



Contributo para o Projeto de um ZELab - Módulo de Ambiente E Microbiologia

RAFAEL RIBEIRO DE CARVALHO

novembro de 2018

CONTRIBUTO PARA O PROJETO DE UM ZELAB - MÓDULO DE AMBIENTE E MICROBIOLOGIA

Rafael Ribeiro de Carvalho

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

CONTRIBUTO PARA O PROJETO DE UM ZELAB - MÓDULO DE AMBIENTE E MICROBIOLOGIA

Rafael Ribeiro de Carvalho
1150022

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, orientação da Professora Doutora Nídia de Sá Caetano

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutora Elza Maria Morais Fonseca

Professor Adjunto no Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Nídia de Sá Caetano

Professora Coordenadora no Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Vítor Manuel da Silva Leal

Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Um especial agradecimento à Engenheira Nídia Caetano pelo acompanhamento constante e pela ajuda prestada ao longo deste processo; *Muito Obrigado*.

Um Obrigado, ao André Ribeiro, pela partilha de conhecimentos e por suportar as situações de nervosismo ao longo da escrita do documento.

Aos amigos e família que contribuíram de forma direta ou indireta, um *Obrigado*.

PALAVRAS CHAVE

nZEB, Eficiência Energética, Construção Modular, Cargas Térmicas

RESUMO

Uma vez que os edifícios constituem um potencial de poupança de energia, vários organismos dedicaram os seus estudos de forma a perceber quais as origens dos consumos e ineficiências na utilização de energia bem como estratégias para as mitigar, começando principalmente por propor reformas na envolvente dos edifícios, estabelecendo-se requisitos legais, de forma a limitar os consumos.

Com o surgimento do conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, *nZEB*, surgiu a necessidade de reunir várias áreas do conhecimento. É com o intuito de criar um laboratório multidisciplinar e integrador das diversas vertentes da engenharia num edifício energeticamente eficiente que surge o *ZELab*, no qual está integrado um módulo laboratorial para realização de trabalhos nas áreas de ambiente e microbiologia. Além de ser um edifício *nZEB* pretende-se que o *ZELab*, dê suporte a atividades letivas e sobretudo, seja um local que permita a várias áreas de conhecimento avaliar a aplicação de novas tecnologias e estratégias de gestão de edifícios, e perceber o funcionamento conjunto das diversas tecnologias instaladas.

A presente dissertação pretende fazer um balanço dos possíveis contributos para a obtenção de um edifício *nZEB* e, no caso prático, sugerir um *layout* para o edifício que reflita as preocupações de *design* e ocupação/utilização e, por último, estimar os consumos de energia para o módulo laboratorial proposto.

O edifício de microbiologia e ambiente proposto têm uma área de implantação de 135,20 m², composto por 10 módulos de 5,2 metros de comprimento, 2,6 metros de largura e 3,6 metros de altura; o edifício encontra-se dividido por diversas áreas: corredores de acesso, armazenamento de suporte às atividades, uma zona técnica de apoio aos fotobiorreatores instalados na fachada oeste e, 5 zonas de investigação. A solução proposta para a construção consiste na utilização de estrutura em aço, com a

utilização de painéis de OSB pelo exterior, gesso cartonado pelo interior, lã-de-rocha entre os painéis e capoto pelo exterior utilizando painéis de cortiça, sendo este o acabamento.

Calculados os balanços térmicos, obteve-se uma carga térmica de 5,5 kW para aquecimento e 19,6 kW para arrefecimento. Uma vez que os sistemas de climatização não foram selecionados, para as condições genéricas estabelecidas estimou-se o consumo de energia útil na bateria de arrefecimento, com uso de *free-cooling* entre 26543 kWh/ano e 27829 kWh/ano.

Em função das potências elétricas e dos perfis de utilização, estimou-se que o consumo de energia elétrica pela iluminação em cerca de 2007 kWh/ano e dos equipamentos laboratoriais em cerca de 20810 kWh/ano.

As principais conclusões retiradas são: para além do consumo de energia elétrica, os equipamentos laboratoriais (para um espaço deste tipo) possuem grande impacto nas cargas térmicas dos espaços e por conseguinte, induzem grandes consumos de energia pelos sistemas de climatização. As cargas térmicas dos equipamentos são de difícil determinação, uma vez que a potencia térmica dissipada assim como a sua utilização típica são difíceis de apurar. A grande diversidade de temas e especialidades que devem ser tomados em consideração para a projeção de um espaço laboratorial do tipo do pretendido, tendo em vista a aproximação de desempenho de um edifício nZEB, permite concluir que este deverá ser pensado por uma equipa multidisciplinar, de forma a poder ser otimizado em todas as suas vertentes.

KEYWORDS

nZEB, Energy Efficiency, Modular Construction, Thermal Loads

ABSTRACT

Due to the recognition that buildings represent a potential for energy savings, a number of entities have focused their studies trying to understand the origins of energy consumption and inefficiency as well as strategies to mitigate them, mainly through changes in the envelope of buildings and by establishing legal requirements in order to reduce energy consumption.

The emergence of the concept of a building with nearly zero energy needs, nZEB, the need arose to bring together several areas of knowledge. It is with the intention of creating a multidisciplinary laboratory and integrator of the various aspects of engineering in an energy efficient building that arises the ZELab, in which is integrated a laboratory module to carry out work in the areas of environment and microbiology. In addition to be a nZEB building, it is intended that the ZELab, provides support to educational activities and above all, be a place that allows several areas of knowledge to evaluate the application of new technologies and strategies of buildings management, and to perceive the installed technologies.

This Master Thesis intends to analyze the possible contributions to obtain an nZEB building and, in the practical case, to suggest a layout for the building that reflects the design and occupation / use concerns and, finally, to estimate the energy consumption of the proposed laboratory module.

The proposed microbiology and environment building have a deployment area of 135,20 m², consisting of 10 modules measuring 5,2 meters in length, 2,6 meters in width and 3,6 meters in height; the building is divided by several areas: access corridors, a storage area, a technical area to support photobioreactors installed on the west façade and 5 research areas. The solution proposed for the construction consists of the use of steel structure, with the use of OSB panels by the exterior, plasterboard by the interior, rock wool between the panels and ETICS by the outside using panels of cork, this being the finishing.

Thermal balances were calculated, giving a thermal load of 5,5 kW for heating and 19,6 kW for cooling. Since the air conditioning systems were not determined, the estimated useful energy consumption in the cooling battery was estimated using free cooling between 26543 kWh/year and 27829 kWh/year.

Due to the electric powers and the profiles of use, it was estimated that the electricity consumption by the illumination is about 2007 kWh/year and the laboratory equipment is about 20810 kWh/year.

The main conclusions drawn are that in addition to the consumption of electric energy, laboratory equipment has (for a space of this type) a huge impact on the thermal loads of the spaces and therefore, induces high energy consumption by the air conditioning system. The thermal loads of the equipment are difficult to determine since the dissipated thermal power as well as its use are difficult to know. The large diversity of subjects and expertise that should be taken into account for the projection of a laboratory space such as the one desired, aiming to bring the performance of this building closer to an nZEB, allows one to conclude that this should be thought of by a multidisciplinary team, so as to optimize it in all its aspects.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

| | |
|---------------|---|
| <i>ASHRAE</i> | Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado |
| <i>AVAC</i> | Aquecimento, ventilação e ar condicionado |
| <i>DSC</i> | Célula solar sensibilizada por corante |
| <i>EPBD</i> | Diretiva europeia para a eficiência energética dos edifícios |
| <i>EPS</i> | Poliestireno expandido |
| <i>ETICS</i> | Sistema composto de revestimento externo |
| <i>GEE</i> | Gases de efeito de estufa |
| <i>HAP</i> | <i>Hourly Analysis Program</i> |
| <i>HR</i> | Humidade relativa |
| <i>LNEG</i> | Laboratório Nacional de Energia e Geologia |
| <i>LSF</i> | Estruturas em aço leve |
| <i>nZEB</i> | Edifício com necessidades quase nulas de energia |
| <i>ONU</i> | Organização das Nações Unidas |
| <i>OSB</i> | Painel de tiras de madeira orientadas |
| <i>RES</i> | Sistemas de energias renováveis |
| <i>U</i> | Coeficiente de transmissão térmica |
| <i>UE-28</i> | União Europeia constituída por 28 Estados-Membros |
| <i>XPS</i> | Poliestireno extrudido |
| <i>ZCB</i> | Edifício zero carbono |
| <i>ZEB</i> | Edifício com necessidades zero de energia |

GLOSSÁRIO DE TERMOS

| | |
|---------------------|---|
| <i>Off-site</i> | Fora do local |
| <i>Setpoint</i> | Valor estabelecido como referência para um sistema automático |
| <i>Stakeholders</i> | Pessoas ou grupos de interesses numa determinada matéria |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - EMISSÕES DE GEE COM BASE NOS VALORES DE 1990 [6]. | 4 |
| FIGURA 2 - CONSUMO DE ENERGIA FINAL EM 2015 NA UE-28 E EM PORTUGAL: 1) INDÚSTRIA, 2) TRANSPORTES, 3) RESIDENCIAL, 4) AGRICULTURA, SILVICULTURA E PECUÁRIA, 5) SERVIÇOS E 6) OUTROS [6]. | 5 |
| FIGURA 3 - ENERGIA UTILIZADA DURANTE O CICLO DE VIDA DO EDIFÍCIO [11]. | 6 |
| FIGURA 4 - PAÍSES COM DEFINIÇÃO <i>NZEB</i> [18]. | 12 |
| FIGURA 5 – EXEMPLO DE MÓDULO DE TELHADO VERDE [27]. | 15 |
| FIGURA 6 – EXEMPLO DE UMA CONSTRUÇÃO MODULAR [29]. | 17 |
| FIGURA 7 – HABITAÇÃO CONSTRUÍDA A PARTIR DE CONTENTORES MARÍTIMOS [31]. | 18 |
| FIGURA 8 - CONSTRUÇÃO EM LSF (FASE DE CONSTRUÇÃO), [33]. | 20 |
| FIGURA 9 – SECÇÃO DE 2 COLETORES PV/T A ÁGUA SENDO CONSTITUÍDOS POR: CÉLULAS FOTOVOLTAICAS (1), PLACA DE LIGAÇÃO ENTRE AS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS E A TUBAGEM (2), TUBAGEM ONDE PASSA O FLUÍDO DE TRABALHO (3), COBERTURA DE VIDRO (4), ESTRUTURA DE ALUMÍNIO (5), ISOLAMENTO (6) E CAMA DE AR ESTÁTICA (7) ([39]. | 22 |
| FIGURA 10 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE DSC: A) MOCHILA DA G24 POWER INCORPORANDO UMA DSC [49]; B) LÂMPADA SOLAR AKARIE DA NISSHA PRINTING CO.,LTD, ALIMENTADA POR UMA DSC [50]. | 25 |
| FIGURA 11 - IMPLEMENTAÇÃO DE DSC NA FACHADA DO CENTRO DE CONVENÇÃO SWISSTECH [52]. | 26 |
| FIGURA 12 - MICROALGAS: DA CULTURA AO PRODUTO FINAL (ADAPTADO DE [53]). | 27 |
| FIGURA 13 - TIPOS DE SISTEMAS ABERTOS: (A) LAGO CIRCULAR, B) <i>RACEWAY POND</i> (ADAPTADO DE [56]). | 28 |
| FIGURA 14 - INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS DE MICROALGAS: A) CALIFÓRNIA, USA; B) LAGOA HUTT, AUSTRÁLIA; C) TAIWAN [58]. | 29 |
| FIGURA 15 - EDIFÍCIO DO PROJETO BIQ [60]. | 30 |
| FIGURA 16 - REATORES HIDROPÓNICOS INTERIORES DO WATERHUB [63]. | 33 |
| FIGURA 17 - ESQUEMA CHAMINÉ SOLAR [72]. | 37 |
| FIGURA 18 - EXEMPLO DE ÁTRIOS (À ESQUERDA: ÁTRIO PROMOVEDO A DIFERENÇA DE DENSIDADES; À DIREITA: ÁTRIO PROMOVEDO A DIFERENÇA DE PRESSÃO PROMOVIDA PELO VENTO) [74]. | 38 |
| FIGURA 19 - GINÁSIO ESCOLA EM BEDFORD, NOVA IORQUE (À ESQUERDA: EDIFÍCIO ORIGINAL; À DIREITA: INTEGRAÇÃO DE COLETORES SOLARES A AR NÃO ENVIDRAÇADO NO EDIFÍCIO) [77]. | 41 |
| FIGURA 20 – VELUXLAB [37]. | 50 |
| FIGURA 21 - ESQUEMA DE PRINCÍPIO DA CLIMATIZAÇÃO DO VELUXLAB [38]. | 51 |
| FIGURA 22 - EDIFÍCIO LA JOLLA (ADAPTADO DE [90]). | 52 |
| FIGURA 23 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO (ADAPTADO DE [90]). | 53 |
| FIGURA 24 - VERTENTES QUE INFLUENCIAM A OBTENÇÃO DE UM EDIFÍCIO <i>NZEB</i> . | 59 |
| FIGURA 25 - ENQUADRAMENTO E LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO <i>NZEB</i> . | 60 |
| FIGURA 26 - PREVISÃO DE <i>LAYOUT</i> PARA O LABORATÓRIO DE MICROBIOLOGIA E AMBIENTE. | 62 |
| FIGURA 27 - SOLUÇÃO CORRENTE DE PAREDES E LAJES PARA EDIFÍCIOS EM LSF. | 65 |
| FIGURA 28 - DADOS CLIMÁTICOS INSERIDOS NO SEPARADOR <i>WEATHER</i> (HAP). | 69 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 29 - EXEMPLO DE CRIAÇÃO DE UM PERFIL DE UTILIZAÇÃO NO HAP. | 74 |
| FIGURA 30 - ESQUEMA DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO UTILIZADO NO ZELAB. | 80 |
| FIGURA 31 - CONFIGURAÇÃO DO TERMOSTATO DE CADA ZONA. | 81 |
| FIGURA 32 - CARGA TÉRMICA DE VENTILAÇÃO NA PRIMEIRA ITERAÇÃO. | 83 |
| FIGURA 33 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA ILUMINAÇÃO. | 84 |
| FIGURA 34 - ENERGIA ESTIMADA CONSUMIDA PELOS EQUIPAMENTOS LABORATORIAIS. | 84 |
| FIGURA 35 - ENERGIA ÚTIL DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO (À ESQUERDA: PARA O CASO BASE; À DIREITA: PARA A SOLUÇÃO PROPOSTA). | 85 |
| FIGURA 36 - ENERGIA ÚTIL DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO UTILIZANDO FREE COOLING (À ESQUERDA: PARA O CASO BASE; À DIREITA: PARA A SOLUÇÃO PROPOSTA). | 87 |
| FIGURA 37 - ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL POR VIA FOTOVOLTAICA UTILIZANDO O PVGIS. | 88 |
| FIGURA 38 - FOTOBIOREATOR SOLARLEAF [60] | 107 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 – BREEAM: PONDERAÇÕES PARA EDIFÍCIOS NÃO RESIDENCIAIS NO LUXEMBURGO (ADAPTADO DE [84]). | 44 |
| TABELA 2 - LEED: PONDERAÇÕES PARA NOVAS CONSTRUÇÕES (ADAPTADO DE [86]). | 45 |
| TABELA 3 - SISTEMA LIDERA: PRINCÍPIOS, ÁREAS E PONDERAÇÕES (ADAPTADO DE [82]). | 47 |
| TABELA 4 - SBTOOL: DIMENSÃO, CATEGORIA E PONDERAÇÃO (ADAPTADO DE [68]). | 48 |
| TABELA 5 - CONTRIBUTOS PARA A OBTENÇÃO DE UM NZEB (TABELA RESUMO). | 55 |
| TABELA 6 - VALORES REGULAMENTARES (RECS) DE $U_{MÁX}$ PARA ZONA CLIMÁTICA I1. | 64 |
| TABELA 7 - TEMPERATURAS INTERIORES DE PROJETO. | 69 |
| TABELA 8 - CARGA TÉRMICA MÁXIMA EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO. | 70 |
| TABELA 9 - AVALIAÇÃO DA TAXA DE VENTILAÇÃO, CARGA DOS EQUIPAMENTOS E CONDIÇÕES INTERIORES EM FUNÇÃO DO TIPO DE LABORATÓRIO (ADAPTADO DE [103]). | 72 |
| TABELA 10 - ESTIMATIVA DA CARGA TÉRMICA DE CADA ZONA. | 73 |
| TABELA 11 - ESTIMATIVA DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS. | 75 |
| TABELA 12 - DETERMINAÇÃO DOS CAUDAIS MÍNIMOS DE AR NOVO PARA A CARGA POLUENTE EM FUNÇÃO DA OCUPAÇÃO (1) E PARA A CARGA POLUENTE EM FUNÇÃO DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E MOBILIÁRIO DO EDIFÍCIO (2). | 77 |
| TABELA 13 - LEVANTAMENTO DIMENSIONAL DOS ESPAÇOS. | 78 |
| TABELA 14 - DADOS AUXILIARES PARA O CÁLCULO DA INÉRCIA TÉRMICA. | 79 |
| TABELA 15 - CARGA TÉRMICA TOTAL DE ARREFECIMENTO EXCETO VENTILAÇÃO, ESPAÇO A ESPAÇO. ... | 82 |
| TABELA 16 – CARGA TÉRMICA TOTAL DE AQUECIMENTO EXCETO VENTILAÇÃO, ESPAÇO A ESPAÇO. | 82 |
| TABELA 17 - CAUDAIS MÁXIMOS DE AR NECESSÁRIOS PARA CLIMATIZAR CADA ZONA. | 82 |
| TABELA 18 - CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO DO ZELAB. | 83 |
| TABELA 19 - CONSUMO DE GASES PELOS EQUIPAMENTOS LABORATORIAIS. | 85 |
| TABELA 20 - QUANTIDADE DE CO ₂ EQ INCORPORADO NOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO. | 86 |

ÍNDICE

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 1.1 | Enquadramento | 3 |
| 1.2 | Motivação e objetivo | 8 |
| 2 | ESTADO DE ARTE | 11 |
| 2.1 | O conceito de <i>nZEB</i> | 11 |
| 2.1.1 | A implementação da definição de <i>nZEB</i> na UE-28 | 11 |
| 2.1.2 | A definição à luz da legislação portuguesa | 12 |
| 2.2 | Contributos para obtenção de um <i>nZEB</i> | 13 |
| 2.2.1 | <i>nZEB</i> e a Construção | 13 |
| 2.2.2 | <i>nZEB</i> e a Produção/Gestão de Energia | 20 |
| 2.2.3 | <i>nZEB</i> e o Aproveitamento de Água | 32 |
| 2.2.4 | <i>nZEB</i> e a Climatização | 34 |
| 2.3 | Sistemas de Certificação Energética de Edifícios | 42 |
| 2.3.1 | O conceito <i>Passivhaus</i> | 42 |
| 2.3.2 | Sistema de certificação BREEAM | 43 |
| 2.3.3 | Sistema de certificação LEED | 44 |
| 2.3.4 | Sistemas nacionais de certificação | 45 |
| 2.4 | Laboratórios <i>nZEB</i> | 49 |
| 2.4.1 | VELUXlab | 49 |
| 2.4.2 | JCVI – Laboratório Sustentável | 52 |
| 2.5 | Conclusão do capítulo | 54 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO PARA UM <i>ZELAB</i> | 59 |
| 3.1 | Requisitos e necessidades do espaço | 59 |
| 3.2 | Considerações relativas à proposta de solução | 60 |
| 3.3 | Solução construtiva | 64 |
| 3.4 | Cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento | 67 |
| 3.4.1 | Dados climáticos | 68 |
| 3.4.2 | Potência térmica dissipada pela ocupação, iluminação e equipamentos | 70 |
| 3.4.3 | Perfis de utilização | 73 |
| 3.4.4 | Caudais mínimos de ar novo | 75 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.4.5 | Considerações sobre a envolvente exterior | 77 |
| 3.4.6 | Considerações sobre o sistema de climatização | 79 |
| 3.4.7 | Resultados | 81 |
| 3.5 | Estimativa de consumos | 83 |
| 3.6 | Considerações finais | 86 |
| 4 | CONCLUSÕES | 91 |
| 4.1 | Proposta de trabalhos futuros | 92 |
| 5 | FONTES DE INFORMAÇÃO | 95 |
| 6 | ANEXOS | 105 |
| 6.1 | Anexo 1 | 106 |
| 6.2 | Anexo 2 | 107 |
| 6.3 | Anexo 3 | 108 |
| 6.4 | Anexo 4 | 110 |
| 6.5 | Anexo 5 | 113 |
| 6.6 | Anexo 6 | 114 |
| 6.7 | Anexo 7 | 118 |

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Motivação e objetivo

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado um breve enquadramento do tema edifícios energeticamente eficientes, tendo em conta os consumos energéticos e de recursos que os edifícios atuais representam.

1.1 Enquadramento

Com a expansão da população, durante a revolução industrial do século XIX, iniciou-se a corrida à extração de matérias-primas para produção em massa de bens de consumo e energia, sendo o petróleo e o carvão as matérias-primas mais utilizadas para este fim.

Devido às sucessivas crises do petróleo, as nações que mais dependiam desta matéria-prima energética viram-se forçadas a repensar o seu uso e, em novas formas de produção de energia para reduzir a dependência deste bem. Um dos aspetos positivos que surgiu da crise do petróleo, foi a consciencialização para o uso regrado dos recursos e, então, surgiram as primeiras preocupações com a sustentabilidade.

Em 1972 foi realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), a primeira cimeira, que reuniu 113 países, e onde o tema discutido foi a degradação do meio ambiente, tendo sido elaborado um documento de compromisso que ficou conhecido como Declaração de Estocolmo. A Declaração de Estocolmo estabelece princípios segundo os quais as nações se devem reger, de modo a terem um desenvolvimento sustentável [1].

Como consequência da primeira cimeira organizada pela ONU, foi definido, em 1987, o conceito de desenvolvimento sustentável: *“o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades”* [2].

Em 1997, foi assinado o primeiro tratado jurídico internacional que pretende limitar as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) dos países desenvolvidos, o Protocolo de Quioto [3]. O Protocolo de Quioto propôs a redução dos GEE em, no mínimo, 5% dos níveis verificados em 1990, entre 2008 e 2012 (Figura 1). A Europa, de forma a tornar mais expressivo o compromisso, assumiu reduzir as emissões de GEE em 8% [4].

Os países subscritores do protocolo comprometeram-se a: reformar os setores de energia e transporte; promover o uso de fontes de energias renováveis; limitar as

emissões de metano na gestão de resíduos; e proteger as florestas e outros sumidouros de carbono.

Em março de 2007, de forma a aumentar o compromisso com o mundo para um desenvolvimento sustentável, os líderes Europeus aceitaram a proposta da Comissão Europeia e comprometeram-se a atingir metas ainda mais rígidas do que as propostas pelo Protocolo de Quioto, até ao ano de 2020: reduzir as emissões de GEE em 20% relativamente a 1990, ; obter um *mix* energético composto por 20% de fontes renováveis; utilizar 10% de biocombustíveis em transportes; e aumentar a eficiência energética em 20% [5].

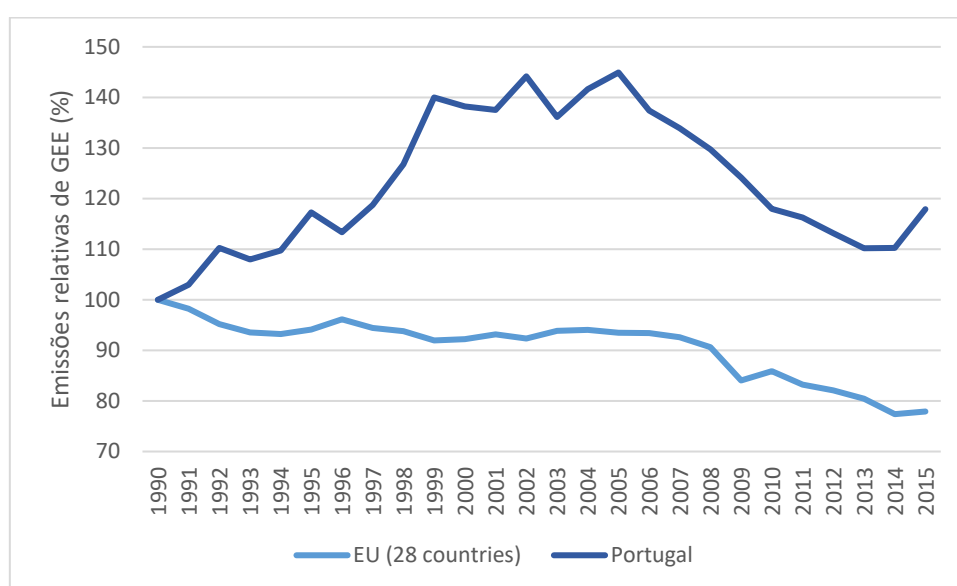


Figura 1 - Emissões de GEE com base nos valores de 1990 [6].

Com a implementação dos tratados supramencionados, foi possível a redução das emissões de GEE. A nível global, tanto em 2015 como em 2016, verificou-se uma diminuição das emissões, o que se deveu ao crescimento da produção de energia a partir de fontes renováveis, e ao aumento da eficiência na conversão de combustíveis fósseis em outras formas de energia [7]; olhando para a União Europeia a 28 (EU-28), verifica-se, regra geral, uma descida das emissões, atingindo em 2015 uma redução de 22,12% face aos valores de 1990; por outro lado, analisando a situação em Portugal, verifica-se que o valor das emissões de GEE se encontra acima dos valores de referência (1990), mas constata-se que a partir de 2005 existe uma acentuada descida do valor das emissões, fruto do aumento da produção de energia a partir de fontes renováveis e ainda de políticas de eficiência energética.

A redução das emissões de GEE, nomeadamente o dióxido de carbono (CO₂), pode ser conseguida através da diminuição do uso de combustíveis fósseis, aumentando a componente de energia produzida a partir de fontes renováveis, e uma segunda forma, do lado do consumo de energia, com alteração de hábitos e através do aumento da eficiência de equipamentos, entre outros [8].

Em 2015, o consumo de energia final na UE-28 foi de 1.083.956,6 mil toneladas equivalente de petróleo [6]. O gráfico da Figura 2, mostra a repartição do consumo final de energia nos grupos mais expressivos: pode-se verificar que a indústria, transportes e edifícios (habitação e serviços) são os maiores consumidores de energia final.

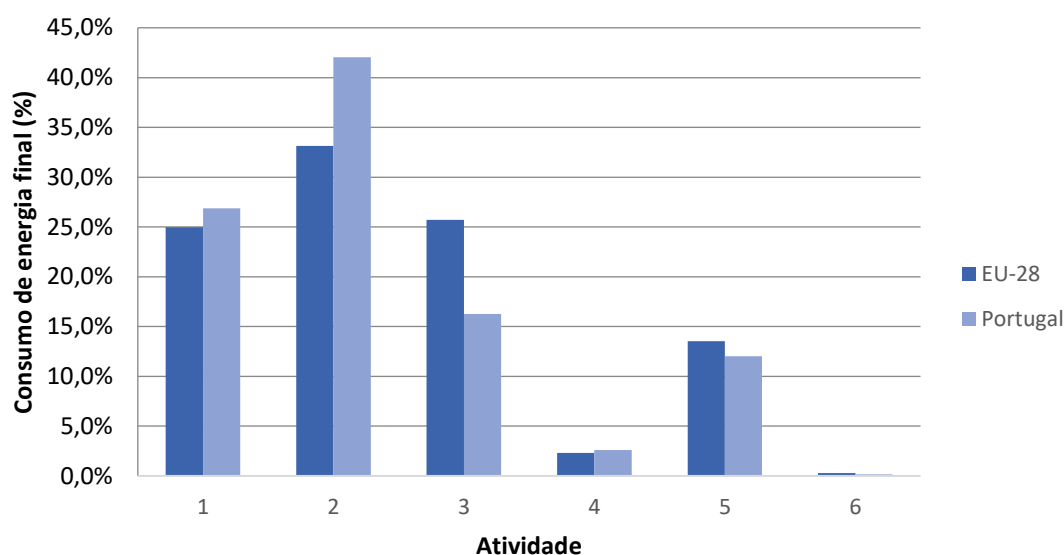


Figura 2 - Consumo de Energia Final em 2015 na UE-28 e em Portugal: 1) indústria, 2) transportes, 3) residencial, 4) agricultura, silvicultura e pecuária, 5) serviços e 6) outros [6].

Segundo a Comissão Europeia, o maior potencial de poupança de energia é oferecido pelos edifícios [9], uma vez que o desempenho energético dos edifícios é, na sua maioria, baixo o que leva a um consumo de energia e emissão de CO₂ elevados [10].

Na verdade, olhando novamente para o gráfico da Figura 2, verifica-se que em 2016 o consumo de energia final na UE-28 por parte dos edifícios foi de 39,25% (25,71% em edifícios de habitação e 13,54% em edifícios de serviços).

Pelo gráfico da Figura 3, verifica-se que o maior consumo de energia durante o ciclo de vida de um edifício é efetuado durante a sua utilização, nomeadamente, o uso de eletricidade, climatização e água quente sanitária.

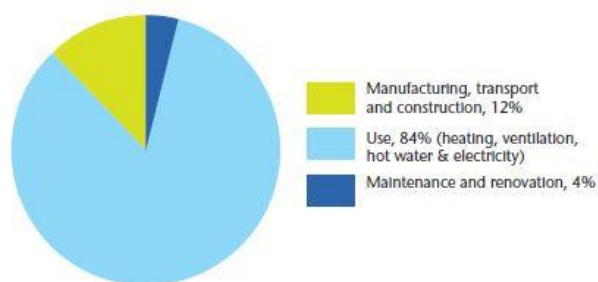


Figura 3 - Energia utilizada durante o ciclo de vida do edifício [11].

Sendo os edifícios o setor com maior potencial de poupança, o Parlamento Europeu aprovou a Diretiva 2010/31/EU relativa ao desempenho energético dos edifícios, obrigando os Estados-Membro a transpô-la para a correspondente legislação nacional. A Diretiva 2010/31/EU estabelece regras de metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e frações autónomas, a existência de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios/frações novas no que diz respeito à envolvente e sistemas técnicos, a obrigatoriedade de certificação energética e inspeções regulares a unidades de climatização [12].

De acordo com o relatório anual de 2017, da Comissão Europeia, sobre a avaliação dos progressos dos Estados-Membros no cumprimento das metas para 2020, verificou-se em relação aos edifícios: no setor residencial, uma redução de 11% do consumo de energia primária (de 309 Mtep em 2005 para 275 Mtep em 2017) resultante da aplicação de medidas de eficiência energética propostas na EPBD 2010; e, no setor dos serviços, registou-se um aumento no consumo de energia entre 2005 e 2015 em 3,1 Mtep devido ao aumento de atividades [13].

É também com a nova diretiva aprovada que surge um novo conceito de edifícios: edifício com necessidades quase nulas de energia (*nZEB*), tornando-se obrigatória a sua implementação em edifícios novos, a partir do final de 2020, e em edifícios públicos ou detidos por entidades públicas, a partir do final de 2018 [12].

Segundo a Diretiva 2010/31/EU, um edifício com necessidades quase nulas de energia é “um edifício com um desempenho energético muito elevado” em que “as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis, produzida no local ou nas proximidades”.

Apesar das imposições legais, muitas vezes a vontade de construir melhor é abandonada devido a barreiras ao desenvolvimento de edifícios mais eficientes, sendo elas financeiras, legais ou administrativas, e falta de *know-how* por parte dos construtores [10].

Recentemente, foi votada uma revisão à EPBD 2010, onde são incluídas 8 novas propostas de legislação. São apresentadas medidas que criam orientações para a obtenção de um parque de edifícios na UE com baixas ou zero emissões em 2050, que visam acelerar a taxa de renovações em edifícios, reforçar a eficiência energética dos sistemas em novos edifícios, tornando-os “mais inteligentes”, a mobilização de financiamento público e privado e, a introdução de um indicador que permita medir a capacidade de um edifício usar novas tecnologias e sistemas que se adaptem às necessidades dos ocupantes e que otimizem a interação do edifício com a rede de distribuição de energia elétrica [14].

As barreiras financeiras prendem-se com a falta de fundos para investir por parte dos *stakeholders*, quer sejam eles públicos ou privados, pelo *payback* do investimento por vezes ser elevado, e muitas vezes acontece também, por exemplo, num edifício de serviços, a mudança de uma máquina antiquada ser mais vantajosa “socialmente” do que a implementação de medidas de eficiência energética [10].

A construção de um edifício pressupõe que este irá ter um longo período de vida pelo que esta também constitui uma barreira à implementação de medidas, uma vez que a taxa de remodelação é baixa. Também associada às barreiras administrativas, tem-se a existência, em muitas situações, de *multi-stakeholders*. Por último, a barreira da falta de conhecimento: o tema energia e emissões de GEE, para o público em geral, ainda é desconhecido ou então de baixo interesse, pelo que a adoção de medidas de eficiência energética muitas vezes é mal empregue. Refira-se, a título de exemplo, a colocação de painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica, mas continuando a utilizar uma caldeira antiga; também a falta de cultura no sentido em que desde arquitetos até à execução da obra, ainda existe falta de *know-how* no sentido de propor e adotar soluções que contribuam para uma maior eficiência energética dos edifícios [10].

1.2 Motivação e objetivo

Hoje em dia, edifícios modulares podem ser construídos em ambientes fabris e enviados para diferentes locais, podendo ser montados e desmontados em pouco tempo. A procura por laboratórios modulares tem sido feita, na sua maioria, por departamentos governamentais, para executar testes de qualidade do ar e água, para respostas rápidas em caso de catástrofes (desastres naturais, ataques terroristas); no entanto a nível educacional e empresarial o interesse é crescente [15].

O objetivo deste trabalho é esboçar um edifício laboratorial modular, energeticamente eficiente e com preocupações ao nível da sustentabilidade, de onde resultará um caderno de encargos contendo: configuração e dimensão do módulo, especificações de equipamentos a instalar, avaliação dos consumos energéticos e de água, climatização, iluminação e segurança ocupacional, manual de utilização, entre outros.

Este módulo constituirá uma unidade utilizadora de alguns dos serviços industriais, onde serão realizados trabalhos alusivos a tecnologias ambientais, nomeadamente tratamentos biológicos de efluentes e resíduos, valorização de resíduos, entre outros.

O módulo a desenvolver é parte integrante de um edifício laboratorial, pelo que a preocupação ao nível da produção e armazenamento de energia e tratamento de efluentes não constituirão objeto de estudo deste trabalho. No entanto, tratando-se de um módulo em que em resultado dos trabalhos aí realizados há consumo e pode haver produção de energia elétrica, é necessário dispor de um sistema de informação em rede que permita gerir a rede de energia. Também a estrutura do módulo constituirá apenas um esboço para fins de estudos de climatização.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O conceito de *nZEB*

- 2.1.1 A implementação da definição de *nZEB* na UE-28
- 2.1.2 A definição à luz da legislação portuguesa

2.2 Contributos para obtenção de um *nZEB*

- 2.2.1 *nZEB* e a Construção
- 2.2.2 *nZEB* e a Produção/Gestão de Energia
- 2.2.3 *nZEB* e o Aproveitamento de Água
- 2.2.4 *nZEB* e a Climatização

2.3 Sistemas de Certificação de Edifícios

- 2.3.1 O conceito *Passivhaus*
- 2.3.2 Sistema de certificação BREEAM
- 2.3.3 Sistema de certificação LEED
- 2.3.4 Sistemas nacionais de certificação

2.4 Laboratórios *nZEB*

- 2.4.1 VELUXlab
- 2.4.2 JCVI – Laboratório Sustentável

2 ESTADO DE ARTE

Neste capítulo, numa primeira fase irá ser abordado o conceito de *nZEB* e apresentados contributos para a obtenção ou aproximação a um edifício *nZEB*; em seguida irão ser apontados os sistemas de certificação de edifícios mais relevantes na atualidade e, por último, irão ser apresentados dois edifícios *nZEB* existentes dedicados à investigação e desenvolvimento.

2.1 O conceito de *nZEB*

Com a aprovação da Diretiva 2010/31/EU e a introdução da definição de edifício com necessidades quase nulas de energia (*nZEB*), foi imposta, a cada Estado-Membro, a obrigação de transpor esta definição para sua própria legislação com princípios baseados na diretiva.

O conceito de *nZEB* ainda não se encontra devidamente esclarecido [16] e torna-se mesmo ambíguo pois a definição refere um “edifício com um desempenho muito elevado” não sendo estes desempenhos energéticos estabelecidos, e a produção de energia “proveniente de recursos renováveis produzidos no local ou nas proximidades” não torna claro qual o nível de proximidade a considerar: o próprio edifício, um terreno adjacente, ou considerar o *mix* energético nacional [17].

2.1.1 A implementação da definição de *nZEB* na UE-28

Várias abordagens foram feitas pelos Estados-Membros de forma a adotarem a definição de *nZEB* prevista pela diretiva europeia. Como se pode verificar pela Figura 4, a maioria dos países já possui na sua legislação uma definição de *nZEB* (a cor azul-escuro), enquanto que nos países identificados a cinzento, a definição se encontra em desenvolvimento. A estratégia utilizada para a implementação da definição não foi igual em todos os Estados-Membros: em países como Dinamarca e Eslováquia, foi definida a quantidade de energia primária máxima a ser consumida pelos edifícios antes da data prevista na Diretiva Europeia (2015); em países como o Reino Unido e a República Checa a definição será imposta inicialmente a apenas alguns tipos de edifícios (por exemplo, no Reino Unido os primeiros edifícios serão os de habitação); na maioria dos países a definição só é imposta a edifícios novos [18].



Figura 4 -Países com definição nZEB [18].

Na generalidade das legislações foi implementado como indicador principal a quantidade máxima de energia primária a consumir pelo edifício (kWh/m²ano), que depende das condições climáticas, tipo de edifício e metodologia de cálculo de cada país; noutros casos a quantidade máxima de energia primária é dada de forma indireta através da comparação do edifício com um edifício de referência; no entanto, em alguns países (por exemplo, Reino Unido e Espanha) também as emissões de carbono são consideradas como identificador principal [18].

Em quase 50% dos países, a energia a produzir a partir de fontes renováveis para compensar o gasto energético do edifício, é estabelecida mediante quotas tanto de forma qualitativa (classes de energia) como quantitativa. Nalguns desses países a quota de energia renovável é explicitamente definida, enquanto que noutros a fonte de energia renovável é um meio para atingir os requisitos [18].

2.1.2 A definição à luz da legislação portuguesa

O Estado Português, através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, revisto recentemente no Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de junho, vem implementar o conceito de nZEB na legislação nacional.

Segundo o Decreto-Lei n.º 28/2016, edifícios com necessidade quase nulas de energia são aqueles que *“tenham um muito elevado desempenho energético [...] em que as necessidades quase nulas de energia ou muito reduzidas são em larga medida satisfeitas com recurso a energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades”*.

Para a captação de energias a partir de fontes renováveis, segundo o Decreto-Lei 28/2016 não é obrigatória a produção da totalidade da energia necessária, nem é estabelecido um valor para a quantidade mínima de energia a produzir. No entanto, para a obtenção das classificações mínimas definidas por lei, é necessário o recurso a fontes de energias renováveis.

A aplicação de medidas de eficiência energética fica “limitada” na legislação nacional, na medida em que os edifícios têm de ter uma “componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica que venham a ser obtidos com a aplicação da metodologia de custo ótimo” [19], sendo a metodologia aprovada pelo Despacho n.º 15793-L/2013.

O Despacho n.º 15793-L/2013 estabelece o método de cálculo para o estudo da viabilidade económica das medidas, em que estas são de aplicação obrigatória, salvo se o período de retorno simples for superior a 8 anos, e na existência de constrangimentos técnicos ou legais, demonstrados por estudos.

2.2 Contributos para obtenção de um *nZEB*

Para obter um edifício com necessidades de energia quase nulas, devem ser implementadas várias medidas de forma a conseguir o equilíbrio energético: a utilização de fontes de energias renováveis tanto na produção de energia como na produção de água quente, a implementação de estratégias de climatização passivas, o uso de isolamentos térmicos na envolvente do edifício, a conceção, *a priori*, de elementos construtivos que contribuam para, por exemplo, criar sombreamentos importantes na redução do calor absorvido pelas fachadas dos edifícios, a implementação de monitorização e domótica e, sobretudo, a adoção de boas práticas na utilização do edifício.

Outras vertentes do desenvolvimento sustentável não devem ser esquecidas, pelo que, ao pensar-se num edifício *nZEB*, deve-se ter em atenção outros aspetos tais como a utilização e aproveitamento de água e o uso de materiais sustentáveis na construção do edifício.

2.2.1 *nZEB* e a Construção

A fase de conceção e construção de um edifício tem influência no consumo de energia, tanto nesta fase, como na fase de exploração, sendo que é na fase de exploração que a

energia consumida por um edifício é mais expressiva, Figura 3. Torna-se assim importante a adoção de soluções na fase de planeamento, para minimizar os consumos de energia, que podem ser conseguidos através de soluções passivas ou ativas [20].

As soluções ativas são aquelas que se prendem com os equipamentos consumidores de energia (eletrodomésticos, equipamentos eletrónicos, equipamentos de AVAC, entre outros) e iluminação. É importante que estes sejam da mais alta eficiência energética. No entanto, e falando em concreto de equipamentos de AVAC, por mais alta eficiência energética que estes possuam, se o edifício não apresentar soluções que permitam um design passivo, o consumo energético será sempre elevado.

Por design passivo entende-se o conjunto de medidas de arquitetura que permitam a redução na quantidade de energia necessária para a manutenção das condições de conforto no interior de um edifício. De entre estas medidas podem-se destacar: melhorias a nível das envolvente opaca do edifício (melhor isolamento térmico do envelope do edifício e controlo apertado das infiltrações indesejadas de ar), a melhoria dos envidraçados e caixilharia, a melhoria nas técnicas de construção (aplicação de sistemas passivos de aquecimento e arrefecimento, como é exemplo as chaminés solares e elementos de sombreamento aos envidraçados), e o estudo da orientação do edifício pois este influencia a quantidade de radiação solar incidente [21], [22].

A construção de um edifício também deve respeitar critérios de sustentabilidade não só em termos de consumo de energia, como na escolha dos materiais. Os fatores que mais influenciam o desempenho ambiental dos edifícios são a eficiência dos materiais, que se prende com o uso de materiais amigos do ambiente e com a minimização dos desperdícios na fase de construção e demolição; e a eficiência energética, que pode ser considerado um dos indicadores da eficiência dos materiais, tendo em conta a otimização da energia consumida durante o período de ocupação de um edifício [23].

Existem vários estudos que refletem a preocupação da utilização de materiais que promovam a melhoria da eficiência energética do envelope dos edifícios e a sustentabilidade, como é o caso de estudo levado a cabo por Vanessa Matos [24] onde o objetivo foi estudar a utilização de cortiça como material de isolamento de forma a reduzir os GEE durante o ciclo de vida do edifício, atendendo às características da cortiça (durabilidade, elasticidade e impermeabilidade). O estudo permitiu extrair

diversas conclusões: a utilização de cortiça permitiu a diminuição do tempo de desconforto térmico, traduzindo-se na redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento (sem isolamento os valores ficaram em 70,8 kWh/mês e 13,9 kWh/mês e com a utilização de cortiça como isolamento, em 22,1 kWh/mês e 2,4 kWh/mês). Em relação às emissões de CO₂ a cortiça em comparação com o material mais utilizado atualmente, EPS, representa metade daquele valor.

Além dos materiais de construção e soluções de construção passivas descritas mais adiante que serão apresentados seguidamente (2.2.4.2 Ventilação natural), também tem sido estudada a adoção e aplicação de novas técnicas, como é o caso dos jardins verticais e coberturas verdes (*green roofs*). Estas soluções têm sido adotadas pelos aspetos arquitetónicos, ecológicos e pelos benéficos técnicos (ajudam a libertar o efeito ilha de calor) e económicos [25], [26].

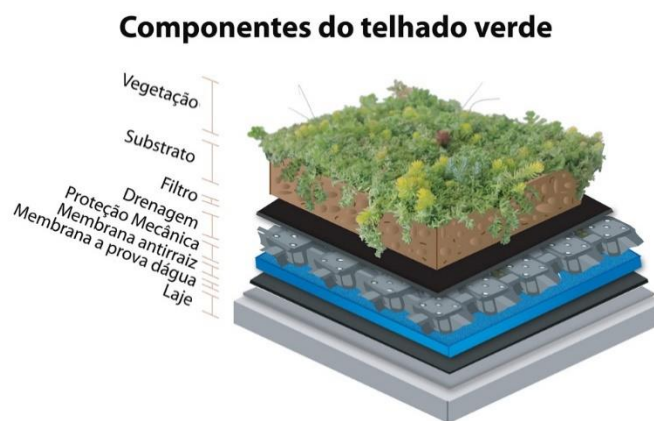


Figura 5 – Exemplo de módulo de telhado verde [27].

O trabalho de Korol et al., [25], reporta a redução do fluxo de calor para o exterior (um edifício no Japão demonstrou uma redução de 50%) e a redução nos ganhos solares (um edifício em Ottawa demonstrou uma redução de 95%, e um edifício de 8 andares em Madrid mostrou também redução na energia de arrefecimento necessária). Uma das técnicas usadas em coberturas verdes é a utilização de módulos que tornam a instalação e reparação simples e ainda permitem o acesso ao telhado para manutenção. Além disto, em comparação com sistemas mais antigos, estas soluções são de baixo peso, de fácil manutenção, permitem a utilização de materiais recicláveis, previnem a erosão por agentes climáticos e ainda permitem a integração de sistemas de painéis solares, iluminação, sistema de rega, etc.

2.2.1.1 Construções modulares

A construção de um edifício pode ser realizada *on-site* ou *off-site*, isto é, o edifício pode ser construído no local de implantação ou construído fora do local de implantação.

Na construção *off-site*, os componentes que constituem um edifício são construídos fora do local de implantação do edifício, normalmente em ambiente industrial, sendo depois transportados até ao local de implementação e montados sobre uma fundação e ligados aos sistemas necessários (eletricidade, canalização). Este tipo de construção apresenta diversos graus de industrialização [28]:

- *panelised construction* (construção com painéis pré-fabricados) – elementos que constituem o edifício são fabricados em ambiente industrial de forma a obter elementos não volumétricos (p.e: painéis pré-fabricados);
- *hybrid/semi-volumetric construction* (construção mista ou semi-volumétrica) – partes específicas do edifício (p.e: cozinhas, casa-de-banho) são completamente construídos em ambiente fabril dando a origem a módulos completos e as áreas *open-space* são fechadas por painéis pré-fabricados;
- *sub-assemblies and components* (subsistemas e componentes) – pequenos elementos são montados em ambiente fabril (p.e: janelas, mobiliário, elementos construtivos especialmente concebidos);
- *volumetric/modular construction* (construção volumétrica ou modular) – os módulos são completamente montados em ambiente fabril e posteriormente transportados e montados no local.

Assim, pelas categorias apresentadas anteriormente, a construção modular (Figura 6) insere-se na construção *off-site* como construção volumétrica e pode entender-se como um conjunto de módulos construídos fora do local de implementação, normalmente em ambiente industrial, transportados até ao local de implantação e montados sobre uma fundação e ligados aos sistemas elétricos, mecânicos e canalizações [28].



Figura 6 – Exemplo de uma construção modular [29].

Vários são os benefícios da construção *off-site*: curto período entre a fase de planeamento e de ocupação uma vez que várias tarefas podem ser feitas em simultâneo, o fato de serem feitas em ambiente fabril reduz o risco de vandalismo e atrasos por ocorrências climáticas, a construção em ambiente industrial pode levar a uma redução dos custos do projeto uma vez que os módulos podem ser construídos em simultâneo e os materiais comprados em lote e reutilizados, possui a vantagem da qualidade, uma vez que o produto final é inspecionado múltiplas vezes até sair da fábrica, diminui a possibilidade de acidentes de trabalho por ser realizado em ambientes controlados, e aumento da taxa de reciclagem dos materiais a quando do desmantelamento [28]. Contudo, a construção modular não tem só vantagens: é necessário um bom planeamento e uma equipa de pessoas especializadas em diversas áreas (p.e: engenharia de estruturas, arquitetos, especialistas de climatização, fabricantes), isto porque ainda há desconhecimento dos processos de construção por parte de arquitetos, os próprios processos de fabrico variam de empresa para empresa, o transporte muitas vezes coloca entraves ao nível do tamanho dos módulos devido a restrições de circulação, é necessária uma boa coordenação de equipas e ainda a perspetiva negativa que este tipo de edificações possui pois as pessoas associam este tipo de construção a uma solução temporária de baixa qualidade e insegura, que possui mais custos que as construções tradicionais e, na realidade o custo inicial pode ser mais elevado agravado pelo transporte, mas o potencial de recuperação a longo prazo é desconhecido pelos potenciais clientes [28], [30].



Figura 7 – Habitação construída a partir de contentores marítimos [31].

Devido ao seu tamanho padronizado, facilidade de transporte e resistência, a reutilização de contentores de transporte (Figura 7) tem sido fortemente incentivada para criar edifícios modulares através da junção de vários contentores, visando também o aumento da sustentabilidade [24], [32], conseguido pela extensão da vida útil destes materiais.

2.2.1.2 Construção em *light steel framing* (LSF)

Uma das formas de se construir edifícios modulares é recorrer a uma estrutura de aço, chamado *light steel framing* (LSF). Do inglês *light steel*, aço leve é o material utilizado para este tipo de construções, sendo aço de baixa espessura (0,45 mm a 6,0 mm) e conseguido pela moldagem de chapa enformada a frio, e os perfis conseguidos através de quinagem e perfilagem [23], [33].

O revestimento da estrutura de aço é realizado pelo interior e pelo exterior, existindo uma panóplia de soluções disponíveis atualmente no mercado: gesso cartonado (placas compostas por gesso pressionado entre duas placas de cartão), placas de silicato de cálcio (*“placa rígida de espessura uniforme, constituída à base de silício, óxido de cálcio e outros adjuvantes”*[34]), placas de OSB (placas compostas por aglomerados de madeira) e chapa metálica (mais usual em edifícios industriais) [22], [23].

Além destes materiais, usados de forma a obter isolamento térmico e acústico, é utilizado no meio dos revestimentos interiores e exteriores material isolante como lã mineral, poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS), etc. A camada de material isolante também pode ser utilizada pelo exterior com a utilização de sistemas

ETICS (*external thermal insulation composite systems*) que consiste em placas de EPS fixadas à parede exterior e revestidas por uma rede de fibras e reboco [35], o denominado *Capoto*. Além da redução das fugas de calor pela envolvente, as fugas de calor por infiltrações de ar podem também ser reduzidas através da aplicação de membranas [23].

As vantagens deste tipo de construção face à construção tradicional são: baixo peso mas alta resistência mecânica, rapidez na construção e baixo impacto no local de instalação, possui alto potencial de reciclagem aquando da fase de demolição, flexibilidade arquitetónica permitindo alto nível de customização na configuração do edifício e escolha dos materiais, a pré-fabricação modular permite a produção em larga escala, possui qualidade superior devido ao controlo de qualidade em ambiente industrial e ainda um edifício em LSF pode ter qualquer tipo de acabamento, tal como uma construção tradicional com, por exemplo, para as paredes - tijolos, reboco exterior, madeira, para a cobertura é permitida qualquer forma sendo águas furtadas ou telhado inclinado permitindo o uso de telhas cerâmicas ou chapas metálicas e para o chão este pode ter acabamento cerâmico, madeiras, alcatifa, cortiça, linóleo [22], [23].

Apontam-se como desvantagens deste tipo de construção a alta condutividade do aço que pode levar as perdas significativas pelas pontes térmicas e a baixa inércia térmica que pode ser problemática levando a desconfortos térmicos (sobreaquecimentos) resultando em grandes cargas térmicas e por conseguinte alto consumo de energia por equipamentos de climatização [23]. Num edifício em LSF (Figura 8), devidamente isolado, com poucas fugas de ar e com baixa inércia térmica, com grande superfície de fachada voltada a sul, estudado por Figueira et al., [36], verificou-se que são necessárias medidas mitigadoras para eliminar o problema do sobreaquecimento, uma vez que alguns espaços apresentaram uma temperatura superior em 30% do tempo, à temperatura de conforto.



Figura 8 - Construção em LSF (fase de construção), [33].

De fato, e como referido anteriormente, a redução das cargas térmicas torna-se essencial para a redução do consumo de energia, pelo que as perdas e ganhos pela envolvente do edifício devem ser limitadas. Por pontes térmicas, entende-se caminhos preferenciais, causados por heterogeneidades da envolvente, onde se verifica um aumento da transferência de calor.

Em edifícios construídos em LSF e altamente isolados, pode haver fugas de calor através dos perfis de aço quando a colocação do isolamento não for feita da melhor forma. De forma a minimizar as pontes térmicas, a literatura sugere: a simplicidade da geometria da fachada, a colocação das camadas de isolamento continua pelo exterior da estrutura de aço, a caixilharia deve estar em contacto com o isolamento e nas junções as camadas de isolamento devem-se sobrepor [23].

2.2.2 *nZEB* e a Produção/Gestão de Energia

Um dos princípios bases da definição de *nZEB* é que a energia consumida pelo edifício tem de ser gerada, na sua maioria, a partir de fontes renováveis, no local ou proximidades de implementação do edifício.

A produção de energia a partir de fontes renováveis (RES) sofre da grande dependência das condições climáticas, elevados custos de produção, e muitos vezes de conflitos entre o pilar ambiental e social [37].

Para atingir um balanço de energia zero num edifício, sendo esta térmica e elétrica, torna-se importante a redução da necessidade do uso de energia, nomeadamente em iluminação e climatização, o aumento da eficiência dos equipamentos consumidores, e o aumento de eficiência dos equipamentos produtores [37]. Também a gestão

inteligente da energia gerada e do consumo, bem como o armazenamento da energia é vital para a obtenção de um *nZEB* [38].

2.2.2.1 Algumas soluções de produção de energia

A produção de energia térmica e elétrica com base em fontes renováveis tem sofrido nos últimos anos, uma grande evolução tecnológica. É possível hoje em dia, a produção dos dois tipos de energia a partir de tecnologias baseadas em sistemas solares, eólicos, biomassa, ou conjugação de fontes. No entanto, a utilização de combustíveis, nomeadamente o gás natural, pode ser tido em conta quando utilizado para cogeração e trigeração, uma vez que são tecnologias que produzem energia térmica e energia elétrica em simultâneo, levando a um melhor aproveitamento energético da matéria-prima.

A implementação de sistemas de produção mais eficientes, depende do tipo de edifício e do fim a que se destina (habitação, comércio e serviços, indústria), da área disponível para implementação dos sistemas, do perfil de disponibilidade (fontes solares e eólicas) e sobretudo da obrigatoriedade de cumprimento de legislação em vigor e retorno económico.

A tecnologia mais difundida na atualidade são os sistemas solares. As tecnologias solares podem ser utilizadas para a produção de energia elétrica ou energia térmica, sendo estas painéis planos, tubo de vácuo.

Para a produção de energia térmica, utilizam-se coletores solares que absorvem a radiação solar e a convertem em calor, transferindo essa energia para um fluido de trabalho, normalmente água e glicol, e que podem ser utilizadas para aquecimento ambiente ou como água quente sanitária (AQS).

A produção de energia elétrica é realizada pelos painéis fotovoltaicos, que são equipamentos compostos por diversas células fotovoltaicas com diferentes constituições (silício, filme fino), em que, ao incidir a radiação solar no painel, existe um fluxo de eletrões e se produz energia elétrica.

A instalação destes sistemas num edifício, está muitas vezes condicionada pela falta de espaço e orientações favoráveis para se obter um máximo rendimento de forma a tornar a instalação do sistema economicamente viável.

Da radiação que está disponível ao nível do solo, um painel absorve cerca de 90% dessa radiação, e apenas 15% dessa energia é convertida em energia elétrica; assim, 75% da radiação é convertida em calor [39]. Um dos aspetos negativos de uma célula fotovoltaica é a perda de rendimento com o aumento de temperatura [39]. Surgiram em meados de 1970, os primeiros estudos relativos à tecnologia PV/T, que consiste na fusão dos dois sistemas solares: fotovoltaico e AQS, aumentando assim o rendimento das células e aproveitando-se o calor desperdiçado [40].

Embora a cota de mercado pra soluções PV/T seja diminuta em comparação com os sistemas puramente fotovoltaicos e térmicos, é possível identificar na última década um aumento na comercialização de soluções PV/T como é possível observar na Figura 9. Os sistemas PV/T podem ser classificados quando ao fluido de trabalho, ar ou líquido e quanto à constituição, como vidrados e não vidrados, Figura 9.

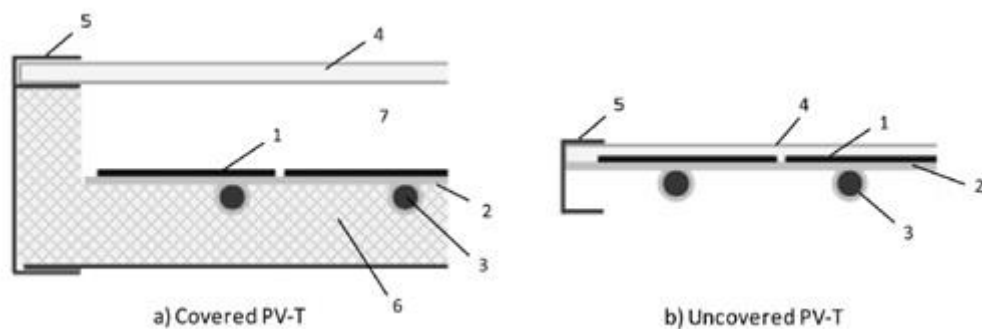


Figura 9 – Seção de 2 coletores PV/T a água sendo constituídos por: células fotovoltaicas (1), placa de ligação entre as células fotovoltaicas e a tubagem (2), tubagem onde passa o fluido de trabalho (3), cobertura de vidro (4), estrutura de alumínio (5), isolamento (6) e cama de ar estática (7) ([39]).

O exemplo de uma tecnologia híbrida é o painel criado pela empresa Systovi, o sistema R-Volt [41], [42]. O sistema é constituído por painéis híbridos e respetivo sistema de conversão de energia DC/AC, uma caixa de distribuição de ar e um sistema de controlo. O componente principal do sistema é o painel híbrido que através do seu design permite a produção de energia elétrica, com uma potência nominal de 250 W por painel e rendimento de 16,5% e, energia térmica, com uma potência nominal de 650 W por painel e rendimento entre 30 a 50%; os níveis de eficiência deste painel são obtidos pela entrada de ar nos extremos do painel e de um ventilador mecânico que o arrefecem.

O painel híbrido, para além de estar conectado aos sistemas elétricos convencionais de um painel fotovoltaico, possui uma saída de ar na parte traseira, ligada a uma caixa de distribuição.

A caixa de distribuição, construída de polipropileno expandido, é equipada por um ventilador que extrai o ar dos painéis híbridos e o faz passar por um filtro F5, e o insufla no edifício com caudal variável (100 a 400 m³/h). A insuflação de ar é controlada através do módulo de comando que, em função da temperatura requerida, opera um pleno que controla a insuflação. Para dias em que o ar exterior não é suficiente para garantir o aquecimento do espaço, é possível a adição de uma resistência elétrica dentro da caixa de distribuição para garantir um aumento de temperatura em até 5 °C.

Além de permitir o aquecimento ambiente, o sistema também pode ser utilizado para ventilar a habitação e tirar partido do *free-cooling* durante a noite, uma vez que, segundo a empresa, a temperatura na parte inferior dos painéis é inferior à temperatura exterior, e assim consegue-se obter até menos 4 °C no interior da habitação comparando com a temperatura do ar exterior.

Ao sistema, pode ser ainda adicionado coletores solares a ar para aumentar a eficiência térmica em climas mais rigorosos e ainda, uma bomba de calor para AQS que, fazendo utilização do ar aquecido pelos painéis R-Volt permite o aumento da temperatura da água. Segundo a empresa, o baixo consumo energético da bomba de calor é suprimido pela produção fotovoltaica.

Contudo, o sistema nem sempre é capaz de suprimir as necessidades de aquecimento de um edifício, mas segundo a empresa criadora, é possível obter até 50% de redução nas despesas.

A utilização deste tipo de tecnologias depende fortemente de políticas governamentais e incentivos económicos. Porém, uma vez que os sistemas PV/T produzem energia térmica e elétrica, pode existir confusão em como classificar estes sistemas à luz da legislação: por exemplo, no Reino Unido, os donos de sistemas PV/T podem receber recompensas monetárias pela energia exportada, mas não podem receber incentivos relativos à iniciativa RHI (*Renewable Heat Incentive*); na Noruega, os sistemas PV/T podem receber fundos como coletores solares mas não como painéis fotovoltaicos [40].

A aplicação de painéis fotovoltaicos convencionais é muitas vezes dificultada pela forma, proporções rigidez e preço de aquisição. Surge então uma alternativa *low-cost* para a conversão de energia solar a grande escala com eficiências a rondar os 14%, as *dye sensitezed solar cells* (DSC) [43]. As DSC, criadas há mais de 25 anos atrás por Grätzel e os seus colegas, são células fotovoltaicas que tem a sua constituição semelhante a uma pilha de combustível: um cátodo, normalmente feito de vidro/plástico platinado de óxido de estanho dopado com flúor, um ânodo constituído por dióxido de titânio (TiO_2) e um eletrólito, que pode ser líquido (usando solventes orgânicos ou soluções iónicas), semissólido (polímeros e nano materiais) ou sólido [44].

As grandes vantagens associadas ao fabrico de DSC são: o custo reduzido quando comparado com os painéis solares à base de silício, a eficiência relativamente alta, a fácil implementação em diversos locais devido à flexibilidade (células criadas por agregação de camadas finas de partículas com características fotoelétricas, em bases plásticas) e à coloração (podem ser semitransparentes ou coloridas) e ainda o fato de estas produzirem energia elétrica em dias nublados uma vez que funcionam com radiação difusa [45].

A aplicação mais retratada na literatura é a integração de DSC em janelas uma vez que estas podem ser semitransparentes. A justificação para a integração assenta em duas premissas: o aproveitamento de toda a área disponível para a produção de energia fotovoltaica e ainda o controlo das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento associados à diminuição do coeficiente de transmissão térmica (U) da caixilharia [46] e ainda à transmitância, isto é, a quantidade de radiação que atravessa uma superfície [47].

O estudo levado a cabo por Lee et al. [48], teve como objetivo a confirmação da aplicabilidade de caixilharia com DSC para obter poupanças de energia, num leque de diferentes climas identificados pelas ASHRAE; o estudo contemplou a performance das DSC em função do clima, da orientação geográfica e das cargas térmicas do edifício. O estudo permitiu concluir que a aplicação de DSC em caixilhariarias altera as propriedades óticas (transmitância) e físicas (U) do conjunto; permitiu também concluir que a maior poupança de energia será em climas quentes e amenos: o estudo obteve uma produção de 12%, 20,5% 18,9%, 21,9% e 15,9%, do total do consumo de energia em

Miami, São Paulo, Sydney, Nova Iorque e Seul, respetivamente, que consiste em energia de aquecimento, de arrefecimento e iluminação.

Outro estudo sobre a mesma temática levado a cabo por Yoon et al. [49], tinha como objetivo o estudo da produção de energia e o balanço entre a energia produzida e a energia requerida para a climatização dos espaços (carga térmica de aquecimento e arrefecimento). O estudo permitiu concluir que sem DSC, o menor consumo de energia de aquecimento é observado para janelas com valores elevados de transmitância, 60%; no entanto, quando se aplicam DSC aos envidraçados, o valor de mais baixo consumo energético é atingido para transmitâncias de 25%, devido ao balanço positivo entre produção de energia e consumo de energia; por fim, permitiu concluir que o efeito da transmitância na energia consumida por um edifício muda de acordo com orientação: consequentemente o fluxo de calor, irradiação e a orientação devem ser estudados na aplicação de DSC a edifícios.

Como referido, as vantagens do alto fator de conversão fotoelétrico e o baixo custo de produção são fatores positivos para a comercialização de DSC; no entanto, a estabilidade a longo prazo é um fator crítico. Um dos principais causadores de perdas de eficiência numa DSC é a radiação ultravioleta captada, que leva à degradação do eletrólito [48]. Segundo Carnie et al., [48], o uso de filtros UV na composição de DSC é inevitável para a estabilidade a longo prazo das células.

No mercado, algumas empresas começam a fabricar produtos que tem integrados DSC como se pode verificar pela Figura 10.

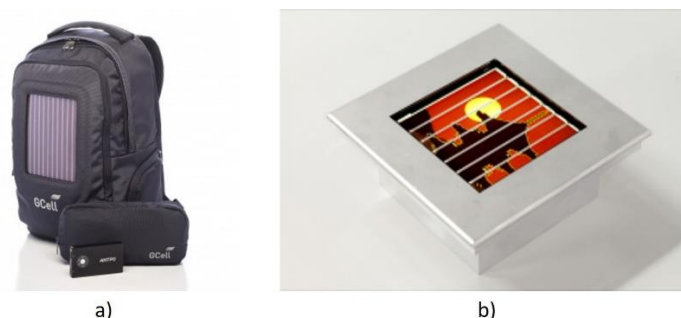


Figura 10 - Exemplos de aplicação de DSC: a) mochila da G24 Power incorporando uma DSC [49]; b) lâmpada solar AKARIE da Nissha Printing Co.,Ltd, alimentada por uma DSC [50].

Uma utilização de DSC em grande escala é o exemplo mostrado pela Figura 11: a fachada do Centro de Convenções da SwissTech. Na fachada oeste, está presente uma cobertura colorida com uma dupla função: diminuição da carga térmica de

arrefecimento e produção de energia elétrica [51]. A fachada é composta por 1400 módulos (35 cm por 50 cm) que perfazem uma área de 300 m² [52], produzem 2000 kWh por ano, sendo o sistema acompanhado do tradicional fotovoltaico com uma potência instalada de 250 kW [51].



Figura 11 - Implementação de DSC na fachada do Centro de Convenção SwissTech [52].

Apesar das fontes de energias renováveis disponíveis, os derivados de petróleo (gasolina, gasóleo, gás natural) são os subprodutos mais utilizados e como tal, a generalidade dos sistemas está projetado para o seu uso. Assim, de forma a pensar na sua utilização futura, torna-se necessário a criação destes subprodutos a partir de fontes renováveis: biodiesel, bioetanol, biogás, etc. Uma das respostas para o problema encontra-se no cultivo de organismos que existem na Terra há milhões de anos: as microalgas.

As microalgas são organismos microscópicos fotossintéticos unicelulares ou multicelulares, procarióticos ou eucarióticos que podem ser encontrados em ambientes aquáticos. Devido à sua estrutura simples, as microalgas aproveitam a energia solar e o CO₂ para realizar a fotossíntese, sendo mais eficiente na conversão destes *inputs* em açúcares e óleos [53]. Por esses motivos, a microalgas cultivadas em meio aquático têm que ser recolhidas antes de serem convertidas a diversos produtos com maior ou menor valor comercial, incluindo biocombustíveis (Figura 12).

Para o cultivo de microalgas é necessário um meio aquático rico em nutrientes de forma a permitir um crescimento rápido. Existem três tipos de meios de cultura: os sistemas autotróficos que utilizam a radiação solar como fonte de energia e CO₂ para o crescimento da cultura; os sistemas heterotróficos que usam compostos orgânicos (por exemplo: glicose, acetato) como fonte de energia e carbono para o crescimento da cultura; e ainda sistemas mixotróficos que apresentam as duas fases (autotrófica e heterotrófica) [54].

| Cultura de Microalgas | Colheita de Microalgas | Biomassa (Microalgas) | |
|--|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Radiação Solar • CO₂ • Nutrientes | <ul style="list-style-type: none"> • Centrifugação • Flocculação • Filtração | <ul style="list-style-type: none"> • Fermentação <ul style="list-style-type: none"> • Bioplásticos • Etanol • Gaseificação <ul style="list-style-type: none"> • Bio hidrogénio • Combustão <ul style="list-style-type: none"> • Energia Verde | <ul style="list-style-type: none"> • Extração <ul style="list-style-type: none"> • Proteínas • Pigmentos • Vitaminas • Transesterificação <ul style="list-style-type: none"> • Glicerina • Biodiesel • Digestão (Hidratos Carbono) <ul style="list-style-type: none"> • Etanol |

Figura 12 - Microalgas: da cultura ao produto final (adaptado de [53]).

O cultivo de microalgas também depende de fatores físico-químicos e biológicos tais como, intensidade e comprimento de onda da radiação, da temperatura, do pH, da concentração de nutrientes, e da quantidade e dissolução de CO₂ no meio de cultura [53]. Embora os parâmetros dependam da espécie da microalga em cultura [53], [55]:

- em termos de radiação, apenas a radiação visível é absorvida pelas microalgas e a intensidade de radiação também tem um limite para o qual existe uma estabilização e inibição da produção;
- a temperatura ótima para o crescimento situa-se entre os 15 °C e 30 °C, sendo que valores superiores podem inibir a produção destruindo as células e valores inferiores limitando a solubilidade de componentes gasosos diminuindo a produção;
- o valor de pH embora possa estar entre 7 e 9, o valor ótimo situa-se entre 8,2 e 8,7, sendo o valor de pH controlado pelo arejamento de CO₂, uma vez que o CO₂ dissolvido no meio de cultura é inversamente proporcional ao valor de pH;
- é necessário a agitação do meio de cultura de forma a retirar do meio o O₂ produzido pelas microalgas, pois este cria inibição de crescimento.

Quanto aos sistemas de cultivo de microalgas, estes podem ser divididos em dois grupos: em sistemas abertos que consiste em lagos e sistemas fechados, os fotobiorreatores. A utilização de cada sistema está dependente da espécie de microalgas a usar, o custo de construção, produção e tratamento, o produto final, a fonte de CO₂ e nutrientes requeridos [53].

Os sistemas abertos podem ser do tipo lagoa circular ou *raceway ponds*, Figura 13: na lagoa circular, como o nome indica é um tanque circular a céu aberto que contém um

agitador no centro, enquanto que o *raceway pond* é caracterizado por um circuito fechado de canais paralelos a céu aberto contendo também um agitador. Em ambos os tipos são adicionados nutrientes e CO₂ [53].

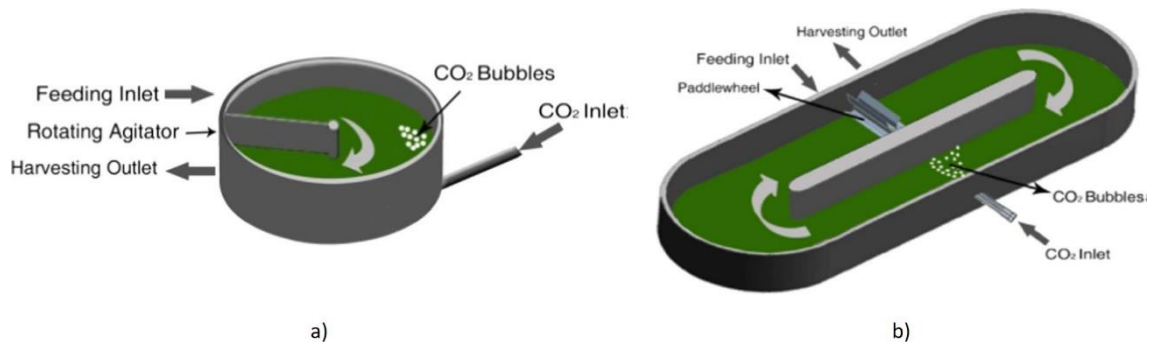


Figura 13 - Tipos de sistemas abertos: (a) lago circular, b) *raceway pond* (adaptado de [56]).

Estes sistemas têm como vantagens a simplicidade, os custos de construção, operação e manutenção baixos, e conseguem trabalhar com altas quantidades de CO₂. As principais desvantagens deste sistema é a exposição aos agentes climáticos que podem provocar a evaporação de água em temperaturas altas ou diluir a biomassa durante o período de chuva e a facilidade de contaminações da cultura por espécies externas [53].

Dos sistemas fechados têm-se fotobiorreatores que são sistemas que permitem a distribuição uniforme da luz por toda a cultura e são desenhados de forma a superar os problemas dos sistemas abertos, sobretudo o controlo de contaminações bem como dos parâmetros físico-químicos do meio de cultura, permitindo produções de biomassa mais elevada. A maior desvantagem dos fotobiorreatores é que são sistemas muito complexos que precisam de evitar a acumulação de O₂ e a destruição por stress das células das microalgas, o que se traduz num investimento elevado. Os biorreatores podem ter qualquer orientação espacial (horizontal, vertical) bem como podem ser do tipo tubular ou de placas paralelas [53].

O desenho de um biorreator deve ter em conta a iluminação, a alimentação/dissolução dos nutrientes, a água, o consumo de CO₂, a remoção de O₂, e a temperatura. A seleção do melhor design depende das características de crescimento da espécie de microalga escolhida, da composição química do meio de cultura e do valor comercial do produto final [55].

As microalgas são uma fonte promissora para a produção dos mais variados combustíveis (biodiesel, etanol, hidrogénio, metano) e eletricidade; também podem ser usadas para nutrição humana e animal, na indústria farmacêutica e cosmética [53], [55].

No entanto, as tecnologias de produção de microalgas ainda são bastantes primitivas: à escala industrial, a produção de biomassa a partir de microalgas raramente atinge 35 - 40% do máximo teórico, assumindo uma eficiência de 8% no processo de fotossíntese. O maior problema reside no oxigénio produzido: ele acumula-se o que inibe o crescimento das microalgas [57].

A implementação destes sistemas para produção industrial já existe, como é o caso de uma instalação do tipo *raceway pond* com uma área de 440000 m² localizada na Califórnia, USA, para a indústria alimentar, Figura 14 a), uma instalação em lagoa aberta com uma área de 250 hectares na Lagoa Hutt, Austrália, pertencente à empresa Cognis Nutrition and Health, Figura 14 b), e ainda lagoas circulares onde os maiores lagos possuem 0,5 hectares, em Taiwan Figura 14 c) [58].

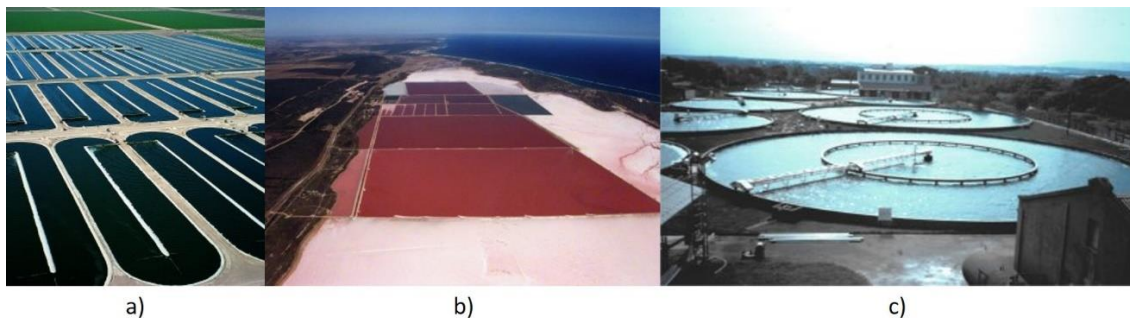


Figura 14 - Instalações industriais de microalgas: a) Califórnia, USA; b) Lagoa Hutt, Austrália; c) Taiwan [58].

Além dos sistemas industriais, surgiu na Alemanha a primeira aplicação de fotobiorreatores num edifício: o projeto *BIQ House* [59], [60].

O projeto piloto *BIQ House* (edifício de 4 andares, composto por 15 habitações) em Hamburgo, Alemanha, possui 129 fotobiorreatores de fachada SolarLeaf (Figura 15), combinados num sistema fechado que conecta os biorreatores a uma sala de controlo, onde a biomassa gerada é separada da água e o calor da água é trocado num permutador. Os fotobiorreatores estão instalados nas fachadas este, sul e oeste criando uma fachada dupla (Figura 15).

O sistema opera durante o ano inteiro e apresenta eficiências de conversão de radiação em biomassa de 10%, e de radiação em calor de 38%. Em comparação, os

sistemas fotovoltaicos têm uma eficiência que ronda os 12-15% e os sistemas térmicos solares 60-65%.

Além da conversão de energia solar em biomassa e calor, os fotobiorreatores removem o CO₂ dos gases de combustão em quantidades equivalentes da produção de biomassa, o que contribui para o balanço neutro de emissões de carbono do edifício, e ainda fazem sombra ao edifício permitindo a redução das cargas térmicas.

O sistema integrado no BIQ *House* está desenhado para produzir 150 kWh/(m²ano) de calor (os biorreatores atingem uma temperatura de cerca de 40 °C e 30 kWh/(m²ano) de biomassa (a biomassa recolhida é convertida em metano com uma eficiência de 80%). O sistema prevê a redução de 6 toneladas de emissões de CO₂ do edifício e ainda a eliminação de 2,5 toneladas de CO₂.

Um sistema de gestão centralizada controla todo o processo desde a densidade da cultura de microalgas, temperatura e pH da cultura, e é parte integrante do sistema de gestão de energia do edifício, controlando também uma caldeira a gás em que os gases de combustão são utilizados como fonte de CO₂ e ainda uma bomba de calor quando é preciso uma temperatura mais elevada.



Figura 15 - Edifício do projeto BIQ [60].

2.2.2.2 Sistemas de gestão e armazenamento de energia

Um dos problemas associados à produção de energia de fontes renováveis em edifícios existentes, prende-se muitas vezes também com a disponibilidade de espaço para a implementação dos sistemas. Outra problemática associada à produção de energia renovável é a instabilidade da produção: a energia solar está apenas disponível durante o dia e depende das condições climáticas, enquanto que a energia eólica depende da existência de vento, que é de difícil previsão; a energia hídrica depende fortemente das chuvas. Em muitas situações, a produção de energia de fontes

renováveis é superior face ao consumo e, como não existe implementadas formas de armazenamento da energia, muitas vezes é desperdiçada.

O armazenamento, torna-se então um ponto-chave para a obtenção de um *nZEB*, pois permite amortizar os picos de procura, permite o armazenamento da energia obtida de forma “limpa” para futuro uso em períodos em que a produção é desfavorável, aumenta a eficiência dos sistemas de produção e permite reduzir a dependência de combustíveis fósseis [38].

Há uma panóplia de formas de armazenar energia: sobre a forma química (baterias, hidrogénio), elétrica (armazenamento magnético e capacitivo), mecânica (armazenamento de água para produção de energia hídrica), térmica (armazenamento geotérmico), entre outros (materiais de mudança de fase) [38].

Um estudo realizado por Bossink, que consistiu em analisar vários artigos científicos (229 publicações), e sintetizar a informação de forma a perceber e criar um modelo para a sustentabilidade de edifícios, revelou que 5% das publicações analisadas foram dedicadas a *smart grids* aplicadas a *ZEB*, tendo sido desenvolvidos sistemas de distribuição de energia que combinam o uso de energia gerada a partir de combustíveis fósseis e de energia de fontes renováveis, sendo o objetivo tornar a rede de energia mais flexível e suscetível à utilização de energia proveniente de fontes renováveis; um dos artigos analisados relata um projeto desenvolvido em Espanha, que refere a possibilidade de utilizar *smart grids* de modo a reduzir 20% da energia consumida, 20% da energia utilizada e 20% das emissões de CO₂ [61].

2.2.2.3 ZCB – 1º edifício com balanço de carbono zero em Hong Kong [62]

Datado de 2012, o edifício possui 3 andares e é constituído por galerias de exposição, escritórios, salas de reunião, uma casa sustentável, um hall de entrada e lojas. Encontra-se inserido numa paisagem urbana composta por várias árvores para promover a biodiversidade e redução do efeito ilha.

O edifício inclui 2800 sensores que registam o desempenho ambiental do edifício (dióxido de carbono, temperatura, humidade, produção de energia renovável, consumo de energia, etc.), e que permitem a identificação de áreas onde a utilização de energia pode ser otimizada.

Para atingir a condição de *Zero Carbon Building* (ZCB), o edifício conta com a combinação de design passivo, sistemas ativos e produção de energia renovável, redução da energia utilizada, a construção e materiais de baixo carbono, utilização maximizada de água.

A utilização de medidas passivas durante o seu design e a instalação de sistemas ativos permitiu estimar uma poupança de 45% de energia em relação ao edifício de referência da legislação em vigor no país.

O sistema fotovoltaico combinado com uma central de trigeriação que utiliza biodiesel produzido a partir de óleo alimentar usado, permite a produção de 87 MWh/ano e 143 MWh/ano, respetivamente. Aproximadamente 100 MWh/ano serão injetados na rede pública de forma a compensar a construção e os materiais utilizados.

Após inauguração e uso do edifício, estudos mostraram que existiu uma grande discrepância entre os objetivos estipulados na fase de *design* e o atual desempenho, com um consumo de energia 3,5 a 5 vezes superior ao estimado inicialmente. Estes resultados foram atribuídos ao *design* pouco realístico do edifício bem como à falha de fatores técnicos (eficiência real dos sistemas, utilização do edifício mais intensa do que o previsto, sistemas de rega, sistema de reciclagem de águas) e não técnicos (comportamento dos ocupantes).

No entanto, a produção fotovoltaica superou o previsto e a central de trigeriação mostrou-se capaz de gerar a energia prevista, apesar da paragem por avaria. Em 2015, verificou-se que a energia renovável gerada excedeu em 11,5% o estimado, tendo o edifício conseguido atingir em 2015 a condição ZCB.

2.2.3 *nZEB* e o Aproveitamento de Água

Embora o conceito de *nZEB* não contemple o uso de água, do ponto de vista da sustentabilidade, uma vez que se está a desenhar um edifício que irá ser energeticamente sustentável, faz sentido o cuidado com a utilização de água. Desde a utilização racional da água, ao uso das águas pluviais para uso doméstico não potável (exemplo: casa-de-banho), ao tratamento das águas residuais, são várias as formas de utilizar ecologicamente a água.

2.2.3.1 WaterHub®

A Emory University localizada em Atlanta, consumiu em 2014 mais de 330 milhões de galões (1,5 milhões de metros cúbicos) de água, sendo que 40% correspondeu a água não potável utilizada na produção de vapor e alimentação dos *chiller* que climatizam o *campus* (30%), entre outros.

De forma a baixar a pegada ecológica a nível da água, a universidade criou um sistema conhecido como WaterHub® (Figura 16), que recicla até 400 mil galões por dia de água, o que equivale a 40% do desperdício de água [63]. Do lado de fora, o WaterHub® parece uma estufa de plantação, mas por baixo encontra-se todo o sistema desenhado para a redução da redução do consumo de água. O processo de tratamento começa com a recolha de água no esgoto municipal, de onde a água é bombeada através de um sem-fim até ao biorreator que inclui digestão anaeróbia e aeróbia. Do reator, a água cai por gravidade para reatores hidropónicos onde são cultivadas plantas de longas raízes que são utilizadas para a criação de um complexo ecossistema microbiológico capaz de decompor matéria orgânica. Após a degradação da matéria orgânica a água é recolhida e passa por um filtro para remoção adicional de resíduos sólidos e é sujeita a um processo de desinfecção (raios UV e cloro).



Figura 16 - Reatores hidropónicos interiores do WaterHub [63].

A utilização deste sistema é energeticamente mais rentável, comparando com outros sistemas de tratamento biológico ou por membranas e ainda permite uma maior difusão de oxigénio que ajuda no processo. A eficiência do WaterHub® é aumentada pela produção de energia local através de painéis fotovoltaicos.

A água tratada é reencaminhada para a central de climatização e, futuramente, será utilizada em casas-de-banho e para rega.

2.2.4 *nZEB* e a Climatização

A necessidade de climatização é evidente desde o aparecimento do ser humano que sempre lutou para criar locais termicamente equilibrados. Segundo a ASHRAE standard 55, o conforto térmico é caracterizado pela satisfação de um indivíduo em relação ao ambiente térmico que o rodeia [64].

Uma grande parte da energia consumida pelos edifícios (cerca de 50%), é utilizada para a manutenção das condições de conforto térmico e qualidade do ar no seu interior, ou seja, nos equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) [65].

Segundo Felgueiras et al. [65], um sistema AVAC só funciona nas condições ótimas quando se encontra a trabalhar nas condições especificadas pelo fabricante e a manutenção de um sistema de AVAC é importante do ponto de vista do consumo de energia, pois a sua inadequada manutenção provoca um aumento elevado no consumo de energia.

A ventilação, como parte integrante de um sistema AVAC, sendo ela mecânica ou natural, desempenha vários papéis num edifício: promove a diluição de gases contaminantes para limitar a exposição a vapores, odores, químicos nocivos e aerossóis, ou seja, garantindo a qualidade do ar interior (QAI), e promove o conforto térmico para os ocupantes (por exemplo: durante a estação de arrefecimento, pode ser usada para garantir o conforto térmico dos ocupantes e ainda pode ser utilizada para arrefecer a estrutura do edifício) [66]–[68].

Assim para obter um edifício *nZEB* é necessário: a redução do consumo de energia por parte dos equipamentos de AVAC através, por exemplo, do aumento da eficiência dos equipamentos; a utilização de estratégias passivas de climatização, de forma a reduzir o uso de equipamentos AVAC, pois a ventilação natural nem sempre é suficiente para atingir os níveis desejados de climatização, como por exemplo em regiões com climas muito quentes [11].

Na generalidade dos edifícios, a partir da década de 50 deste século, prevê-se uma redução no uso de sistemas mecânicos de ventilação e um aumento da utilização de métodos construtivos que favoreçam uma “climatização sustentável”, uma vez que as metas da redução de emissões de GEE são ainda mais ambiciosas [66].

2.2.4.1 *Passive House em Aveiro*

O estudo levado a cabo por Figueira et al. [36] tem como objetivo o dimensionamento de um edifício com arquitetura contemporânea com reduzidas necessidades de aquecimento e arrefecimento, de forma a ser considerado uma *Passive House*.

A edificação é construída em *Light Steel Frame* (LSF), em dois andares, com 148 m² de área útil, e em que a maior área de envidraçado se encontra a Sul, o que requer uma atenção redobrada no que diz respeito aos ganhos internos elevados na estação de arrefecimento. A fachada é constituída por elementos metálicos modulares e isolamento que varia em função da parede/teto/pavimento de forma a obter um coeficiente de transmissão térmica (U) menor possível. Também as janelas são de PVC, com vidro duplo.

Verificou-se que as fachadas voltadas a sul, que neste caso possuíam uma grande área de vão envidraçado, apresentam sobreaquecimento na estação de arrefecimento e, as fachadas voltadas a norte apresentam sobrearrefecimento na estação de aquecimento. O efeito do sobreaquecimento revelou-se o maior problema para atingir as metas para atingir os *standards* das *Passive House*.

De forma a melhorar o conforto térmico, foi instalado um sistema AVAC que aumentou o consumo de energia, pelo que para atingir os requisitos das *Passive House* foi necessário a introdução de uma unidade de AVAC com *free cooling* e recuperação de calor a 80% e, para manter a temperatura de conforto de 20 °C no inverno, também foi necessária a instalação de um sistema de águas quentes sanitárias (AQS). As melhorias permitiram uma redução de 72% nas necessidades de arrefecimento e 62% nas necessidades de aquecimento.

2.2.4.2 *Ventilação natural*

A ventilação natural tem sido ao longo dos últimos anos um tema com forte presença em trabalhos científicos, como demonstra a literatura. O fato de ser necessário reduzir os custos de energia utilizada na climatização dos edifícios, deu azo a novas pesquisas no sentido de analisar a viabilidade da utilização de ventilação natural. Contudo, segundo o projeto NatVent [69], existe ainda falta de conhecimento por todos os envolvidos na criação/execução de edifícios, quer sejam arquitetos, engenheiros, construtores ou mesmo os promotores dos mesmos.

A ventilação natural é condicionada pelo clima local, pelo envelope do edifício, pelo tipo de estratégia utilizada, pelos ganhos solares, pelos ganhos internos e pela atividade desenvolvida no interior. Possui como desvantagens o baixo nível de controlo, baixo tratamento do ar, barulhos e quebras de segurança [68].

Para que a ventilação natural seja utilizada de forma eficaz, é necessária a sua integração na fase de projeto do edifício, pois é imperativo o dimensionamento e posicionamento de vários dispositivos como aberturas na fachada, sistemas de condutas com tomadas de ar e locais de extração a diferentes alturas, torres de vento, chaminés solares, fachadas duplas, coletores solares a ar, entre outros [11], [68], [70]. O controlo dos ganhos solares e internos, bem como o isolamento térmico e a inércia térmica do edifício são fatores também importantes para o desempenho eficiente da ventilação natural [71].

A ventilação natural, caracterizada por correntes de ar através de edifícios, pode ocorrer devido a dois fenómenos: devido ao efeito do vento (diferença de pressão) que pode ser classificada em ventilação unilateral (quando só existe uma abertura na fachada do edifício/espço a ventilar) e ventilação cruzada (quando a ventilação ocorre por aberturas em fachadas opostas do edifício/espço a ventilar); e através da amplitude térmica do ar (diferença de densidade) [68]. A eficácia destes sistemas depende fortemente do perfil do vento no local de implementação do edifício, da geometria do edifício e do *design* dos sistemas [66].

A ventilação por efeito do vento é simplesmente feita por aberturas na fachada (janelas, portas, grelhas) posicionadas com a direção do vento, mas não necessariamente, pois os ângulos entre 30° e 60° em relação à direção do vento maximizam o efeito; a ventilação por diferenças de densidade é possível devido a diferenças de temperatura dentro e fora do edifício. Este método necessita de aberturas inferiores e superiores para a entrada e saída de ar [66].

Segundo o estudo realizado pelo *Scientific and Technical Centre for Building (CSTB)*, a passagem de ventos com velocidades superiores a 1 m/s através das aberturas de um edifício permite a eficaz remoção dos ganhos internos e o aumento da sensação de conforto [66].

Faggianelli et al., estudou o efeito da ventilação cruzada num edifício de habitação localizado à beira mar, na ilha da Córsega (França). O estudo, que se baseou na

medição da concentração de CO₂ no interior da habitação, permitiu concluir que durante o dia se gera um fluxo de ar suficiente e às vezes demasiado alto do ponto de visto do conforto, e também suficiente caudal de ar para arrefecimento noturno [66]. A ventilação noturna permite arrefecer o interior dos edifícios por convecção e, em edifícios com elevada inércia térmica e bom isolamento, guardar frio para garantir o conforto térmico durante o dia.

Estudos realizados em diferentes pontos do globo indicam que pode ser atingida 40% de poupança em energia em edifícios com otimização para ventilação natural noturna no Reino Unido [66]. Um outro estudo realizado numa casa no sul da Itália durante o verão revelou que a utilização de ventilação noturna permitia a poupança de 17% no consumo de energia primária [11].

Vários elementos construtivos podem ser implementados numa edificação de modo a promover a ventilação natural como são exemplos as chaminés solares, os cata-ventos, as fachadas duplas, as aberturas na fachada, os átrios, etc. [68].

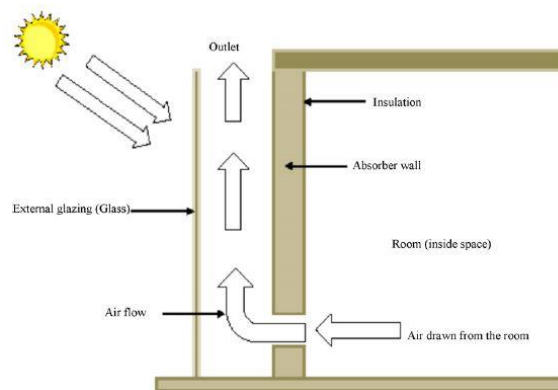


Figura 17 - Esquema chaminé solar [72].

A chaminé solar (Figura 17) é um elemento de arquitetura desenhado de forma a maximizar o efeito de ventilação natural através da diferença de densidade. Em dias quentes de verão e sem vento, a diferença de temperatura entre o interior e o exterior dos edifícios é baixa, pelo que o fluxo de ar é baixo; o aumento de temperatura através dos ganhos solares produzido pela chaminé solar, é capaz de produzir um caudal de ar superior [72]. A criação de uma chaminé solar eficiente depende de inúmeros fatores como o rácio entre a altura da chaminé e a largura da chaminé, as áreas de abertura da chaminé, as características térmicas do material absorvedor e a inclinação da chaminé são os parâmetros mais importantes no seu dimensionamento [72].

A utilização de uma chaminé solar, em climas mediterrâneos, também pode contribuir para a ventilação noturna. O estudo realizado por Martí-Herrero e Heras, [73] permitiu concluir que mesmo sem radiação solar, ainda existe ventilação noturna devido à inércia térmica do material que compõe a chaminé.

O átrio é um espaço central de grandes dimensões, normalmente vidrado, que se encontra especialmente em edifícios não residenciais. Para além da sua imponência estética, o átrio promove o fornecimento de luz natural aos espaços adjacentes, a ventilação natural, e ainda o aumento dos ganhos solares, que pode ser positivo ou negativo em função da estação do ano.

O desenho e implementação de um átrio tem em conta diversos parâmetros: climatéricos (temperatura externa, radiação solar, vento), conforto térmico (carga térmica de aquecimento e arrefecimento, necessidade de ar novo) e da função que vai desempenhar no edifício (ventilação natural diurna/noturna, iluminação natural, pré-aquecimento do ar).

Existem várias formas de átrios nos edifícios (Figura 18), apresentando cada um deles diferentes vantagens: em climas temperados, de forma a obter maiores ganhos solares de inverno, o átrio aparece sob a forma de fachada envidraçada; em climas quentes e húmidos, um átrio centralizado ou linear (“bloco” de vidro a meio do edifício) permite a minimização da flutuação da temperatura.

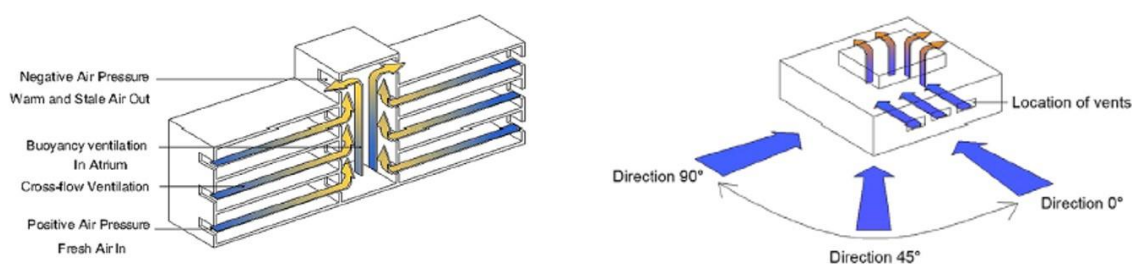


Figura 18 - Exemplo de átrios (à esquerda: átrio promovendo a diferença de densidades; à direita: átrio promovendo a diferença de pressão promovida pelo vento) [74].

Uma vez que o átrio costuma ter grandes áreas envidraçadas, durante os dias quentes de verão, sobretudo em climas muito quentes, os ganhos solares fazem aumentar a carga térmica de arrefecimento pelo que se traduzem em maior gasto energético dos equipamentos de AVAC.

De forma a beneficiar de ventilação natural, a projeção de um átrio pode tomar várias conceções em que: o átrio recebe o ar dos espaços adjacentes e o extrai (beneficia a

diferença de pressão); o átrio recebe o ar fresco e o conduz aos espaços adjacentes (beneficia a renovação do ar interior); o átrio recebe ar novo vindo do exterior, o dispersa pelas áreas adjacentes e o extrai (beneficia a diferença de densidades e a renovação do ar); e o átrio insufla e extrai ar diretamente pelo topo (promove o pré-aquecimento do ar).

Segundo Moosavi et al. [74], o maior benefício da implementação de um átrio quando desenhado para promover a ventilação natural, é a ventilação noturna. Com um controlo mecânico automatizado das aberturas bem dimensionado, é possível que um átrio reduza em 50% o número de horas que a temperatura interior se encontra acima de 25 °C.

Controlar as condições interiores com base em ventilação natural continua a ser bastante problemático devido à imprevisibilidade das condições climatéricas e à complexidade de ambientes e dos edifícios de hoje em dia [68]. No entanto, quando combinada com sistemas mecânicos, o potencial de poupança de energia consumida assume uma dimensão de relevo [70].

2.2.4.3 Ventilação híbrida

Pelo Anexo 35 da Agência Internacional da Energia (IEA), nasce o conceito de ventilação híbrida: um sistema composto por ventilação natural e mecânica que tem como princípio base o controlo e a minimização do consumo de energia enquanto se mantém uma QAI e conforto térmico aceitáveis [70].

A ventilação híbrida tanto se adapta a climas quentes como a climas frios: em climas quentes o sistema deve focar-se em reduzir a energia utilizada pelo arrefecimento mecânico dos espaços; em climas frios o sistema deve minimizar a energia necessária para a ventilação, de forma a atingir QAI e conforto térmico desejados.

Existem três possibilidades de utilização de ventilação híbrida [70]:

- Ventilação natural e mecânica: este método é baseado em dois sistemas completamente autónomos, em que usa os dois sistemas alternadamente ou em simultâneo de forma a cumprir os requisitos. Por exemplo: utilização de ventilação mecânica em horas de ocupação e ventilação natural para arrefecimento noturno;
- Ventilação natural assistida por ventiladores mecânicos: este método utiliza

ventilação natural combinada com ventiladores de insuflação ou extração. Por exemplo: durante picos de ocupação quando a necessidade de arrefecimento é maior e não existe diferença de pressão suficiente “naturalmente”, essa diferença de pressão é mantida pelos ventiladores;

- Ventilação mecânica assistida pela ventilação natural: neste método, o sistema mecânico é otimizado para o uso de forças naturais (diferença de pressão e diferença de densidade) que contribuem para a redução das perdas de pressão do sistema. No entanto este método só pode ser aplicado a sistemas com perdas de pressão baixas.

A ventilação híbrida pode ser otimizada em função de [70]:

- Temperatura de conforto: este método deve ter em conta o balanço entre a capacidade de arrefecimento, a capacidade de aquecimento, a carga térmica do edifício, a temperatura de conforto e inércia térmica;
- Qualidade do ar interior: este método deve ter em conta o balanço do conforto térmico, da qualidade do ar interior e da utilização da energia durante os períodos de aquecimento e arrefecimento.

A eficácia da ventilação híbrida depende das estratégias de controlo utilizadas para o cumprimento de várias tarefas, que pressupõe o tempo de funcionamento de cada sistema e o modo de utilização em função das condições climatéricas exteriores. As estratégias de controlo passam pelo uso de janelas de forma a permitir ao utilizador algum controlo das condições internas, o controlo individual de cada espaço das condições de temperatura, do uso de sistemas automatizados de AVAC, auxiliados por uma rede de sensores, para cumprir em períodos de não ocupação ou em, por exemplo, salas de reunião e auditórios em que a ocupação é grande, os requisitos de conforto, o uso de sombreamentos solares automáticos para a redução dos ganhos solares, etc.

A viabilidade de um sistema híbrido foi analisada por Wang et al. [75], que durante o estudo realizado em três cidades com climas diferentes conseguiram perceber que: a ventilação natural apresenta um potencial de poupança elevado em climas amenos (entre 31,7 e 59,1%), sendo que em climas quentes se registou-se um aumento do número de horas de desconforto térmico; a melhor solução, embora não sendo a que

tem melhores resultados, é a solução híbrida uma vez que permite um melhor balanço entre poupança e conforto térmico.

Uma das maiores limitações do uso de sistemas AVAC em conjugação com sistemas de ventilação natural é a difícil previsão do comportamento humano na ocupação dos edifícios. Ficou demonstrado por um estudo realizado a um edifício de escritórios em Pequim, China, que os ocupantes têm grande influência no desempenho energético do edifício no que diz respeito às condições interiores, bem como ao consumo de energia por parte dos sistemas de climatização [76].

Wang et al. [74] estudaram também o impacto da utilização da janela em três cidades com climas diferentes, durante a estação de arrefecimento: o estudo concluiu que em duas das três cidades ocorreu uma penalização no consumo da energia entre 3,5 e 15,2%; apenas na cidade com clima ameno (mediterrâneo) se registaram poupanças a nível da ventilação e do arrefecimento.

2.2.4.4 Inovações em estratégias de climatização

O uso de ventilação natural, limitado por elementos construtivos e pela dependência do vento e da amplitude térmica, deu azo à criação de coletores solares a ar. Os coletores solares a ar podem ser utilizados em todos os tipos de edifícios (residências, comércio, indústria, agricultura) que necessitem de ar novo aquecido [77].

O baixo calor específico do ar, obriga a um maior caudal de ar para aumentar a temperatura dentro dos edifícios, tornando o uso de coletores solares uma possível solução para a ventilação de uma edificação.

Porém, os coletores solares a ar (Figura 19) têm sido utilizados em países frios como Canadá e Alemanha, mas em áreas como o mediterrâneo a sua aplicação é praticamente inexistente.



Figura 19 - Ginásio escola em Bedford, Nova Iorque (à esquerda: edifício original; à direita: integração de coletores solares a ar não envidraçado no edifício) [77].

Além das estratégias de ventilação natural, também é possível aumentar a eficiência energética dos sistemas de AVAC, como descreve o estudo realizado por Kim et al. [78]. O estudo levado a cabo, visa a integração numa UTA de um sistema de captura de CO₂ com a finalidade de reutilizar o ar interior em maior quantidade e assim poupar energia na climatização do espaço. Uma vez que os filtros convencionais retêm a maior parte dos compostos orgânicos voláteis (COV's), partículas e odores, a utilização do sistema pode constituir uma mais valia.

O estudo revelou que, nem sempre é possível a utilização da totalidade do ar vindo do espaço interior, mas apresentou poupanças nos custos com energia na ordem dos 30% a 60%, tanto em aquecimento como arrefecimento.

2.3 Sistemas de Certificação Energética de Edifícios

Uma vez que o setor da construção é um dos maiores responsáveis pelo consumo de recursos naturais, e muitas vezes não corresponde às exigências dos utilizadores, tornou-se imperativa a adoção de um conceito de construção sustentável [79]. O conceito de construção sustentável com a definição mais aceite internacionalmente é a sugerida por Charles Kibert, em 1994: *“a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos”* [80].

2.3.1 O conceito *Passivhaus*

O primeiro esforço para atingir a sustentabilidade de um edifício, nasceu com o conceito *Passivhaus* (*Passive House*), em 1988, pelas mãos de Wolfgang Feist e Bo Adamson, que pensaram em construir uma casa mais eficiente do ponto de vista energético, sustentável, e economicamente acessível [81].

Uma *Passivhaus* possui uma elevada eficiência energética (poupanças até 75% em comparação com edifícios convencionais), tem uma temperatura uniforme (entre 20 e 25 °C) e uma boa qualidade do ar interior. Este tipo de habitação tem custo de construção cerca de 5% superior em relação à construção convencional, no entanto os custos de exploração são substancialmente mais baixos, e é sustentável uma vez que existe uma redução significativa das emissões de CO₂ devido ao aumento da eficiência energética.

Para um edifício ser certificado como *Passivhaus* é necessário o cumprimento dos seguintes requisitos:

- necessidades de aquecimento inferiores a 15 kWh/(m²ano);
- necessidades de arrefecimento inferiores a 15 kWh/(m²ano);
- necessidades de energia primária inferiores a 120 kWh/(m²ano);
- possuir uma estanquidade ao ar inferior a 0,6 renovações por hora;
- a temperatura estar entre 20 e 25 °C;
- “não deve ter temperatura fora da gama recomendada durante mais de 10% do tempo”.

De forma a garantir os requisitos acima mencionados, uma *Passivhaus* deve ter bons níveis de isolamento da envolvente do edifício, portas e janelas cumpridoras da norma, um sistema de ventilação com recuperação de calor e ainda evitar pontes térmicas na envolvente do edifício.

A partir dos anos 90, foram criados vários sistemas de certificação em vários países (Estados Unidos da América, Reino Unido, França, Japão, Portugal) de forma a avaliar a sustentabilidade dos edifícios, tendo como objetivo comum a mitigação dos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do edifício, bem como estimular a procura de edifícios sustentáveis e métodos e tecnologias de os atingir [82]. Os mais utilizados e conhecidos sistemas de certificação internacionais são o LEED e o BREEAM.

2.3.2 Sistema de certificação BREEAM

O BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*) surgiu nos anos 90, no Reino Unido, e o seu objetivo passa pela avaliação e quantificação das características sustentáveis de um edifício através de um conjunto de critérios de modo a estimular a procura e adoção de soluções que potencializem o bom desempenho energético de um edifício [82].

De forma a ser passível de ser utilizado em diversos tipos de edifícios, o BREEAM divide-se em vários subsistemas como BREEAM Communities, EcoHomes, Code for Sustainable Homes, BREEAM Infrastructure, entre outros. A forma como é conseguida a aplicação especial a cada tipo de edifício é através da manipulação da lista de critérios dentro das categorias e dos seus respetivos pesos e da adaptação às

condições locais; para a avaliação da sustentabilidade existem no BREEAM 71 critérios que se distribuem em 10 categorias listadas na Tabela 1 [83], [84].

A classificação de uma categoria é conseguida pelo somatório dos créditos conseguidos divididos pelo total disponível e multiplicados pelo peso da categoria, mostrando assim a contribuição de cada categoria para a obtenção de certificação; o somatório dos créditos de todas as categorias traduz a classificação final do edifício [83]. Para obter uma certificação BREEAM é necessário a obtenção de uma classificação mínima nas categorias Energia, Poluição, Água e Resíduos e ainda uma percentagem mínima de 30% [85].

Tabela 1 – BREEAM: ponderações para edifícios não residenciais no Luxemburgo (adaptado de [84]).

| Categoria | Ponderação (%) |
|------------------------|-----------------------|
| Gestão | 11 |
| Água | 7 |
| Energia | 20 |
| Resíduos | 6 |
| Materiais | 13 |
| Poluição | 10 |
| Saúde e Bem-estar | 19 |
| Uso do Solo e Ecologia | 8 |
| Transporte | 6 |
| Inovação | 10 |

2.3.3 Sistema de certificação LEED

Após a publicação do BREEAM, apareceram outros sistemas de certificação e avaliação por todo o mundo. O LEED nasceu nos Estados Unidos da América, em 1998, pelo USGBC (United States Green Building Council), com o objetivo de ajudar todos os *stakeholders* na implementação de técnicas e tecnologias visando a obtenção de um projeto e edifícios ambientalmente sustentáveis [79], [83], [85].

O LEED é um sistema voluntário de avaliação do desempenho ambiental que permite a sua aplicação em diversos tipos de edifícios (residencial, comércio, instituