy Efficiency to supplement existing funding programes."*[240] Um estudo[241] comparativo entre construções similares, mas em que uma dispõe de VM com RC e outra não, realça as vantagens da ventilação mecânica controlada. Na construção com sistema de ventilação foi registada uma QAI superior, sem nunca atingir índices de humidade relativa elevados (< 70%). Também a temperatura média apresentou valores superiores de até 3,6ºC, no Inverno, e com uma necessidade energética três vezes inferior.

Contudo, a fim de conseguir uma boa qualidade do ar interior, estes sistemas mecânicos têm de ser correctamente dimensionadas, instalados e mantidos. Caso contrário, os benefícios rapidamente se transformam em problemas maiores de saúde.

---

[240] PHI. *Lüftungskonzepte für die Sanierung.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016, p. 7

[241] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 125-148

Embora não seja um requisito, devem ser sempre utilizados equipamentos testados e aprovados[242] pelo PHI. Só assim é assegurado o cumprimento de todas as exigências impostas à unidade de ventilação. O PHI define alguns princípios para um sistema de ventilação económica e energicamente eficiente. São eles:[243][244]

- utilização de unidades de ventilação altamente eficientes, com uma eficiência de recuperação de calor ≥ 75% e uma eficiência eléctrica ≤ 0,45 Wh/m³;
- ar fresco insuflado a uma temperatura mínima de 16,5ºC;
- fugas de ar < 3%;
- sistema bem isolado (> 5 W/K);
- três modos de funcionamento (70%, 100% e 130%);
- rede distribuidora compacta: não só reduz as perdas de pressão e, consequentemente, o consumo de energia, como também diminui o custo de instalação;
- utilização de sistemas pré-fabricados que normalmente configuram soluções mais compactas e já compatíveis entre si;
- unidade de ventilação integrada de modo a ocupar o menor espaço possível;
- considerar e integrar na arquitectura elementos e condutas que possam permanecer à vista e, assim, reduzir o custo de instalação e de manutenção;
- adoptar um modo de funcionamento eficiente que reduza a perda de calor, através da ventilação, e diminua a necessidade energética do sistema;
- funcionamento equilibrado para garantir a mesma quantidade de ar insuflado e extraído;
- manutenção periódica do sistema de ventilação, mediante substituição do filtro de ar e verificação do dreno de condensação, efectuada pelo menos uma vez ao ano, no Outono, antes do início do período de aquecimento.

---

242 O PHI disponibiliza uma base de dados com todos os equipamentos disponíveis no mercado que pode ser consultada em: https://database.passivehouse.com

243 PHI. *Lüftungskonzepte für die Sanierung.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016, p. 10, 16

244 GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 134 - 135

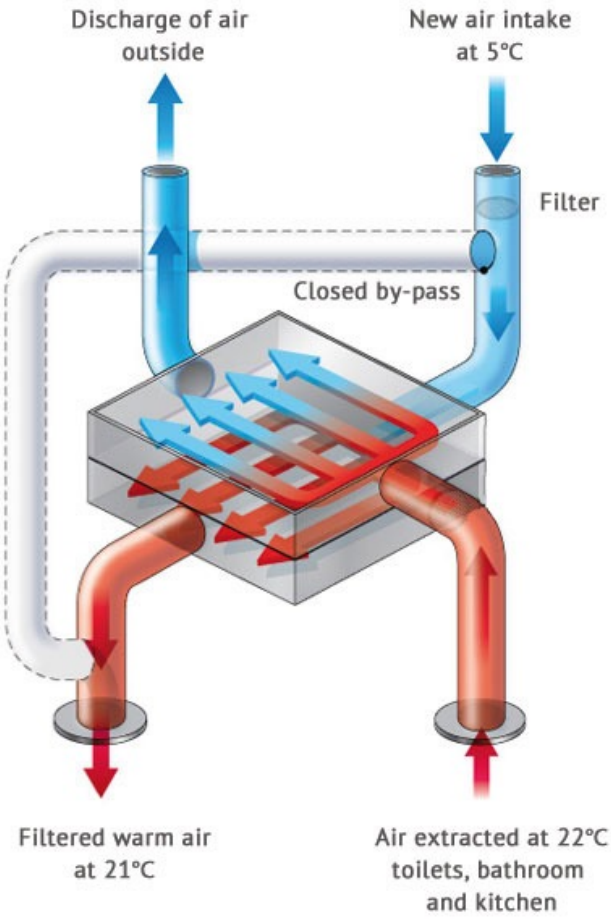
Dimensionamento

Como explicado no ponto 2.2.2, a norma Passivhaus define a renovação de ar em função da ocupação do edifício e do caudal mínimo para assegurar as condições de salubridade. Esse caudal mínimo é igual a 1 m^3/h por m^2, o que corresponde a 0,3 renovações do volume de ar total por hora.[245] Ou seja, o sistema tem de garantir um caudal equivalente a 30 m^3/h por pessoa. Segundo M. Wassouf, *"Este fluxo de troca de ar costuma ser inferior ao fluxo estabelecido pelas normas de edificação da maioria dos países europeus."*[246] Este caudal de ar mínimo não só tem a vantagem de reduzir o consumo energético como também reduz o ruído dos ventiladores e elimina qualquer tipo de desconforto que possa ser sentido pelas correntes de ar geradas pela VM. Outra maneira de reduzir ainda mais o fluxo, sem diminuir a qualidade do ar interior, corresponde à instalação de sensores reactivos ao CO_2, vapor de água ou outro tipo de contaminantes. Apesar de encarecerem a instalação, elevam a eficiência do sistema de ventilação. Estes dispositivos de monitorização da QAI permitem que o equipamento apenas trabalhe quando sejam excedidos determinados níveis de poluentes.[247] Deste modo, a taxa de renovação do ar pode ser reduzida, por exemplo, para 20 m^3/h por pessoa, no período nocturno.

[245] ALFONSO, Jesús Soto. op. cit., p. 128, 130

[246] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 54

[247] ALFONSO, Jesús Soto. op. cit., p. 128, 130



41. *Funcionamento do recuperador de calor*

Recuperador de Calor

O recuperador de calor não só reduz as perdas de calor que ocorrem com a ventilação, como também reduz a relação entre as temperaturas exteriores e as que se fazem sentir no interior do edificado. Quanto maior a eficiência de recuperação de calor do equipamento (≥ 75%) e quanto mais hermético se apresentar o edifício ($n_{50} \leq 0{,}6\ h^{-1}$), menor será a perda de calor proporcionada pela ventilação. Como o nome indica, o calor é recuperado do ar extraído que normalmente ronda os 20ºC. Através de um permutador de calor, a energia é transferida para o ar admitido do exterior (que no Inverno está sempre a temperaturas inferiores às desejadas), sem que os fluxos de ar se misturem. Desta forma, a maioria da energia é trocada entre o fluxo que sai e o que entra.

Existem assim dois tipos de recuperadores de calor:[248]

- estático: pela sua simplicidade e consumo energético reduzido é o que mais frequentemente é utilizado nas construções Passivhaus;

- entálpico: sistema que também tem capacidade para recuperar a humidade do ar e que, por isso, é o mais indicado em climas com ar muito seco ou muito húmido, embora, o custo de aquisição, manutenção e o consumo energético seja mais elevado.

Um edifício que esteja provido de um equipamento com uma taxa de recuperação de, por exemplo, 90%, necessita de apenas 10% de energia restante para manter a temperatura operacional. Assim, devido à alta eficiência do RC, o sistema de ventilação poupa mais energia do que a que gasta, sendo possível alcançar, por exemplo, um COP (coeficiente de desempenho) de 16,5.[249][250] Este efeito faz-se notar principalmente nos climas frios, como é o caso da Europa Central, onde o recuperador de calor pode reduzir a necessidade energética de uma Passivhaus de 40 kWh/m²a para 15 kWh/m²a.[251] Assim, as vantagens não são apenas energéticas: o pré-aquecimento e a redução de partículas, através da filtragem do ar que entra no edifício, também aumentam significativamente o conforto.

---

[248] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 58

[249] COP 16,5 = 16,5 unidades de calor para cada unidade de energia consumida.
Assim, com 1 kWh de energia é possível obter 16,5 kWh de calor (1kWh + 15,5 kWh).

[250] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 22

[251] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 11

Já em Portugal, graças às temperaturas mais amenas, o estudo[252] de Jürgen Schnieders mostra que com a existência, a montante, de um isolamento térmico melhor, o recuperador de calor pode ser dispensado.

Para garantir uma ventilação adequada no Verão, o recuperador de calor tem de ser contornado através de um *by-pass* manual ou, então, de um que seja automaticamente gerido pela unidade de ventilação. Desse modo, o ar exterior, quando se encontra a uma temperatura adequada, é directamente introduzido no interior do edifício sem ser pré-aquecido como acontece no Inverno. No caso de uma vaga de calor, o sistema, para evitar a introdução de ar quente vindo do exterior e a uma temperatura excessiva no interior, reduz o fluxo de ar prevenindo situações de sobreaquecimento.[253] Desde modo é possível aproveitar as vantagens da ventilação nocturna que permitem reduzir a temperatura no interior de forma passiva.

---

[252] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 86 - 92

[253] Idem, p. 154

Rede de Distribuição

A unidade mecânica não necessita de um espaço próprio devido ao modo de funcionamento silencioso do equipamento. O PHI recomenda um nível de ruído ≤ 25 dB(A) para espaços habitáveis e ≤ 30 dB(A) para o espaço onde esteja inserida a unidade de ventilação mecânica.[254] Sempre que *"a distância entre duas tomadas de ar for superior a 5m, é conveniente introduzir amortecedores acústicos."*[255]

Também as condutas devem ser devidamente isoladas em função da temperatura do ar que transportam e da temperatura ambiente do espaço onde se encontram. A sua fixação é feita tanto em plano vertical como horizontal (paredes e tectos) e são fixadas com braçadeiras isofônicas para não transmitir vibrações à estrutura do edifício.[256]

De modo a optimizar todo o sistema de ventilação, o ar deve sempre circular dos locais secos para os húmidos.[257] Assim, os espaços de estar, lazer e dormir - denominados espaços de insuflação - devem ser providos de ar fresco. Inversamente, nos espaços sanitários, técnicos e de confecção de alimentos, o ar é extraído. As zonas situados entre os espaços de insuflação e os de extracção (circulação, corredores, escadas, etc.) servem como zonas de transferência de ar e são automaticamente ventiladas.

Nos últimos anos o consumo eléctrico das unidades domésticas de ventilação mecânica baixou significativamente graças à utilização de ventiladores com tecnologia de comutação electrónica nos motores (EC - *electronic commutation*).[258] No entanto, para conseguir tirar o melhor proveito da excelente eficiência energética dos ventiladores, a rede de distribuição do ar (RDA) não pode ter perdas de pressão. Assim, a RDA deve ser o mais compacta possível. Quanto mais compacta, menor é a perda de pressão e, consequentemente, a quantidade de energia necessária para "conduzir" o ar do ponto A para B também é menor. Desta maneira, consegue-se simplificar todo o sistema, diminuindo tanto os custos de aquisição e montagem iniciais como, também, os custos de manutenção.

---

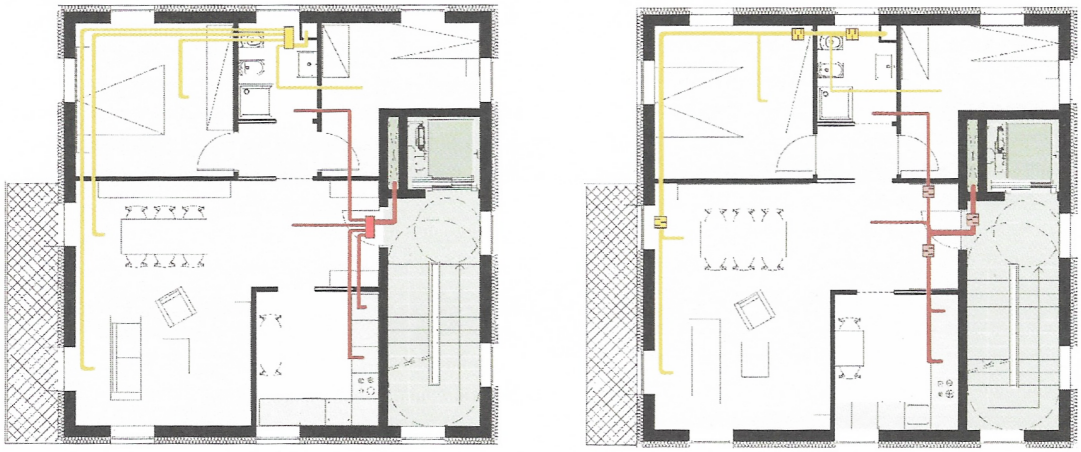
254 PHI. *Lüftungskonzepte für die Sanierung.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016, p. 14

255 WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 60

256 ALFONSO, Jesús Soto. op. cit., p. 130

257 Idem, p. 123

258 PHI. op. cit., p. 16



42. *Distribuição em rede vs. linear*

Existem assim dois tipos de rede de distribuição:[259] [260]

- Sistema em rede: esta conceito de distribuição do ar faz a ligação directamente do equipamento até ao espaço a ser ventilado. Daí, não necessitar de amortecedores acústicos entre condutas, que normalmente são de PE e têm um diâmetro reduzido (50-65 mm), o que permite serem embutidas nas lajes de betão armado.

- Sistema linear: contrariamente ao sistema de distribuição em rede, o sistema linear leva o ar até aos espaços por uma conduta única. Assim, apesar de necessitar de menos metros lineares de conduta, requer um projecto de ventilação mais sofisticado e um isolamento acústico mais eficaz, caso contrário ocorre o característico "efeito telefone". Outra desvantagem é o diâmetro da conduta de PE que terá de ser de 100-160 mm, o que requer mais espaço para a sua instalação. No entanto, uma rede com menos metros lineares, como é o caso desta, facilita a limpeza e a manutenção e reduz a perda de pressão. O maior diâmetro das condutas também permite velocidades de ar superiores com menor ruído. Deste modo, é viável reduzir ainda mais a extensão da rede pois o ar fresco é insuflado por difusores de grande alcance, situados próximos do tecto. Deste modo é possível ventilar mesmo os espaços mais profundos, evitando correntes de ar que podem causar desconforto. O PHI aconselha a utilização deste sistema sempre que possível.

[259] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 60 - 61

[260] FEIST, Wolfgang; Ebel, Witta; Peper, Søren; Hasper, Wolfgang; Pfluger, Rainer e Kirchmair, Martin. *25 Jahre Passivhaus Darmstadt Kranichstein.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016, p. 160

Equilíbrio

Como visto no ponto 2.3.4, o equilíbrio entre o volume de ar insuflado e extraído é extremamente importante. Deve ser sempre reposto exactamente o mesmo volume de ar que é extraído do edifício. Caso se verifique um desequilíbrio superior a 10%, a construção não será certificada como sendo Passivhaus.[261]

No caso de interrupção do fluxo constante de entrada e saída de ar, o sistema é descompensado. Esta situação ocorre, por exemplo, sempre que é aberta uma janela. Significa isto que, no Inverno, a massa de ar que entra pela janela aberta não irá passar pelo recuperador de calor e, deste modo, não é pré-aquecida nem filtrada antes de entrar nos espaços. A VM, em situação de descompensação, não é eficiente e gasta mais energia do que aquela que seria possível poupar. Assim, no período de frio, não é necessário abrir janelas numa PH para ventilar os espaços. Um questionário[262] mostra que mais de 80% dos moradores de um complexo habitacional PH, na Áustria, continuam a ventilar as suas casas através da abertura de janelas durante o Inverno - a par do funcionamento da VM - sem haver necessidade. O desconhecimento acerca do funcionamento do sistema de ventilação mecânica demonstrado por mais de 50% dos inquiridos pode explicar este comportamento erróneo. Assim, em função do comportamento dos habitantes, as temperaturas interiores podem variar dos 18 aos 24ºC e a necessidade energética para aquecimento pode variar de 3 a mais de 40 kWh/m^{2}a.[263] Já nas restantes estações do ano, não há qualquer implicação ou consequência negativa em abrir janelas. Como visto, no Verão, até é benéfico.

Os dispositivos consumidores do ar do interior dos espaços também podem levar à descompensação da VM. Exemplo disso são os equipamentos de combustão como fogões a gás, lareiras a biomassa ou bioetanol e os equipamentos de extração de ar como exaustores de cozinha, chaminés de lareiras ou sistemas de aspiração central. Devido à grande depressão que estes equipamentos geram, não é recomendada a sua utilização em simultâneo com a VM.[264]

---

[261] WASSOUF, Micheel. op. cit., p. 55

[262] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 138

[263] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 6

[264] ALFONSO, Jesús Soto. op. cit., p. 131

A abordagem mais simples e eficaz passa pela não incorporação destes equipamentos numa PH:

- os fogões a gás podem ser substituídos por equipamentos eléctricos;
- as lareiras numa PH são, de um ponto de vista calorífico, supérfluas e, na maioria dos casos, sinónimo de investimento desnecessário. Não obstante, quando prevista numa construção, a lareira tem de ser hermética. Significa isto que o abastecimento de ar é feito directamente do exterior para a câmara de combustão. Deste modo, não há interferência com os caudais de ar da VM nem ocorre contaminação do ar interior por monóxido de carbono (CO);
- os exaustores de cozinha convencionais não são recomendáveis. A razão prende-se com a quantidade avultada de ar que extraem e com a daí resultante necessidade de ter um ponto adicional de insuflação de ar para que o equipamento funcione. A solução passa por utilizar exaustores de recirculação. Como o nome indica, estes equipamentos utilizam apenas o ar existente no interior da habitação e dispensam interrupções adicionais na envolvente opaca para garantir a extracção e insuflação de ar. Para que assim seja, são separados todos os contaminantes (humidade, gordura, maus odores, etc.) do ar através da utilização de filtros de carbono activo.

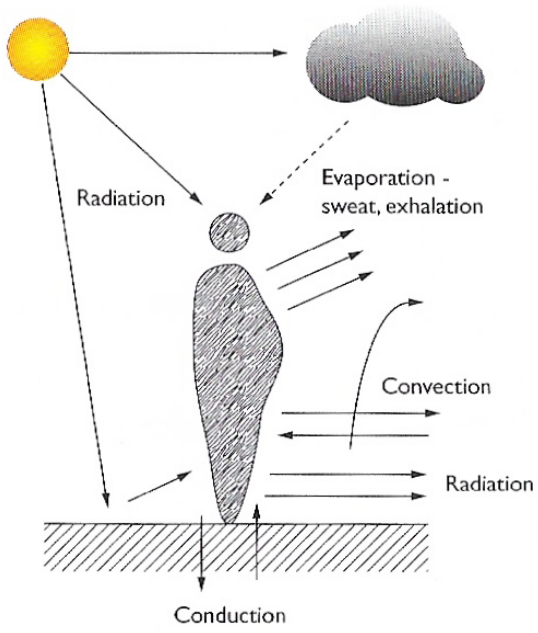
Manutenção

Por fim, a manutenção periódica, para além de fundamental ao bom funcionamento do sistema, é simples. Basta substituir atempadamente os filtros. A troca deve ser efectuada anualmente tendo sempre em conta os níveis de poluição exteriores. Em áreas muito poluídas, por exemplo, recomenda-se a substituição semestral. No caso da Passivhaus Darmstadt - Kranichstein, o sistema de ventilação nunca foi limpo em 25 anos de funcionamento. Uma análise[265] exaustiva revelou, em laboratório, não haver indícios de germes ou bolor, estando as condutas em perfeitas condições de higiene. Os investigadores concluem que este facto é devido à eficácia elevada dos filtros tal como à substituição regular destes.

"It turned out that a nearby large construction site (...) had excessively clogged the filters before the scheduled maintenance on the central ventilation unit."[266]

[265] FEIST, Wolfgang; Ebel, Witta; Peper, Søren; Hasper, Wolfgang; Pfluger, Rainer e Kirchmair, Martin. op. cit., p. 160

[266] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 135



43. *Ganhos e perdas de calor do corpo humano*

CONFORTO TÉRMICO

2.5.3

A busca pelo conforto é uma motivação maior que subsiste no ser humano desde a sua existência. O conforto térmico é uma condição importante e determinante do bem-estar, da saúde física e psicológica e da produtividade das pessoas. A busca de conforto, embora não soberana, também determina a arquitectura dos edifícios. Assim, *"O Regulamento das Características de Comportamento Térmico apresenta o conforto térmico como um direito das pessoas e estabelece um patamar mínimo que deve ser atingido em todos os edifícios habitacionais."*[267] É possível alcançar o conforto térmico de várias maneiras. No entanto, nos dias que correm, o consumo de recursos está sempre associado ao conforto térmico nas edificações. Varia apenas a quantidade de energia necessária para atingir determinado nível de conforto. Nesse sentido, está provado que o conforto térmico é subjectivo e *"a nossa sensação de conforto térmico não é absoluta, mas sim adaptativa - e essa capacidade de nos adaptarmos às condições climáticas do contexto em que estamos torna-se mais ampla, mais tolerante, quando o clima em causa resulta de um contexto natural (ao contrário de um artificial)."*[268] O corpo humano, ao contrário de uma Passivhaus, não armazena calor. Pelo contrário, todo o calor gerado é dissipado para manter a temperatura constante. Assim, a temperatura ambiente e radiante, no interior dos edifícios, afecta directamente a perda de calor do corpo humano, por convecção e evaporação, influenciando o conforto térmico que é ideal quando é alcançado o equilíbrio entre a produção de calor e a perda deste pelo corpo.[269]

São sete os parâmetros influenciadores do conforto térmico:[270]

- três relacionados com o indivíduo:
  - metabolismo;
  - roupas;
  - temperatura da pele.
- quatro relacionados com o edifício:
  - temperatura do ar;
  - humidade relativa;
  - temperatura das superfícies;
  - velocidade do ar.

---

[267] TIRONE, Livia e Nunes, Ken. op. cit., p. 106

[268] Idem, p. 107

[269] COMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. op. cit., p. 111

[270] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 22

"...a high insulation standard, air highness and controlled ventilation create a new level of comfort and health so that passive houses enable e "quantum leap" from ecological, economic, as well as social point of view."[271]

Alguns princípios para assegurar o conforto térmico:[272]

- a temperatura ambiente deve ser de 20 - 22ºC, no Inverno, e 24 - 26ºC, no Verão;
- essa temperatura deve ser medida a cerca de 0,5m do pavimento (altura do joelho);
- a diferença entre a temperatura radiante e a temperatura ambiente não deve ser superior a 3ºC;
- a movimentação de ar (corrente de ar) deve ser de 0,1-0,5 m/s, no Inverno, e 0,25 m/s, no Verão;
- a humidade relativa, nos climas mediterrâneos, deve ser mantida entre 40 - 50%, no Inverno, e 50 - 60%, no Verão.

Um questionário[273] realizado aos moradores de um complexo habitacional na Áustria - construído segundo a norma Passivhaus - revela que a temperatura interior média de 23,5 ºC, registada no Inverno, agrada a 70% dos questionados, 10% preferia uma temperatura mais baixa e 18% respondeu que preferia uma temperatura ainda mais elevada.

"(...) with nearly 50% preferring a three-level control as installed (off, normal and boost), and 36% would have preferred even more ventilation levels. It is interesting that less than 10% would like a fully automated control."[274]

---

[271] STEINMÜLLER, Bernd. op. cit., p. 44

[272] BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. op. cit., p. 27

[273] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 132

[274] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 138

Aquecimento e Arrefecimento

Como visto anteriormente, a necessidade anual útil de aquecimento e arrefecimento numa Passivhaus não pode superar 15 kWh/m²a e a carga máxima não pode ser superior a 10 W/m².

"(...) two factors are limiting the heating load: the supply air can be heated to a maximum temperature of 55ºC (above which dust carbonization sets in). Secondly, the air change rate is defined by indoor air quality requirements, not by heating/cooling requirements. (...) A simple calculation then shows that the heating load that can be distributed in the building under these restrictions is around 10 W per m² habitable area."[275]

A necessidade anual útil de aquecimento descreve a quantidade de calor ou frio - por via do cálculo - que tem de ser fornecida ao interior de um edifício durante o período de aquecimento e que, numa PH na Europa Central corresponde aos meses entre Novembro e Março, de modo a manter a temperatura operacional a 20ºC.[276] Este valor constitui o valor mais importante na definição da eficiência energética de um edifício. Já a carga de aquecimento/arrefecimento determina a média diária máxima de demanda calorífera de um edifício nos meses mais frios do ano.[277] Como é fornecido o calor ou o frio, a norma não especifica. Portanto, é necessário assegurar um sistema que não ultrapasse os limites energéticos impostos. Em geral, pode ser usado qualquer tipo de sistema de aquecimento/arrefecimento. No entanto, uma Passivhaus assenta no princípio da necessidade para aquecimento extremamente baixa. Por isso, a vantagem de utilizar apenas o ar insuflado como meio de climatização é, precisamente, permitir trabalhar com cargas muito baixas, dispensando assim os sistemas tradicionais. Se a carga máxima não superar os 10 W/m², é possível fornecer a pouca energia necessária, mantendo os espaços a uma temperatura confortável, apenas através do ar fornecido pelo sistema de ventilação. Apenas há que ter em consideração que o sistema de ventilação tem de fornecer ar fresco a uma temperatura mínima de 16,5ºC para evitar o risco de correntes de ar.[278]

---

[275] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 20

[276] GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 10, 22

[277] Idem, p. 22

[278] ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. op. cit., p. 126

Aumentar, por hipótese, o valor da necessidade anual útil de aquecimento de 15 para 20 kWh/m²a, tornaria impossível assegurar a climatização unicamente pelo sistema de ventilação[279] e assim, o principio de economia de recursos, tanto materiais como energéticos, definidor do conceito Passivhaus deixariam de ser praticáveis. Partindo do princípio que uma Passivhaus é, à partida, projectada de modo a não necessitar de sistemas activos de arrefecimento (através de uma boa orientação e sombreamento inteligentemente colocado), mesmo em países com climas quentes como acontece em Portugal, Jürgen Schnieders afirma, *"Efficient heating is therefore more important than efficient cooling even in the Mediterranean."*[280] Assim, a unidade mecânica, no Verão, pode ser desligada, como acontece na maioria das Passivhaus na Europa Central, assegurando a qualidade do ar interior através da ventilação natural. Porém, a ventilação mecânica também trabalha frequentemente, durante o Verão, para proporcionar um conforto térmico melhor.[281] Por exemplo, na primeira Passivhaus portuguesa, apesar de estar previsto utilizar a VM apenas no Inverno[282], o engenheiro João Marcelino[283] justifica o favorecimento da ventilação de conforto, mesmo no período de arrefecimento, devido à má qualidade do ar exterior causada pela poluição de veículos e indústria e até pelos incêndios que ocorrem todos os Verões em território nacional. Por estes motivos, e pelo baixo consumo energético destas unidades, faz todo o sentido, sempre que se verifiquem situações desfavoráveis à ventilação natural, usar a ventilação mecânica durante o ano inteiro.

---

279 GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 6-7

280 SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 11

281 GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. op. cit., p. 10

282 GAVIÃO, João Rui Santos Pires. op. cit., p. 89-90

283 MARCELINO, João no workshop de sistemas e equipamentos, 4ª conferência Passivhaus Portugal. 24-11-16, Aveiro

Carga Interna

A carga interna de um edifício varia consoante a ocupação e o tipo de uso, tornando-se difícil determinar, com exactidão, os ganhos internos de um edifício. Por esse motivo, o PHI determina uma carga interna de referência de 2,1 W/m², valor este que é mais baixo do que o estipulado pela maioria das ferramentas de cálculo do balanço energético. Jürgen Schnieders explica que, enquanto numa construção convencional a alteração do valor da carga interna não leva à alteração da necessidade de aquecimento, numa Passivhaus, que é mais sensível aos ganhos internos, o aumento do valor de referência para, por exemplo, 5 W/m² traduzir-se-ia numa redução de mais de metade da necessidade de aquecimento (< 7,5 kWh/m²a).[284]

Assim, a carga interna de um edifício é determinada pela energia produzida pelo corpo humano somada às outras fontes de calor como iluminação e equipamentos (televisão, computador, secador, máquina de lavar, etc.). Todos os ocupantes produzem calor que, dependendo do metabolismo, pode ser mais ou menos expressivo. Consequentemente, visto o corpo não armazenar o calor que produz, quanto mais activo o ser humano, mais calor o corpo liberta. É possível, numa Passivhaus, atendendo ao facto de uma pessoa produzir aproximadamente 100W de energia metabólica (quando sentado e em estado de repouso)[285], aquecer um espaço de 40 m² apenas com o calor corporal de quatro pessoas. Atendendo a isto, o uso de equipamentos altamente eficientes do ponto de vista energético é essencial para não aquecer os espaços de forma indesejada o que, no Verão, pode levar a situações de desconforto térmico. Além do mais, à custa de equipamento ineficientes, seria possível reduzir a necessidade energética de uma Passivhaus para zero. No entanto, não tem cabimento, partindo de um conceito superior de eficiência energética, aquecer um edifício altamente eficiente com o desperdício energético de equipamentos.

---

[284] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit., p. 73-74

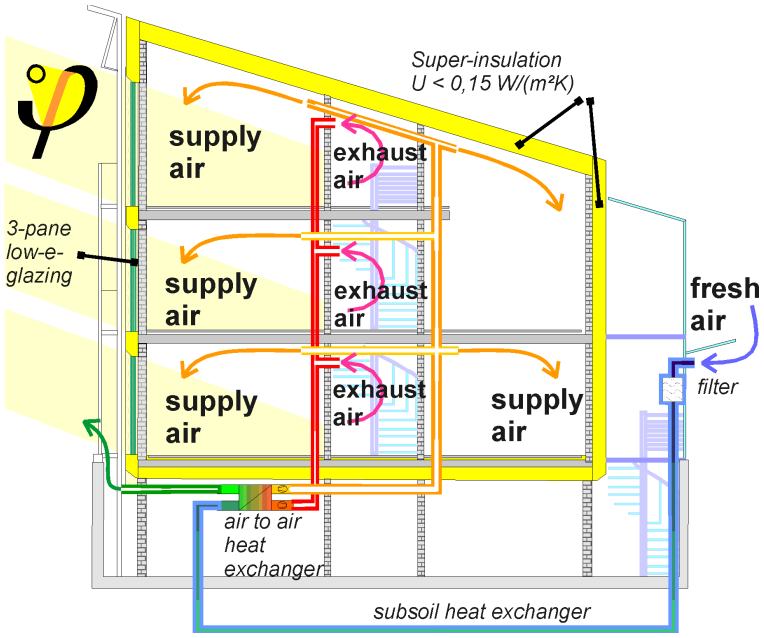
[285] COMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. op. cit., p. 112
A energia metabólica de uma pessoa em repouso e sentada é igual a 58W/m² área corporal, ou seja, 1met = 58W/m². Atendendo que em média, uma pessoa tem 1.8m² de área corporal, temos assim, um valor energético igual a 104,4W/pessoa.

2.6

EXEMPLOS CONSTRUÍDOS

"Construir uma casa tornou-se uma aventura. É preciso paciência, coragem e entusiasmo. (...) O projecto de uma casa é quase igual ao de qualquer outra: paredes, janelas, portas, telhado. E contudo é único. Cada elemento se vai transformando, ao relacionar-se. Em certos momentos, o projecto ganha vida própria. Transforma-se então num animal volúvel, de patas inquietas e de olhos inseguros. Se as suas transfigurações não são compreendidas, ou dos seus desejos é satisfeito mais do que o essencial, torna-se ridículo. Se é demasiadamente contido, deixa de respirar e morre. O projecto está para o arquitecto como o personagem de um romance está para o autor: ultrapassa-o constantemente. É preciso não o perder."

Álvaro Siza



44. *Conceito energético da Passivhaus Darmstadt-Kranichstein*

PASSIVHAUS DARMSTADT - KRANICHSTEIN

2.6.1

A Passivhaus Darmstadt - Kranichstein foi o primeiro projecto a ser construído segundo o conceito PH. Uma espécie de maquete à escala real, com uma construção singular tendo em conta que, no início dos anos 90, o mercado não oferecia a maioria dos componentes necessários para a construção de uma Passivhaus. Em particular, a caixilharia e a ventilação mecânica com recuperador de calor tiveram de ser desenhados e produzidos, exclusivamente, para este projecto. Este foi o motivo pelo qual Wolfgang Feist admitiu que o investimento adicional de 319 €/m², ou 21% do custo total da obra, para as medidas adicionais de eficiência energética, não era - ainda - economicamente viável.[286] Numa visita à casa em 1995, Armory Lovins afirma: *"No, this is not just a scientific experiment. This is the solution. You just need to redesign the details in order to reduce the additional costs - and I'm convinced that is possible. I am convinced."*[287]

Tab.6 *Dados Passivhaus Darmstadt-Kranichstein*

Ano de construção	1991
Localização	Hessen - Alemanha
Projecto	Bott/Ridder/Westermeyer
Área útil	156 m²
Necessidades de aquecimento	14 kWh/m²a
Carga máxima de aquecimento	10 W/m²
Necessidade total de energia primária	61 kWh/m²a
Teste de pressurização - *blowerdoor*	0,22 h^{-1}
Eficácia do recuperador de calor (VM)	80%
U parede	0,14 W/m²K
U cobertura	0,1 W/m²K
U pavimento térreo	0,13 W/m²K
U janela	0,78 W/m²K
U vidro	0,7 W/m²K
Factor solar do vidro	50%
U porta de entrada	0,78 W/m²K

286 FEIST, Wolfgang; Ebel, Witta; Peper, Søren; Hasper, Wolfgang; Pfluger, Rainer e Kirchmair, Martin. op. cit., p. 27

287 FEIST, Wolfgang. *15 jähriges Jubiläum für das Passivhaus Darmstadt - Kranichstein - der Faktor 10 ist Realität.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2006, p. 6



45. *Fachada Sul, pormenor do sombreamento, quarto de brincar com condutas da ventilação à vista, acesso vertical da Bambushaus*

BAMBUSHAUS

2.6.2

Outro projecto não menos pioneiro é a Bambushaus em Bessancourt. Trata-se da primeira PH em França integralmente desenhada por arquitectos. Deste modo foi possível abordar as questões implícitas ao conceito Passivhaus, sem nunca colocar em causa os princípios de uma boa arquitectura. Assim, os arquitectos cingiram-se a uma forma compacta com dois pisos, sem cave. O programa da habitação orienta-se em torno do sistema de ventilação mecânica. Assim, o edificado, com planta em forma de paralelepípedo, foi dividido paralelamente ao eixo longitudinal. Um terço virado para Norte (espaços de circulação) e os outros dois terços para Sul (espaços de permanência). Esta divisão permitiu criar um núcleo central que tanto serve como organizadora do espaço como também alberga todo o sistema de condutas e ventiladores da unidade de ventilação mecânica. Este gesto pragmático permitiu uma simplificação considerável de todo o sistema. Por fim, a protecção contra os ganhos solares excessivos dos envidraçados, maioritariamente orientados a Sudoeste (80%), é garantida por uma pele secundária e desdobrável, composta por varas de bambu, que dão o nome à casa.

Tab.7 *Dados Bambushaus*

Ano de construção	2009
Localização	Bessancourt - França
Projecto	KARAWITZ sarl
Área útil	161 m^2
Necessidades de aquecimento	11 kWh/m^2a
Carga máxima de aquecimento	13 W/m^2
Necessidade total de energia primária	90 kWh/m^2a
Teste de pressurização - *blowerdoor*	0,48 h^{-1}
Eficácia do recuperador de calor (VM)	76%
U parede	0,14 W/m^2K
U cobertura	0,13 W/m^2K
U pavimento térreo	0,17 W/m^2K
U janela	0,8 W/m^2K
U vidro	0,6 W/m^2K
Factor solar do vidro	50%
U porta de entrada	0,8 W/m^2K



46. *Fachada Sul, fachada norte, interior da Casa B*

CASA B

2.6.3

Ao contrário da Bambushaus, o primeiro projecto em Portugal não foi originalmente concebido de acordo com o conceito Passivhaus. As duas moradias (das quais apenas retratamos uma), adaptadas a partir de um projecto existente e em construção desde 2008, levam o arquitecto responsável pela adaptação da obra a considerá-la uma reabilitação.[288] Assim, em 2011, arranca a segunda fase de construção e adaptação. Tendo como base o estudo[289] efectuado por J. Schnieders, e limitada à pré-existência que não podia ser alterada devido aos prazos das licenças camarárias, a equipa concentrou-se no melhoramento da envolvente opaca e transparente e da estanquidade ao ar.[290] Mesmo sem as condições ideais foi possível alcançar os parâmetros Passivhaus. Mas, caso a orientação fosse a ideal e as janelas mais eficientes (U 1,35 W/m²K), a necessidade energética para aquecimento seria igual a zero e a necessidade total de energia primária reduzia para 49 kWh/(m²a).[291]

Tab.8 *Dados Casa B*

Ano de construção	2008	2012
Localização	Aveiro - Portugal	Aveiro - Portugal
Projecto	Oscar Graça	João Gavião
Área útil	224 m²	224 m²
Necessidades de aquecimento		7 kWh/m²a
Carga máxima de aquecimento		10 W/m²
Necessidade total de energia primária		67 kWh/m²a
Teste de pressurização - *blowerdoor*		0,45 h^{-1}
Eficácia do recuperador de calor (VM)		76%
U parede	0,35 W/m²K	0,262 W/m²K
U cobertura	0,333 W/m²K	0,283 W/m²K
U pavimento térreo		0,421 W/m²K
U janela	2,82 W/m²K	1,77 W/m²K
U vidro		1 W/m²K
Factor solar do vidro		60%
U porta de entrada		0,97 W/m²K

[288] GAVIÃO, João Rui Santos Pires. op. cit., p. 77

[289] SCHNIEDERS, Jürgen. op. cit.

[290] MARCELINO, João e Gavião, João. op. cit.

[291] Idem



47. *Interior, fachada Nascente, fachada Sul, pátio da Cestaria*

CESTARIA

2.6.4

O segundo projecto Passivhaus é uma reconstrução de uma pré-existência situada na Costa Nova. Inversamente à primeira obra, esta foi desde logo pensada e construída atendendo aos princípios construtivos do conceito Passivhaus. Também os conhecimentos e a experiência adquirida no projecto pioneiro (Casa B), tanto pelos projectistas como pelas restantes equipas, mostraram ser uma mais-valia. No entanto, as condicionantes eram consideráveis. Desde logo as características do edifício pré-existente tiveram de ser mantidas (fachadas, volumetria, cobertura, etc.). Também a disposição da casa não é a ideal. Estando a fachada principal orientada a Nascente, houve a necessidade de criar um vão envidraçado adicional na fachada Sul (não previsto na pré-existência), de modo a obter uma quantidade mínima de energia nos períodos de Inverno. Assim, apesar da quase inexistência de vãos orientados a Sul, a equipa conseguiu alcançar os padrões de conforto e de consumo energético característicos do conceito. Para isso contribuiu essencialmente a total ausência de pontes térmicas bem como a utilização de caixilharias de alto desempenho, com vidro triplo e com um coeficiente de transmissão térmica invulgar para a realidade portuguesa.

Tab.9 *Dados Cestaria*

Ano de construção	2015
Localização	Aveiro - Portugal
Projecto	Homegrid
Área útil	178 m^2
Necessidades de aquecimento	13 kWh/m^2a
Carga máxima de aquecimento	10 W/m^2
Necessidade total de energia primária	31 kWh/m^2a
Teste de pressurização - *blowerdoor*	0,41 h^{-1}
Eficácia do recuperador de calor (VM)	82%
U parede	0,298 W/m^2K
U cobertura	0,231 W/m^2K
U pavimento térreo	0,408 W/m^2K
U janela	0,91 W/m^2K
U vidro	0,65 W/m^2K
Factor solar do vidro	50%
U porta de entrada	0,915 W/m^2K

3. Concretização prática:
cálculo energético com a ferramenta PHPP

MODELO DE SIMULAÇÃO

3.1

Depois de abordadas e estudadas as concepções teóricas acerca da construção, pretende-se, de seguida, analisar as implicações do conceito na concretização prática de uma Passivhaus em Portugal. Para isso, é utilizada a ferramenta de cálculo energético, na sua versão mais actual, PHPP 9, desenvolvida pelo Passivhaus Institut (PHI). Limitado aos dados climáticos disponíveis na própria ferramenta de cálculo[292], será elaborado uma modelo de simulação para a cidade de Lisboa e Porto. Pretende-se analisar o desempenho energético deste modelo nestas cidades para, posteriormente, verificar em que medida a forma, a envolvente opaca, a envolvente transparente, a estanquidade e a ventilação contribuem e influenciam o desempenho energético do modelo e quais as alterações/melhoramentos necessários para atingir os parâmetros da norma Passivhaus nas respectivas cidades.

O modelo de simulação inicial cumpre o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) definido pela Portaria 379-A/2015 de 22 de Outubro[293] que define os seguintes coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis (W/m^2K) para as zonas climáticas de Inverno I1, I2 e I3:

- paredes	I1 = 0,50	I2 = 0,40	I3 = 0,35;
- coberturas	I1 = 0,40	I2 = 0,35	I3 = 0,30;
- pavimento térreo	I1 = 0,50	I2 = 0,50	I3 = 0,50;
- portas e janelas	I1 = 2,80	I2 = 2,40	I3 = 2,20.

Com Lisboa inserida na zona climática de Inverno I1 e Porto na I2[294] considera-se para o cálculo do modelo inicial, os coeficientes de transmissão térmica das respectivas zonas climáticas.

As soluções apresentadas neste pequeno estudo não se querem absolutas nem mandatórias para uma construção energicamente eficiente. Também os resultados são apenas indicativos de um ponto de vista estatístico sem lhes ser atribuída a validade científica necessária à concepção de uma Passivhaus. Antes, pretendem ser exemplificativos da importância do próprio desenho da arquitectura e de pequenos "gestos" que podem ter uma influencia considerável no bom desempenho energético global de um edifício.

---

[292] Segundo informação da Associação Passivhaus Portugal está prevista a inclusão de mais dados climáticos respectivos às capitais de distrito do território continental na ferramenta de calculo PHPP 9.

[293] http://www.dre.pt/application/conteudo/70789581 - Consultado 15-07-17

[294] GONÇALVES, Helder e Graça, João Mariz. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004, p. 15, 19

O modelo de estudo é uma moradia unifamiliar de "construção maciça" com uma inércia térmica elevada e com dois pisos que, na sua forma inicial, terá uma geometria cúbica de 10 m de lado (medida exterior) e uma área útil (treated floor area, TFA) de 180 m^2. A orientação é alinhada com os quatro quadrantes e as fachadas têm a mesma área de superfície opaca e o mesmo número de janelas com dimensões idênticas (6 janelas por fachada com 1,5 x 1,5 m cada). A moradia situa-se a uns virtuais 100 m acima do nível do mar e considera-se, para o cálculo, que se encontra livre de qualquer obstáculo de obstrução à radiação solar e à força do vento. Assim, reúne-se a condição ideal quanto à exposição solar pois não há elementos que possam projectar sombra como teria de ser considerado numa situação real. *"Buildings located in the inner city or that have large roof overhangs should have a shading reduction factor of 0.4."*[295]

O modelo de estudo parte das seguintes características:

- Lisboa e Porto com U parede igual a 0,477 e 0,385 W/m^2K, compostas por tijolo cerâmico térmico de 290 mm de espessura e 60 e 80 mm de isolamento térmico, respectivamente;
- Lisboa e Porto com U cobertura igual a 0,389 e 0,355 W/m^2K, composta por 250 mm de betão armado e 90 e 100 mm de isolamento, respectivamente;
- Lisboa e Porto com U pavimento térreo igual a 0,485 W/m^2K, com 70 mm de isolamento térmico;
- relação de 54m^2 área envidraçada para 180 m^2 de TFA tendo cada fachada sensivelmente a mesma quantidade de janelas, 13,5 m^2;
- janelas iguais para Lisboa e Porto com vidro duplo com $U_g = 2,1$ e caixilharia metálica com corte térmico com $U_f = 2,4$ estando o caixilho instalado 8 cm do pano exterior da parede, fora do isolamento térmico;
- ponte térmica linear de instalação das janelas (Ψ) $U_{installation} = 0,2$ W/mK e um perfil entre folhas de vidro com uma ponte térmica (ψ) = 0,04 W/mK;
- factor solar de 50% com protecção solar móvel pelo exterior do vão;
- ventilação natural feita por abertura de todas as janelas em posição inclinada durante uma hora, duas vezes ao dia, o que dá um fluxo de 0,12/h;
- ventilação nocturna igual a 0,28/h;
- construção livre de pontes térmicas;
- estanquidade ao ar igual a n_{50} 3 h^{-1}.

[295] FEIST, Wolfgang; Bastian, Zeno; Ebel, Witta; Gollwitzer, Esther; Grove-Smith, Jessica; Kah, Oliver; Kaufmann, Berthold; Krick, Benjamin; Pfluger, Rainer; Schnieders, Jürgen e Steiger, Jan. *PHPP: Passive House Planning Package, Version 9*. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2015, p. 75

Tab.10 *Desempenho do modelo inicial em Lisboa e no Porto segundo o REH*

	LISBOA REH I1	PORTO REH I2	PH
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	38	46	≤ 15
Carga máxima de aquecimento em W/m²	27	28	≤ 10
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	3	0	≤ 10
Frequência de excesso de humidade (> 12 g/kg) em %	2	8	≤ 20
Necessidade total de energia primária não renovável (PE) em kWh/m²a	107	123	≤ 120

Tab.11 *Desempenho do modelo geometricamente optimizado*

	LISBOA REH I1 com geometria melhorada	PORTO REH I2 com geometria melhorada	PH
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	31	39	≤ 15
Carga máxima de aquecimento em W/m²	24	25	≤ 10
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	2	0	≤ 10
Frequência de excesso de humidade (> 12 g/kg) em %	2	8	≤ 20
Necessidade total de energia primária não renovável (PE) em kWh/m²a	95	110	≤ 120

OPTIMIZAÇÃO

3.2

O modelo inicial, como expectável, não consegue cumprir os parâmetros energéticos Passivhaus. Em ambas as cidades, o modelo pode e tem de ser substancialmente optimizado para assegurar os parâmetros definidores de uma Passivhaus.

Lisboa:
Devido ao clima mais favorável, Lisboa regista desde logo um desempenho energético melhor. Ainda assim, a necessidade anual de aquecimento é mais do dobro de numa Passivhaus. A protecção solar prevista e a ventilação nocturna, mostram-se suficientes para não ultrapassar mais de 10% do ano o limite de temperatura que é de 25ºC.

Porto:
O desempenho energético neste caso é ainda pior devido ao clima mais frio e à menor radiação solar. A necessidade de aquecimento é três vezes superior à de uma Passivhaus. A ventilação nocturna aliada ao bom sombreamento, também nesta situação, são suficientes para assegurar temperaturas confortáveis durante todo o Verão.

FORMA

Assim, partindo do modelo base demonstrado anteriormente, altera-se a forma do edifício mantendo a TFA mas diminuindo o total de superfície em contacto com o exterior. O então cubo de 10 m de lado, passa a ter uma forma rectangular alongada com as fachadas maiores, orientadas a Sul e Norte, com 15 m de comprido e as fachadas menores, orientadas a Nascente e Poente, com 7 m de comprido. A altura do edifico também é reduzida de 10 para 7 m.

Lisboa:
Esta optimização da forma permite uma redução de 18% da necessidade de aquecimento e a necessidade de energia primária também é reduzida.

Porto:
A redução neste caso é de 15% em necessidade com aquecimento.

Assim, de agora em diante, iremos trabalhar com o novo modelo optimizado, melhorando-o passo a passo até atingir os requisitos da norma construtiva Passivhaus.

Tab.12 *Frequência de sobreaquecimento segundo diferentes sombreamentos, Lisboa*

LISBOA	sem	fixo 0,5 m	fixo 1 m	fixo 1,5 m	fixo 2 m	móvel (persiana)
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	31	33	35	36	37	31
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	25	21	19	19	19	2

Tab.13 *Frequência de sobreaquecimento segundo diferentes sombreamentos, Porto*

PORTO	sem	fixo 0,5 m	fixo 1 m	fixo 1,5 m	fixo 2 m	móvel (persiana)
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	39	41	42	44	45	39
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	12	7	5	5	5	0

SOMBREAMENTO

Verificou-se a influência de diferentes tipo de sombreamento na necessidade de aquecimento e no sobreaquecimento do edifício. Na primeira simulação é retirada a protecção solar móvel (persiana) incorporada no modelo de estudo inicial. Nas restantes simulações calcula-se o impacto de elementos de sombreamento fixos. Esses elementos fixos de protecção solar que se projectam horizontalmente sobre os vãos envidraçados, com profundidades compreendidas entre 0,5 e 2 m, são idênticos às palas que podemos encontrar nas torres da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto. Tendo em conta que a janela se encontra instalada a 8 cm do plano exterior da fachada, é preciso acrescentar, para efeitos de cálculo, 8 cm aos respectivos elementos de sombreamento fixo. Dada a ineficiência deste tipo de sombreamento nas fachadas orientadas a Nascente e Poente, este sombreamento fixo é apenas adicionado nos vãos da fachada Sul. Os restantes vãos ficam sem qualquer tipo de sombreamento. Assim, a ferramenta de cálculo, na ausência de qualquer tipo de sombreamento, dá valores de 25 e 12% do ano com excesso de temperatura para Lisboa e Porto, respectivamente. Torna-se evidente que em nenhum dos casos é possível ter condições de conforto térmico, no Verão, sem a devida protecção solar.

Lisboa:
Com temperaturas mais elevadas no Verão e com mais radiação solar é indispensável assegurar uma boa protecção solar em Lisboa. Os elementos fixos colocados na fachada Sul por si só nunca são suficientes para evitar um excesso de sobreaquecimento no Verão. Assim, a fim de controlar os ganhos solar excessivos, é necessário assegurar um sombreamento móvel (persianas) colocado nas fachadas Sul, Poente e Nascente.

Porto:
Para o vão envidraçado em questão, com 1,5 m de altura, o sombreamento horizontal atinge o limite de protecção solar quando tem 1 m de profundidade. Um sombreamento maior apenas aumenta a necessidade de energia primária e de necessidade de aquecimento pois no Inverno, bloqueia os raios solares necessários. Assim, 0,5 m de sombreamento fixo, apenas na fachada Sul, é suficiente para assegurar temperaturas confortáveis mesmo no Verão. Não obstante, torna-se evidente que um sombreamento móvel colocado no exterior e com um factor de redução elevado, configura o melhor tipo de protecção aos raios solar quando visto de um ponto de vista estrictamente energético.

Tab.14 *Desempenho energético segundo várias espessuras de isolamento da envolvente opaca, Lisboa*

LISBOA	REH I1	+ 10 mm	+ 20 mm	+ 30 mm	+ 40 mm	+ 50 mm	+ 60 mm	+ 70 mm
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	31	29	26	25	23	22	21	20

Tab.15 *Desempenho energético segundo várias espessuras de isolamento da envolvente opaca, Porto*

PORTO	REH I2	+ 10 mm	+ 20 mm	+ 30 mm	+ 40 mm	+ 50 mm	+ 60 mm	+ 70 mm
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	39	37	35	33	32	31	30	29

ENVOLVENTE OPACA

Depois de optimizado o tipo de sombreamento procura-se optimizar o isolamento da envolvente opaca nos respectivos modelos de simulação. A situação inicial respeita os coeficientes de transmissão térmica mínimos admissíveis pela lei portuguesa à data desta Dissertação. Estuda-se os benefícios do melhoramento da envolvente opaca através do aumento da espessura do isolamento térmico nas paredes e cobertura. No pavimento térreo não são alteradas as espessuras de isolamento.

O modelo de inicial tem as seguintes características:

- U parede, isolamento	Lisboa	0,477 W/m²K, 60 mm
	Porto	0,385 W/m²K, 80 mm;
- U cobertura, isolamento	Lisboa	0,389 W/m²K, 90 mm
	Porto	0,355 W/m²K, 100 mm;
- U pavimento térreo, isolamento	Lisboa e Porto	0,485 W/m²K, 70 mm.

Lisboa:

O desempenho ideal do isolamento é atingido com 80 mm nas paredes e 110 mm na cobertura. Assim, com um incremento de 20 mm a necessidade anual de aquecimento diminui 16%. Com um aumento de 50 mm é possível um melhoramento de quase 30%. Não é possível atingir os 15 kWh/m²a em necessidade de aquecimento definidos pelo PHI. Assim:

- U parede, isolamento	0,385 W/m²K, 80 mm;
- U cobertura, isolamento	0,326 W/m²K, 110 mm;
- U pavimento térreo, isolamento	0,485 W/m²K, 70 mm.

Porto:

O desempenho ideal do isolamento para este modelo de simulação em questão é atingido com 110 mm e 130 mm nas paredes e cobertura, respectivamente. O incremento indiscriminado do isolamento da envolvente opaca, não possibilita atingir os parâmetros Passivhaus e pouco contribui para a redução energética com aquecimento. No entanto, ao acrescentar apenas mais 30 mm ao isolamento térmico mínimo admissível por lei, registam-se melhorias de quase 16% na necessidade com aquecimento. Assim:

- U parede, isolamento	0,299 W/m²K, 110 mm;
- U cobertura, isolamento	0,283 W/m²K, 130 mm;
- U pavimento térreo, isolamento	0,485 W/m²K, 70 mm.

Tab.16 *Desempenho energético segundo diferentes janelas, Lisboa*

LISBOA	V_1	V_2	V_3
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	26	12	6
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	2	6	9

Tab.17 *Desempenho energético segundo diferentes janelas, Porto*

PORTO	V_1	V_2	V_3
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	33	16	9
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	0	0	0

ENVOLVENTE TRANSLÚCIDA

Calcula-se o desempenho de três vãos envidraçados distintos.

V_1: vidro duplo com caixa de ar e caixilharia metálica com corte térmico instalada fora da camada de isolamento térmico e considerada para o modelo inicial que dá resposta ao REH:
U_g = 2,1 W/m²K e factor solar = 50%;
U_f = 2,4 W/m²K e Ψ perfil = 0,04 W/mK;
Ψ instalação = 0,2 W/mK.

V_2: vidro duplo baixo emissivo (low E-glazing) com caixa de ar com gás argon e caixilharia de madeira sem corte térmico instalada na camada de isolamento:
U_g = 1,3 W/m²K e factor solar = 64%;
U_f = 1,6 W/m²K e Ψ perfil = 0,04 W/mK;
Ψ instalação = 0,04 W/mK.

V_3: vidro triplo com caixa de ar e caixilharia de madeira com corte térmico, aprovado pelo PHI, e instalada na camada de isolamento térmico:
U_g = 0,67 W/m²K e factor solar = 62%;
U_f = 0,83 W/m²K e Ψ perfil = 0,026 W/mK;
Ψ instalação = 0,04 W/mK.

Lisboa:
A necessidade anual de aquecimento pode ser reduzida para mais de metade (apenas) com uma janela de desempenho superior (V_2). No entanto, a frequência de sobreaquecimento aumenta exponencialmente com vãos envidraçados mais eficientes. Isto explica-se pelo factor solar elevado das soluções com um maior desempenho energético (V_2 e V_3). Opta-se pela janela com vidro duplo baixo emissivo (V_2) que reduz a necessidade de aquecimento para valores inferiores ao limite Passivhaus.

Porto:
Com a opção V_2, reduz-se a necessidade de aquecimento em mais de 50% não cumprindo assim o requisito anual Passivhaus para aquecimento por apenas 1 kWh/m²a. Devido à boa protecção solar e às temperaturas exteriores mais baixas, a temperatura interior nunca passa dos 25ºC. Assim, introdução de tipos de vidros e caixilharias eficientes não contribuem para ganhos solares indevidos.

Tab.18 *Desempenho energético segundo diferentes tipos de ventilação, Lisboa*

LISBOA	natural	conforto sem RC	conforto com RC 75%	conforto com RC 90%
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	12	13	8	7
Carga máxima de aquecimento em W/m²	17	18	15	14
Frequência de excesso de humidade (> 12 g/kg) em %	2	0	0	0

Tab.19 *Desempenho energético segundo diferentes tipos de ventilação, Porto*

PORTO	natural	conforto sem RC	conforto com RC 75%	conforto com RC 90%
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	16	18	11	10
Carga máxima de aquecimento em W/m²	17	18	14	14
Frequência de excesso de humidade (> 12 g/kg) em %	8	2	2	2

VENTILAÇÃO

São estudadas quatro situações de ventilação distintas em que a primeira é a ventilação natural e as restantes três são ventilação de duplo fluxo em que apenas varia a eficiência de recuperação de calor (0%, 75% e 90%). Assim:

- ventilação natural que, conforme visto anteriormente, é garantida através da abertura de todas as janelas em posição inclinada durante uma hora, duas vezes ao dia, o que dá um fluxo de 0,12/h renovações por hora (ventilação nocturna = 0,28/h) e que não assegura uma boa QAI mas que em muito se assemelha à ventilação efectuada no dia-a-dia em muitas habitações;

- ventilação conforto sem recuperador de calor e com um fluxo de troca de ar igual a 0,4/h que cumpre os requisitos de ventilação descritos na Portaria 349-B/2013 de 29 de Novembro.[296]

- mesma situação descrita anteriormente mas com recuperador de calor com uma eficiência de recuperação igual a 75% que é o mínimo admitido pelo PHI.

- ventilação conforto igual à anteriormente definida mas com recuperador de calor com uma eficiência de 90%.

Lisboa:
Mesmo com a ventilação natural a necessidade de aquecimento já é inferior ao limite definido pelo PHI. No entanto, pela insuficiente ventilação que configura a ventilação natural, esta é descartada. Assim, opta-se, por questões de conforto e de higiene, pela ventilação de duplo fluxo mas sem recuperador de calor. As unidades com recuperador de calor apresentam uma necessidade energética com aquecimento inferior, no entanto, não consideramos a sua instalação.

Porto:
A ventilação de conforto sem recuperador de calor não permite cumprir os limites da norma Passivhaus. Opta-se pela ventilação conforto com recuperador de calor com 75% de eficiência que, para o estudo em questão, se apresenta como sendo suficiente para assegurar os níveis energéticos e de conforto. O aumento da necessidade energética da ventilação sem recuperador de calor face à ventilação natural, deve-se ao aumento do fluxo de renovação de ar que passa de 0,12/h para 0,4/h.

[296] http://www.dre.pt/application/file/a/647194 - Consultado 15-07-17

Tab.20 *Desempenho energético segundo a estanquidade, Lisboa*

LISBOA	n_{50} 3 h^{-1}	n_{50} 1,5 h^{-1}	n_{50} 0,5 h^{-1}
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	13	12	11
Carga máxima de aquecimento em W/m²	18	16	15
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	3	4	4

Tab.21 *Desempenho energético segundo a estanquidade, Porto*

PORTO	n_{50} 3 h^{-1}	n_{50} 1,5 h^{-1}	n_{50} 0,5 h^{-1}
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	11	9	8
Carga máxima de aquecimento em W/m²	14	12	11
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	0	0	0

ESTANQUIDADE AO AR

Por fim, é analisada e comparada a estanquidade ao ar. Para tal, compara-se três níveis de estanquidade diferentes sendo que para certificar um edifício como Passivhaus, este não pode apresentar valores superiores a n_{50} 0,6 h^{-1}.
Os três níveis de estanquidade são:

- n_{50} 3,0 h^{-1}
- n_{50} 1,5 h^{-1}
- n_{50} 0,5 h^{-1}

Lisboa:
Os resultados mostram que a hermeticidade da construção não influenciam muito a necessidade anual de aquecimento. No entanto, fica demonstrado que quanto mais estanque se apresentar o edifício, menor será a necessidade e a carga máxima de aquecimento. Assim, com uma elevada estanquidade (n_{50} 0,5 h^{-1}), como é demanda numa construção Passivhaus, consegue-se reduzir a necessidade de aquecimento em 15%. A carga máxima também é reduzida.

Porto:
Também nesta situação são verificadas melhorias idênticas às do modelo de simulação de Lisboa. No entanto, nesta situação, os benefícios de uma elevada estanquidade são ainda mais notórios. Ou seja, no período mais frio do ano, em que as temperaturas registam níveis baixos e a radiação solar é quase inexistente (longos períodos nublados, chuva, etc.), o edificado estanque necessita de uma carga máxima, para aquecer o edifício, 21% inferior do que aquela de um edifício com uma fraca estanquidade, para assegurar temperaturas operacionais consideradas confortáveis. Também a necessidade anual de aquecimento diminui em 27%. Assim, quanto mais frio o lugar onde se insere o edifício, mais se notam os efeitos da estanquidade.

Deste modo, a escolha em relação à estanquidade é, para ambos os casos, uma alta hermeticidade (n_{50} 0,5 h^{-1}) que para além de assegurar consumos energéticos inferiores, também dá resposta à obrigatoriedade da norma Passivhaus.

Tab.22 *Resultado da optimização do modelo para Lisboa e Porto, ainda com necessidade de um sistema de aquecimento tradicional*

Passivhaus 1	PORTO	LISBOA	PH
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	8	11	≤ 15
Carga máxima de aquecimento em W/m²	11	15	≤ 10
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	0	4	≤ 10
Frequência de excesso de humidade (> 12 g/kg) em %	3	0	≤ 20
Necessidade total de energia primária não renovável (PE) em kWh/m²a	75	73	≤ 120

Tab.23 *Resultado final da optimização para Lisboa e Porto*

Passivhaus 2	PORTO	LISBOA	PH
Necessidade de aquecimento em kWh/m²a	8	4	≤ 15
Carga máxima de aquecimento em W/m²	10	10	≤ 10
Frequência de sobreaquecimento (> 25ºC) em %	0	6	≤ 10
Frequência de excesso de humidade (> 12 g/kg) em %	4	0	≤ 20
Necessidade total de energia primária não renovável (PE) em kWh/m²a	71	65	≤ 120

CONCLUSÃO

3.3

Apos percorridas as várias etapas de optimização do edifício em que se melhorou a forma, disposição de vãos, sombreamento, isolamento térmico da envolvente opaca, os vãos envidraçados, a ventilação e a estanquidade ao ar do edifício conclui-se que, tanto em Lisboa como no Porto, é possível (e simples) construir um edifício com os padrões Passivhaus. No entanto, há um parâmetro que não é atingido: o valor limite da carga máxima de aquecimento. Esse valor é indicativo de se é ou não, possível assegurar o pouco calor necessário para manter as temperaturas confortáveis durante os dias mais frios do Inverno unicamente através do aquecimento do ar fresco insuflado nos espaços. Ou seja, prescindir de sistemas tradicionais de aquecimento. Como um dos objectivos maiores do conceito construtivo Passivhaus é o conforto e o uso inteligente de recursos a todos os níveis, este valor indicativo da carga de aquecimento devia ser respeitado.

Lisboa

Mesmo sem recuperador de calor é possível atingir o valor máximo de necessidade de aquecimento (< 15 kWh/m²a), no entanto a carga máxima calculada e necessária para colmatar os dias de inverno com radiação diminuta ou então aquelas situações de Inverno com dias solarengos mas com temperaturas muito baixas é, neste modelo de simulação, sempre superior ao limite de 10 W/m² imposto. Portanto, para aquecer a casa é necessário ter um sistema adicional de aquecimento. Seja ele por radiadores hidráulicos, eléctricos, etc. Para suprimir essa necessidade seria necessário reduzir o fluxo de ventilação da unidade mecânica para 0,3/h, incluir um recuperador de calor com uma eficiência igual a 75% e substituir os vidros duplos baixo emissivos por vidros triplos considerados no cálculo dos vãos envidraçados (V_3 com U_g = 0,67 W/m²K e factor solar = 62%).

Porto

Com uma situação já muito próxima de atingir o requisito mínimo da carga máxima de aquecimento, para baixar este parâmetro para 10 W/m² bastou reduzir o fluxo de ventilação, que estava fixado em 0,4 trocas de ar por hora devido ao REH em vigor, para 0,3. Esta alteração simples, que em nada altera a qualidade do ar interior nem tampouco acarreta custos, permite, assim, fornecer a pouca energia necessária à manutenção da temperatura de conforto através do ar fresco insuflado. Ou seja, com a optimização do fluxo de ventilação do sistema de ventilação mecânico que já estava previsto, passa a ser possível prescindir por completo de sistemas adicionais de aquecimento.

Tab.24 *Folha de verificação do PHPP para o modelo de Lisboa*

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Passivhaus Lisboa
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	4	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	10	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	6	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	0	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	65	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	31	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task: | First name: | Surname: | Signature:

Issued on: | City:

PASSIVHAUS LISBOA

3.4

Embora mais dispendioso, consideramos a opção com a carga máxima inferior a 10 W/m² como sendo a mais indicada pois não só aumenta consideravelmente o conforto como também representa, a longo prazo, uma poupança energética. Deste modo é possível reduzir a necessidade anual de aquecimento em quase 90% comparativamente a uma construção em conformidade com o REH. Assim, demonstra-se que é possível construir uma Passivhaus em Lisboa sem incorrer em temperaturas excessivas durante o Verão. A experiência desta série de modelos de estudo mostra que é mais difícil construir um edifício Passivhaus nos climas quentes. O Sol e a influência deste exige mais rigor e critério na elaboração do projecto. O ponto crucial em climas como o de Lisboa é a contenção do efeito do Sol durante a grande maioria do ano mas de modo a que, ainda assim, seja possível tirar proveito deste no curto período de Inverno em que o clima assim o exigem. O risco de incorrer em temperaturas demasiado altas está sempre presente sendo muito fácil de ultrapassar o limite imposto pela norma que impõem uma temperatura máxima admissível de 25ºC. Não pode ser ultrapassada durante mais de 10% do ano. De facto, o PHI recomenda que a frequência de sobreaquecimento não seja superior a 5% de modo a assegurar o conforto.[297] Assim, o modelo de cálculo em questão, segundo o PHPP, regista temperaturas elevadas durante 6% do ano. No entanto, estas temperaturas, consideradas elevadas, nunca superam os 26,1 ºC.

Tab.25 *Comparação do desempenho energético do modelo de Lisboa, inicial vs. final*

LISBOA	REH I1	PASSIVHAUS
Área útil	180 m²	180 m²
Necessidades de aquecimento	38 kWh/m²a	4 kWh/m²a
Carga máxima de aquecimento	27 kWh/m²a	10 W/m²
Necessidade total de energia primária	107 kWh/m²a	65 kWh/m²a
Teste de pressurização - *blowerdoor*	3 h^{-1}	0,5 h^{-1}
Eficácia do recuperador de calor (VM)	-	75%
U parede	0,477 W/m²K	0,385 W/m²K
U cobertura	0,389 W/m²K	0,326 W/m²K
U pavimento térreo	0,485 W/m²K	0,485 W/m²K
U janela	2,4 W/m²K	1,6 W/m²K
U vidro	2,1 W/m²K	0,67 W/m²K
Factor solar do vidro	50%	62%

[297] FEIST, Wolfgang; Bastian, Zeno; Ebel, Witta; Gollwitzer, Esther; Grove-Smith, Jessica; Kah, Oliver; Kaufmann, Berthold; Krick, Benjamin; Pfluger, Rainer; Schnieders, Jürgen e Steiger, Jan. op. cit., p. 167

Tab.26 *Folha de verificação do PHPP para o modelo do Porto*

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Passivhaus Porto
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	8	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	10	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	4	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	71	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	33	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task: | First name: | Surname: | Signature:

Issued on: | City:

PASSIVHAUS PORTO

3.5

O limite de carga máxima para aquecimento é, nesta situação, mais facilmente alcançado. Com melhoramentos em todos os parâmetros construtivos prova-se que é possível reduzir a necessidade de aquecimento em 82% quando comparado com um edifício construído segundo o REH vigente à data desta Dissertação. O desempenho energético global do edifício pode ainda ser mais baixo, alcançando valores idênticos aos do modelo de estudo lisboeta. No caso de considerar a substituição do vidro duplo baixo emissivo pelo vidro triplo com caixa de ar preenchida com gás argon, como acontece na situação de Lisboa, também o modelo de cálculo no Porto regista um decréscimo de quase 90% da necessidade de aquecimento comparativamente à situação inicial (necessidade de aquecimento igual a 5 kWh/m²a). No entanto, dada a já elevada eficiência energética, não se vê necessidade em melhorar ainda mais a envolvente envidraçada. Assim, devido ao clima mais ameno, com temperaturas menos elevadas no Verão, e à radiação solar em menor grau, construir uma Passivhaus no Porto assemelha-se, em muito, à construção de uma Passivhaus na Europa Central. Torna-se muito simples e fácil de assegurar todos os parâmetros definidores deste conceito construtivo pois os ganhos excessivos através da radiação solar são mais tolerados do que no caso de Lisboa.

Tab.27 *Comparação do desempenho energético do modelo do Porto, inicial vs. final*

PORTO	REH I2	PASSIVHAUS
Área útil	180 m²	180 m²
Necessidades de aquecimento	46 kWh/m²a	8 kWh/m²a
Carga máxima de aquecimento	28 kWh/m²a	10 W/m²
Necessidade total de energia primária	123 kWh/m²a	71 kWh/m²a
Teste de pressurização - *blowerdoor*	3 h^{-1}	0,5 h^{-1}
Eficácia do recuperador de calor (VM)	-	75%
U parede	0,385 W/m²K	0,299 W/m²K
U cobertura	0,355 W/m²K	0,283 W/m²K
U pavimento térreo	0,485 W/m²K	0,485 W/m²K
U janela	2,4 W/m²K	1,6 W/m²K
U vidro	2,1 W/m²K	1,3 W/m²K
Factor solar do vidro	50%	64%

4. Considerações finais

RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

4.1

A tendência do consumo energético dos edifícios aponta em sentido descendente, em grande parte devido ao contínuo desenvolvimento de elementos construtivos mais eficientes e mais eficazes que vão sendo introduzidos no mercado. O que parecia impossível de alcançar há 25 anos é hoje em dia um dado adquirido e pode ser atingido através de meios construtivos tradicionais. Nesse sentido, parece evidente que no futuro a tarefa de construir um edifício com necessidade energética reduzida será cada vez mais facilitada. No entanto, para atingir níveis de consumo energético inferiores aos de uma Passivhaus exige-se, ainda hoje, um investimento desproporcional face ao que é possível alcançar em termos de poupança energética. Como demonstrado nesta Dissertação, uma Passivhaus não é um edifício de necessidade energética nula. Nem o pretende ser. Assim, podemos questionar-nos se o objectivo de reduzir a necessidade energética de um edifício para zero é, de um ponto de vista ecológico, sustentável e económico, viável. Esta questão torna-se ainda mais pertinente atendendo ao programa 2020 da União Europeia que, a partir do dia 31 de Dezembro de 2020[298], determina que todos os edifícios novos têm de ser nZEB (nearly zero-energy building). Será de interesse acrescido, no âmbito de futuras pesquisas, determinar até que ponto esta metodologia construtiva alemã consegue e pode ser transposta para o que será a definição dos edifícios de consumo energético nulo ou quase nulo previstos para toda a União Europeia.

[298] http://www.zebra-monitoring.enerdata.eu/nzeb-activities/panel-distribution.html#nzeb-definitions-by-country.html - actualizado em Maio de 2016 - Consultado 15-04-17

CONCLUSÃO

4.2

O Sol já não motiva. Inventam-se meios, mecanismos e máquinas que tomam de assalto a arquitectura. O legado construtivo do século XX mostra que o conhecimento vernacular até então dado como adquirido se foi perdendo com a modernização da sociedade e a exigência de edificar a uma escala global, sem atender aos mais básicos princípios do meio em que se insere. Uma espécie de bolha desconexa do mundo real que está do outro lado da porta de casa. Só assim se explica o elevado número de mortes sazonais atribuído à falta de condições mínimas de qualidade e conforto das habitações e os níveis de poluição excessiva dessa herança construtiva que foi deixada às gerações vindouras. Assim, a presente Dissertação procurou dar respostas e soluções pertinentes para as questões (ainda) actuais de preservação do ambiente e do retardar das alterações climáticas, ainda que estas não devam nem possam ser tomadas por absolutas. Respostas e soluções que, com o desenrolar desta Dissertação, evidenciaram uma relação directa com o conforto e bem-estar que a própria arquitectura pode e deve assegurar. Demonstrou-se que, através de um modo construtivo ciente dos seus limites se pode reintroduzir novamente valores ancestrais aliados ao estado da arte da eficiência energética.

Depois de abordadas de um modo holísitico as concepções teóricas acerca da construção sustentável, atendendo à metodologia construtiva Passivhaus, verifica-se, através da elaboração de um modelo com a ferramenta de cálculo energético do instituto Passivhaus, que, utilizando apenas meios convencionais e disponíveis no mercado, o desempenho energético de um edifício em Portugal pode ser muito elevado. Demonstrou-se que, com o devido rigor, habilidade e acima de tudo, bom senso, é possível reduzir a dependência energética até 90%. Assim, a ferramenta de cálculo PHPP mostra-se um instrumento de utilização simples e que deveria ser consultada desde uma fase inicial do projecto sem, no entanto, nunca se desenhar em função da mesma.

Um dos objectivos maiores da arquitectura deveria ser a busca incessante pelo conforto. Um conforto objectivo aliado à eficiência e à sustentabilidade, mas que não descura, em momento algum, a parte subjectiva da arquitectura. A parte que desperta sentidos e que, contribui, também, para o conforto. Um conforto íntimo, não explicável nem quantificável, que se traduz em felicidade e emoção, numa lógica de genuinidade que só o Arquitecto pode transpor para a obra.

Espera-se com esta Dissertação despertar a curiosidade e o interesse, contribuindo para o debate contemporâneo de uma arquitectura que se quer cada vez mais sustentável.

"A arquitectura sustentável é uma coisa que tem de ser, faz parte da profissão. Mas dizer "eu faço arquitectura sustentável" é o mesmo que dizer "sou sério e democrata". E a partir daí o que fez de bem? A sustentabilidade é o principio base para arquitectura ser boa, com qualidade. Não é uma qualificação própria. Tudo o que é bom é sustentável, se não não era bom."[299]

[299] MOURA, Eduardo Souto De em http://www.dn.pt/artes/interior/amp/cada-vez-tenho-menos-prazer-na-arquitetura-que-me-pedem-so-interessam-o-tempo-e-o-dinheiro-8680642.html - Consultado 29-08-17

5. Referências bibliográficas

BIBLIOGRAFIA

5.1

LIVROS

AEMET-IM. *Atlas Climático Ibérico: Temperatura do ar e precipitação (1971-2000)*. Madrid: AEMET, 2011.

ALFONSO, Jesús Soto. *La ventilación mecánica con recuperación de calor: la garantía de calidad del aire interior.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 9. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

ANTÓN, Nuria Díaz e Vogt, Anne. *La Envolvente Opaca y el Aislamiento: minimizar pérdidads.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 4. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

BAEZA, Campo. *Pensar com as mãos.* Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2ª Edição, 2013.

BALSATEGUI, Sergio Díaz de Garayo. *Qué son los Puentes Térmicos y cómo se evitan.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 5. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

BENGOA, Alfredo e Nitsch, Bernd. *Los primeros hitos a tener en cuenta.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 3. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

BERGER, Wolfgang. *Necesitamos edificios estancos.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 7. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. *A Green Vitruvius: principles and practice of sustainable architecture design.* London & Washington: Earthscan, 2011.

BROTO, Carles e Minguet, Josep Mª. *Arquitectura Sustentável.* Barcelona: JB Ediciones, 2003.

CASTREJÓN, Aníbal Figueroa. *El Arte de Ver con Inocencia: pláticas con Luis Barragán.* Reyonsa Tamaulipas: Universidad Autónoma Metropolitana, segunda edición, 2002.

CLUA, Maria Hernández. *¿Será Passivhaus? ¿Será casa pasiva?* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 10. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

COMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. *Energy Conscious Design: a primer for architects.* London: B.T. Batsford, 1992.

CSIBA, Katalin. *Overview.* Energy Poverty Handbook. Bruxelas: The Greens/EFA group in the European Parliament, 2016.

DANGEL, Ulrich. *Nachhaltige Architektur in Voralberg.* Basel: Birkhäuser, 2010.

DEPLAZES, Andrea. *Architektur Konstruieren: vom rohmaterial zum bauwerk.* Basel: Birkhäuser, 2013.

EDWARDS, Brian. *Guía Básica de la Sostenibilidade.* Barcelona: Gustavo Gili, 2004.

ENERGIEINSTITUT VORARLBERG. *Wärmebrückenkatalog Fenstereinbau: Teil 1, Details für hocheffiziente Neubauten.* Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Version 2.0, 2013.

FEIST, Wolfgang; Bastian, Zeno; Ebel, Witta; Gollwitzer, Esther; Grove-Smith, Jessica; Kah, Oliver; Kaufmann, Berthold; Krick, Benjamin; Pfluger, Rainer; Schnieders, Jürgen e Steiger, Jan. *PHPP: Passive House Planning Package, Version 9*. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2015.

FINGERLING, Anne. *Eine Geschichte der Nidrigenergiehauser bis zum Passivhaus.* Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GMBH, 1996.

FRAGOSO, Rui e Mateus, Pedro. *Implementation of the EPBD in Portugal: status in December 2014.* 2016 - Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), p. 459-470. Lisboa: ADENE, 2015.

GAUNA, Javier Crespo Ruiz de e Alfonso, Jesús Soto. *Hacia los Edificios sin Hipoteca Energética: Passivhaus - la casa passiva.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 1. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

GAUNA, Javier Crespo. *Los edificios passivos.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 2. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

GONÇALVES, Helder e Graça, João Mariz. *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. *Passive House Design: planning and design of energy-efficient buildings.* München: Detail, 2014.

GUIMARÃES, Marcelina e Fernandes, Miguel. *Uma Casa mais Saudável uma Família mais Feliz.* Lisboa: A Esfera dos Livros, 2016.

HAMMOND, Geoff e Jones, Craig. *Inventory of Carbon & Energy (ICE), Version 2.0.* Bath: University of Bath, 2011.

JONES, Sian. *Social causes and consequences of energy poverty.* Energy Poverty Handbook. Bruxelas: The Greens/EFA group in the European Parliament, 2016.

JOURDA, Françoise-Hélène. *Pequeno Manual Do Projecto Sustentável.* Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2012.

LAKATOS, Edit. *Warm homes for all - tools to tackle the energy poverty challenge.* Energy Poverty Handbook. Bruxelas: The Greens/EFA group in the European Parliament, 2016.

LENGEN, Johan Van. Manual do Arquitecto descalço. Lisboa: DInalivro, 2010.

MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* Lisboa: Argumentum, 2ª Edição, 2010.

MOURÃO, Joana e Pedro, João Branco. *Princípios de Edificação Sustentável.* Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2012.

ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR e "die umweltberatung" Wien. *Dämmstoffe richtig eingesetzt: eignung, anwendung und umweltverträglichkeit von Dämmstoffen.* Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014.

PALLASMAA, Juhani. *Os Olhos da Pele: A Arquitectura e os Sentidos.* Porto Alegre: Bookman, 2011.

PASSIVE-ON. *A Norma Passivhaus em Climas Quentes da Europa: directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético.* Milão: Passive-On Project, 2007.

PHI. *Lüftungskonzepte für die Sanierung.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016.

PASTOR, Rafael Royo. *Las ventanas y la gran fuente de calefacción de los edificios: el sol.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 6. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

ROAF, Sue; Fuentes, Manuel e Thomas, Stephanie. *Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável.* Porto Alegre: Bookman, 2006.

SCHNIEDERS, Jürgen. *Passive Houses in South West Europe: A quantitative investigation of some passive and active space conditioning technicuss for highly energy efficient dwellings in the South West European region.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 3rd edition, 2016.

SIZA, Álvaro. *01 textos.* Porto: Civilização Editora, 2009.

STEINMÜLLER, Bernd. *Reducing Energy by a Factor of 10: Promoting Energy Efficient Sustainable Housing in the Western World.* Lüneburg: Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement, 2008.

TIRONE, Livia e Nunes, Ken. *Construção Sustentável: soluções para uma prosperidade renovável.* Sintra: Tirone Nunes, SA, 3ª Edição, 2010.

VAN LENGEN, Johan. *Manual do Arquitecto descalço.* Lisboa: Dinalivro, 2010.

VIDAL, Jordina. *La protección frente al sol en verano.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 8. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011.

VITRÚVIO. *Tratado de Arquitectura - tradução do latim, introdução e notas por M. Justino Maciel.* Lisboa: IST Press, 2009.

WASSOUF, Micheel. *Da Casa Passiva à Norma Passivhaus: a arquitectura passiva em climas quentes.* Barcelona: Gustavo Gili, 2014.

ZUMTHOR, Peter. *Pensar la Arquitectura*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 3ª edición, 2ª tirada, 2014.

ARTIGOS, REVISTAS E PUBLICAÇÕES

AKBARI, Keramatollah; Mahmoudi, Jafar e Ghanbari, Mahdi. *Inlfuence of indoor air conditions on radon concentration in a detached house.* Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 116, 2013, p 166-173.

BIRCHALL, Sarah; Gustafsson, Marcus; Wallis, Ian; Dipasquale, Chiara; Bellini, Alessandro e Fedrizzi, Roberto. *Survey and simulation of energy use in the European building stock.* Conference Paper, 2016.

BPIE. *Alleviating fuel poverty in the EU: investing in home renovation, a sustainable and inclusive solution.* Bruxelas: Buildings Performance Institut Europe, 2014.

ELGHAZI, Y.; Wagdy. A.; Mohamed, S.e Hassan, A.. *Daylighting driven design: Optimizing kaleidocycle facade for hot arid climate.* BauSIM IBPSA, German-Austrian Conference, 2014, p. 314-321.

ESBENSEN, Torben V. e Korsgaard, Vagn. *Performance of the zero energy house in Denmark.* Lyngby: Techincal University of Denmark, 1977.

FEIST, Wolfgang. *15 jähriges Jubiläum für das Passivhaus Darmstadt - Kranichstein - der Faktor 10 ist Realität.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2006.

FEIST, Wolfgang. *Heizlast in Passivhäusern - Validierung durch Messungen.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2005.

FEIST, Wolfgang. *First Steps: What Can be a Passive House in Your Region with Your Climate?*. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2005.

FEIST, Wolfgang; Ebel, Witta; Peper, Søren; Hasper, Wolfgang; Pfluger, Rainer e Kirchmair, Martin. *25 Jahre Passivhaus Darmstadt Kranichstein.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016.

HEALY, John D.. *Excess Winter Mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors*. Journal Epidemical Community Health, Vol. 57, 2003, p.784-789.

HEALY, John D.. *Fuel poverty in Europe: a cross-country analysis using a new composite measurement (Environmental studies research series working papers)*. University College Dublin, Department of Environmental Studies, 2002.

HEALY, John D.. *Housing conditions, energy efficiency, affordability and satisfaction with housing: a pan-european analysis (Environmental studies research series working papers)*. University College Dublin, Department of Environmental Studies, 2002.

HEALY, John D.. *Housing conditions and self-reported health: a cross-european analysis (Environmental studies research series working papers)*. University College Dublin, Department of Environmental Studies, 2002.

KAH, Oliver; Peper, Søren; Ebel, Witta; Kaufmann, Berthold; Feist, Wolfgang e Bastian, Zeno. *Untersuchung zum Aussenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2010.

KOZAK, W; Gritzki, R.; Perschk, A.; Rösler, M.; e Felsmann, C.. *Simulation der Raumklimatischen Zustände in der Umgebung einer Person bei verschiedenen Lüftungssystemen.* BauSIM IBPSA, German-Austrian Conference, 2014, p. 415-422.

KRICK, Benjamin. *Optimum Glazing in the Regions of Europe considering the Embedded Energy*. Darmstadt: Passivhaus Institut, 2014.

KRICK, Benjamin. *Smartwin Compact: Economic Optimum in the regions of Europe.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2014.

LÖF, George O.G. *A Problem with Passive.* Subcommitee on Advanced Energy Technologies and Energy Conservation Research, Development and Demonstration of the Committee on Science and Technology U.S. House of Representatives, p. 142-150. Ninety-fifth Congress, second session. Washington, 1978.

MARCELINO, João e Gavião, João. *The Passive House in Portugal: encouraging its spread in South West Europe*. Ílhavo: Homegrid, 2013.

MCLEOD, Rob; Mead, Kym e Standen, Mark. *Passivhaus primer: Designer's guide. A guide for the design team and local authorities.* Hertfordshire: BRE Trust.

MEAD, Kym e Brylewski, Robin. *Passivhaus primer: Introduction. An aid to understanding the key principles of the Passivhaus Standard.* Hertfordshire: BRE Trust.

MEISHUN, Lin; Yiqun, Pan; Weiding, Long; Weizhen, Chen. *Influence of Building Shape Coefficient on Energy Consumption of Office Buildings in Hot-Summer-and-Cold-Winter Area of China*. ASIM IBPSA, Asia Conference, 2014, p. 728-735.

PFLUGER, Rainer; Schnieders, Jürgen; Kaufmann, Berthold e Feist, Wolfgang. *HIWIN - Hochwärmedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2003.

PHI. *Active for more comfort: Passive House.* Darmstadt: IPHA, second edition, 2014.

PHI. *1. Architekturpreis Passivhaus.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2010.

PHI. *2. Architekturpreis Passivhaus.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2014.

PHI. *Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard.* Darmstadt: Passivhaus Institut, Version 9f, 2016.

ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. *Visitor's guide.* Colorado: Rocky Mountain Institute, 6th edition, 2007.

ROJAS, Gabriel; Wagner, Waldemar; Suscheck-Berger, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. *Applying the passive house concept to a social housing project in Austria – evaluation of the indoor environment based on long-term measurements and user surveys.* Advances in Building Energy Research, Vol. 10, issue 1, 2016, p.125-148.

SCHLITZBERGER, Stephan; Maas, Anton e Philipson, Bruno. *Kennzeichnung der Energiebilanz von Fassaden- und Dachflächenfenstern.* BauSIM IBPSA, German-Austrian Conference, 2010, p. 542-543.

SCHNIEDERS, Jürgen; Pfluger, Rainer e Feist, Wolfgang. *Forschungsprojekt: Energetische Bewertung von Wohnungslüftungsgeräten mit Feuchterückgewinnung.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2008.

VASQUEZ, Claudio. *El Diseño Del Sistema De Cerramiento*. ARQ (Santiago), Santiago, n. 82, 2012, p. 102-107.

VOLTANI, Eder R. e Labaki, Lucila C. *Revisão da última versão da norma ISO 7730 (2005): síntese bibliográfica dos trabalhos mais relevantes.* ENTAC, 2008.

YI, Aris; Ramirez, Samuel; Bendewald, Michael e Pradhan, Alok. *Lovins GreenHome 1.0: Factor ten engineering case study.* Colorado: Rocky Mountain Institute, 2010.

TRABALHOS ACADÉMICOS

ANDRESO, Marta Daniela Fernandes. *Uma Casa Portuguesa de 1973-1981: Um Estudo para Reabilitação do Conforto Térmico de uma Habitação Unifamiliar segundo os Princípios de uma Arquitectura Bioclimática e Sustentável.* Prova Final para Licenciatura em Arquitectura. Porto: FAUP, 2007.

BRANDÃO, Emílio da Cruz. *Quais os Pressupostos quando ser quer fazer Arquitectura Sustentável? : As Questões que têm de Ser Consideradas…* Prova Final para Licenciatura em Arquitectura. Porto: FAUP, 2005.

GAVIÃO, João Rui Santos Pires. *Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal.* Tese de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Braga: Universidade do Minho, 2012.

GONÇALVES, Ana Raquel da Rocha. *Projectar de Acordo com o Clima: Arquitectura Solar Passiva.* Prova Final para Licenciatura em Arquitectura. Porto: FAUP, 2000.

GONÇALVES, Sandrina Maduro. *Quantificação do Balanço térmico anual através de vãos envidraçados.* Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engeharia Civil - Especialização em Construções. Porto: FEUP, 2014.

GU, Xu. *Evaluate the Feasibility of Passive House in China Context.* Prova Final para Mestrado em Sustainable Engineering: Renewable Energy Systems and the Environment. Department of Mechanical and Aerospace Engineering: University of Strathclyde, 2012.

MACHADO, António Eduardo Aroso. *Habitação Sustentável em Portugal.* Prova Final para Licenciatura em Arquitectura. Porto, FAUP, 2001.

OLIM, Sofia Raquel Teixeira. *Västra Hamnen Porto Oeste: Cidade do Futuro Sustentável: Requalificação de uma Antiga Área Industrial.* Prova Final para Licenciatura em Arquitectura. Porto: FAUP, 2009.

PINHO, Vítor Miguel Ribeiro Silva. *Caracterização térmica de vãos envidraçados e respectivas protecções solares.* Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil. Porto: FEUP, 2013.

REBELO, Catarina Ferraz Sotto-Mayor. *Aplicabilidade de Soluções Sustentáveis na Reabilitação: Moradia no Bairro Económico do Restelo.* Prova Final para Mestre em Arquitectura. Lisboa, UTL, 2011.

ROJAS, Gabriel. *Optimization potentials for mechanical ventilation of energy efficient housing: simulations and evaluation methods*. Dissertação submetida para obtenção do grau de Doutor em Sciencias Técnicas. Innsbruck: Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Fakultät für Technische Wissenschaften, 2015.

SEQUEIRA, Jorge Miguel Coelho Antunes Repolho de. *Inlfluência do Factor Solar dos Envidraçados no desempenho térmico dos edificios no verão: exigências regulamentares.* Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções. Porto: FEUP, 2012.

SILVA, Joana. *Estudo do efeito da radiação em edifícios.* Projecto de investigação em Engenharia Química. Porto: FEUP, 2006.

SOARES, Bruno Jorge Rodrigues. *Arquitectura Bioclimática. Prova Final para Licenciatura em Arquitectura.* Porto: FAUP, 2001.

SPÍNOLA, Alcindo. *Casa Zero.* Prova Final para Licenciatura em Arquitectura. Porto: FAUP, 2008.

VIEIRA, Ema. *Arquitectura Sustentável, à Procura da Perfeita Harmonia: Notas de Uma Busca.* Prova Final para Licenciatura em Arquitectura. Porto: FAUP, 2000.

VILAS BOAS, Stephanie Isabel Castro. *Influência Dos Envidraçados No Conforto Térmico De Verão Dos Edifícios: Proposta de Fatores Solares Máximos Admissíveis.* Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre Em Engenharia Civil - Especialização em Construções. Porto: FEUP, 2013.

SÍTIOS CONSULTADOS

http://www.2000watt.ch

http://www.adene.pt

http://www.bpie.eu

http://www.construcaosustentavel.pt

http://www.database.passivehouse.com

http://www.designingbuildings.co.uk

http:/www.dn.pt

http:/www.dransfeld.ch

http://www.dre.pt

http://www.ec.europa.eu

http://www.edificiossaudaveis.pt

http://www.epbd-ca.eu

http://www.fenercom.com

http://www.greenbuildingadvisor.com

http://www.hollein.com

http://www.ibpsa.org

http://www.ig-passivhaus.de

http://www.ine.pt

http://www.ipma.pt

http://www.itecons.uc.pt

http://www.nilan.dk

http://www.odyssee-mure.eu

http://www.passiv.de

http://www.passipedia.org

http://www.passivhaus.de

http://www.passivhaus.pt

http://www.passivehouse-international.org

http://www.passivhouseplus.ie

http://www.passivhausplaner.eu

http://www.passivhausprojekte.de

http://www.pep.ecn.nl

http://www.portaldoclima.pt

http://www.rmi.org

http://www.scielo.cl

http://www.sciencenordic.com

http://www.solarhousehistory.com

http://www.tandfonline.com

http://www.treehugger.com

http://www.ucd.ie

http://www.u-wert.net

http://www.zaloamati.azc.uam.mx

http://www.zebra-monitoring.enerdata.eu

CRÉDITOS DAS TABELAS

5.2

Tab. 1 - HEALY, John D. *Fuel poverty in Europe: a cross-country analysis using a new composite measurement (Environmental studies research series working papers)*. University College Dublin, Department of Environmental Studies, 2002.

HEALY, John D. *Housing conditions, energy efficiency, affordability and satisfaction with housing: a pan-european analysis (Environmental studies research series working papers)*. University College Dublin, Department of Environmental Studies, 2002.

HEALY, John D. *Housing conditions and self-reported health: a cross-european analysis (Environmental studies research series working papers)*. University College Dublin, Department of Environmental Studies, 2002.

HEALY, John D.. *Excess Winter Mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors.* Journal Epidemical Community Health, Vol. 57, 2003, p.784-789.

Tab. 2 - http://www.ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-database - Consultado 12-04-17

Tab. 3 - http://www.ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-database - última actualização 11-04-17 - Consultado 13-04-17

Tab. 4 - https://www.ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-factsheets - dados de 2014 - Consultado 14-04-17

http://www.zebra-monitoring.enerdata.eu/overall-building-activities/share-of-new-dwellings-in-residential-stock.html#floor-u-values-building-codes.html - última actualização 05-16 - Consultado 15-04-17

Tab. 5 - PASTOR, Rafael Royo. *Las ventanas y la gran fuente de calefacción de los edificios: el sol.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 6. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 84

Tab. 6 - http://www.passivhausprojekte.de/index.php#d_195

Tab. 7 - http://www.passivhausprojekte.de/index.php?lang=de#d_1125

Tab. 8 - http://www.passivhausprojekte.de/index.php#d_2403

MARCELINO, João e Gavião, João. *The Passive House in Portugal: encouraging its spread in South West Europe*. Ílhavo: Homegrid, 2013.

Tab. 9 - http://www.passivhausprojekte.de/index.php#d_4744

Tab. 10 - tabela do autor

Tab. 11 - tabela do autor

Tab. 12 - tabela do autor

Tab. 13 - tabela do autor

Tab. 14 - tabela do autor

Tab. 15 - tabela do autor

Tab. 16 - tabela do autor

Tab. 17 - tabela do autor

Tab. 18 - tabela do autor

Tab. 19 - tabela do autor

Tab. 20 - tabela do autor

Tab. 21 - tabela do autor

Tab. 22 - tabela do autor

Tab. 23 - tabela do autor

Tab. 24 - tabela do autor

Tab. 25 - tabela do autor

Tab. 26 - tabela do autor

Tab. 27 - tabela do autor

CRÉDITOS DAS IMAGENS

5.3

01. http://sciencenordic.com/sites/default/files/imagecache/620x/no-nb_bldsa_q3c035.jpg - Consultado 12-03-17

02. https://static1.squarespace.com/static/512f8523e4b02ab8ee84fa44/t/51746a07e4b047d367f8f172/1366583818053/4387523202_3664b777e4_b.jpg - Consultado 12-03-17

03. https://media.treehugger.com/assets/images/2013/04/news_story_729_full.jpg - Consultado 12-03-17

04. http://delivery.gettyimages.com/xr/542868559.jpg? v=1&c=IWSAsset&k=3&d=77BFBA49EF878921CC759DF4EBAC47D0D1E2D4028BE7549EABDA8E625409DB2D67157A9C0035D88BA55A1E4F32AD3138 - Consultado 11-09-17

05. FINGERLING, Anne. *Eine Geschichte der Nidrigenergiehauser bis zum Passivhaus.* Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GMBH, 1996, p. 10

06. http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/musings/forgotten-pioneers-energy-efficiency - Consultado 04-04-17

07. http://www.solaripedia.com/images/large/2286.jpg - Consultado 12-09-17

08. http://www.10xe.orwww.10xe.org/Content/Images/Locations_AmoryHome_Winter.jpg - Consultado 01.02.17

09. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/53/Passivhaus_Darmstadt_Kranichstein_Schnee_2005_Feb.jpg - Consultado 09-10-16

10. http://www.passiv.de/_images/00/fotos_phi-website_ausschnitte/Kranichstein_Slideshow.jpg - Consultado 09-10-16

11. http://www.passivhausprojekte.de/fotos/0013_skaliert-75.jpg - Consultado 09-10-16

12. http://p3.publico.pt/sites/default/files/4_2013/03passivehouse_1024x682_0.png - Consultado 12-09-17

13. http://www.passivhaustrust.org.uk/UserFiles/Image/Logos/zertifiziertes_PH_classic_GBR.jpg - Consultado 09-09-16

14. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* Lisboa: Argumentum, 2ª Edição, 2010, p. 40

15. GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. *Passive House Design: planning and design of energy-efficient buildings.* München: Detail, 2014, p. 72

16. GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. *Passive House Design: planning and design of energy-efficient buildings.* München: Detail, 2014, p. 10

17. GAUNA, Javier Crespo Ruiz de e Alfonso, Jesús Soto. *Hacia los Edifícios sin Hipoteca Energética: Passivhaus - la casa passiva.* Guia del Estándar Passivhaus: edificios de consumo energético casi nulo, Capítulo 1. Madrid: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2011, p. 16

18. https://www.phai.ie/wp-content/uploads/photo-gallery/Kamakura_Passive_House/Kamakura_Passive_House._Kamakura,_Japan_(2).jpg - Consultado 13-07-17

19. https://passivehouseplus.ie/articles/international-green-buildings/international-selection-passive-house-comes-of-age?highlight=WyJqYXBhbiIsImphcGFuJ3MiXQ== - Consultado 13-07-17

20. http://sonnenkraftheizung.de/wp-content/uploads/2015/12/luftdicht_hulle.jpg - Consultado 24-08-17

21. http://www.energie-lehner.ch/webyep-system/daten/8-16-im-Bild_Block_2-1530.jpg - Consultado 15-09-17

22. http://www.malerblatt.de/wp-content/uploads/4/2/421279.jpg - Consultado 12-03-17

23. http://passivehouse.com.au/cms/tinymce/filemanager/library/ProClima_attic_sml.jpg - Consultado 15-09-17

24. https://www.bauexpertenforum.de/attachments/dscf7522-jpg.53153/ - Consultado 15-09-17

25. https://www.pilinski.org/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/abklebung2.jpg - Consultado 15-09-17

26. https://www.ecobati.com/documents/photo/temoignages/mercenier-blowerdoor/chantier-mercenier-blowerdoor-037-850px.jpg - Consultado 15-09-17

27. http://energycodehelp.com/wp-content/uploads/2014/05/blower-door-2-.jpg - Consultado 15-09-17

28. WASSOUF, Micheel. *Da Casa Passiva à Norma Passivhaus: a arquitectura passiva em climas quentes.* Barcelona: Gustavo Gili, 2014. p. 35

29. http://www.greenbuildingadvisor.com/sites/default/files/Saskatchewan%20Conservation%20House.jpg - Consultado 17-06-17

30. https://www.detail.de/fileadmin/_migrated/pics/Passivhausaward_03.jpg - Consultado 08-08-17

31. Fotografia do autor

32. Fotografia do autor

33. GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. *Passive House Design: planning and design of energy-efficient buildings.* München: Detail, 2014, p. 40

34. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* Lisboa: Argumentum, 2ª Edição, 2010, p. 29

35. MOITA, Francisco. *Energia Solar Passiva.* Lisboa: Argumentum, 2ª Edição, 2010, p. 41

36. TIRONE, Livia e Nunes, Ken. *Construção Sustentável: soluções para uma prosperidade renovável.* Sintra: Tirone Nunes, SA, 3ª Edição, 2010, p. 116

37. https://i.pinimg.com/originals/f9/4e/5d/f94e5d4f6ee83812c81c191aeab37325.jpg - Consultado 29-08-17

38. https://pbs.twimg.com/media/C3NZtIlWMAAcskw.jpg - consultado 10-09-17

39. GONZALO, Roberto e Vallentin, Rainer. *Passive House Design: planning and design of energy-efficient buildings.* München: Detail, 2014, p. 134

40. PHI. *Lüftungskonzepte für die Sanierung.* Darmstadt: Passivhaus Institut, 2016, p. 75

41. https://www.atlantics.com.au/assets/images/duolix/in_winter.jpg - Consultado 11-03-16

42. WASSOUF, Micheel. *Da Casa Passiva à Norma Passivhaus: a arquitectura passiva em climas quentes.* Barcelona: Gustavo Gili, 2014. p. 60

43. BROPHY, Vivienne e Lewis, J. Owen. *A Green Vitruvius: principles and practice of sustainable architecture design.* London & Washington: Earthscan, 2011, p. 23

44. https://passiv.de/former_conferences/Kran/Passive_House_DA_section.png - Consultado 17-01-17

45. http://www.archdaily.com/84165/passive-house-karawitz-architecture - Consultado 13-05-16

46. http://www.homegrid.pt/galerias.aspx?action=all&id=2&menu=Portfólio - Consultado 01-09-17

47. http://www.homegrid.pt/galerias.aspx?action=all&id=3&menu=Portfólio - Consultado 01-09-17

SIGLAS E ACRÓNIMOS

5.4

CEPHEUS	Cost Efficient Passive Houses as European Standard
CF	Coeficiente de Forma
COP	Coefficient of Performance
COV	Composto Orgânico Volátil
CO_2	Dióxido de Carbono
EC	Electronic Commutation
EC	Embodied Carbon
ECHP	European Community Household Panel
EE	Embodied Energy
EN	European Norm
EPS	Poliestireno
EU	European Union
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
IDA	Indoor Air
HR	Humidade Relativa
IDA	Indoor Air
INE	Instituto Nacional de Estatística
IT	Isolamento Térmico
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
nZEB	Nearly Zero-Emission Building
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
OSB	Oriented Strand Board
PE	Polietileno
PEP	Promotion of European Passive Houses
PH	Passivhaus
PHI	Passivhaus Institut
PHPP	Passive House Planning Package
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
PT	Ponte Térmica
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Polivinila
QAI	Qualidade do Ar Interior
RC	Recuperador de Calor
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RDA	Rede de Distribuição do Ar
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
SCH	Saskatchewan Conservation House
TFA	Treated floor area
VM	Ventilação Mecânica
WHO	World Health Organization

6. ANEXOS

6.1

Folhas de verificação do PHPP, Lisboa

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa REH I1
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204
Interior temp. summer [°C]:	25,0		
IHG cooling case [W/m²]:	2,4		
Mechanical cooling:			

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	38	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	27	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	3	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	2	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	107	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	50	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)	0	≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - forma
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	31	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	24	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	2	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	2	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	95	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	43	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task: | First name: | Surname: | Signature:

Issued on: | City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - sombreamento
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm
Altitude of location:	100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204
Interior temp. summer [°C]:	25,0		
IHG cooling case [W/m²]:	2,4		
Mechanical cooling:			

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	31	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	24	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	2	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	2	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	95	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	43	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - isolamento
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal

Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	26	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	22	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	2	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	2	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	86	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	39	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - vãos envidraçados
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204
Interior temp. summer [°C]:	25,0		
IHG cooling case [W/m²]:	2,4		
Mechanical cooling:			

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	12	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	17	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	6	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	2	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	64	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	30	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - ventilação
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204
Interior temp. summer [°C]:	25,0		
IHG cooling case [W/m²]:	2,4		
Mechanical cooling:			

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	13	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	18	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	3	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	0	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	76	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	36	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task: | First name: | Surname: | Signature:

Issued on: | City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - estanquidade
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	11	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	15	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	4	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	0	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	73	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	34	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - solução optimizada
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204
Interior temp. summer [°C]:	25,0		
IHG cooling case [W/m²]:	2,4		
Mechanical cooling:			

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	11	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	15	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	4	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	0	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	73	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	34	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Lisboa - Passivhaus
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0001a-Lisboa
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204
Interior temp. summer [°C]:	25,0		
IHG cooling case [W/m²]:	2,4		
Mechanical cooling:			

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	4	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	10	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	6	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	0	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	65	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	31	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

6.2

Folhas de verificação do PHPP, Porto

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto REH I2
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm
Altitude of location:	100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	46	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	28	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	8	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	123	≤	120		no
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	60	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - forma
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	39	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	25	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	8	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	110	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	52	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task: | First name: | Surname: | Signature:

Issued on: | City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - sombreamento
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	39	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	25	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	8	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	110	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	52	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - isolamento
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	33	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	23	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	8	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	99	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	45	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task: | First name: | Surname: | Signature:

Issued on: | City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - vãos envidraçados
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	16	≤	15	-	no
	Heating load	W/m²	17	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	8	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	71	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	33	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - ventilação
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,5
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	11	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	14	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	2	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	3,0	≤	0,6		no
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	78	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	37	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? no

Task: | First name: | Surname: | Signature:

Issued on: | City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - estanquidade
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
Specific building characteristics with reference to the treated floor area							
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	8	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	11	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	3	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	75	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	35	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - solução optimizada
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0	Interior temp. summer [°C]:	25,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4	IHG cooling case [W/m²]:	2,5
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204	Mechanical cooling:	

Specific building characteristics with reference to the treated floor area

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	8	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	11	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	3	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	75	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	35	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City:

Passive House Verification

Photo or Drawing

Building:	Modelo simulação Porto - Passivhaus
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Building type:	
Climate data set:	PT0002a-Porto
Climate zone:	5: Warm — Altitude of location: 100 m
Home owner / Client:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Architecture:	Christian Ferreira
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal
Energy consultancy:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	PT-Portugal

Mechanical system:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	
Certification:	
Street:	
Postcode/City:	
Province/Country:	

Year of construction:	2017	Interior temperature winter [°C]:	20,0
No. of dwelling units:	1	Internal heat gains (IHG) heating case [W/m²]:	2,4
No. of occupants:	3,0	Specific capacity [Wh/K per m² TFA]:	204

					Criteria	Alternative criteria	Fullfilled?[2]
	Treated floor area	m²	180,0				
Space heating	Heating demand	kWh/(m²a)	8	≤	15	-	yes
	Heating load	W/m²	10	≤	-	10	
Space cooling	Cooling & dehum. demand	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Cooling load	W/m²	-	≤	-	-	
	Frequency of overheating (> 25 °C)	%	0	≤	10		yes
	Frequency excessively high humidity (> 12 g/kg)	%	4	≤	20		yes
Airtightness	Pressurization test result n_{50}	1/h	0,5	≤	0,6		yes
Non-renewable Primary Energy (PE)	PE demand	kWh/(m²a)	71	≤	120		yes
Primary Energy Renewable (PER)	PER demand	kWh/(m²a)	33	≤	-	-	-
	Generation of renewable energy (in relation to projected building	kWh/(m²a)		≥	-	-	

[2] Empty field: Data missing; '-': No requirement

I confirm that the values given herein have been determined following the PHPP methodology and based on the characteristic values of the building. The PHPP calculations are attached to this verification.

Passive House Classic? yes

Task:	First name:	Surname:	Signature:

Issued on:	City: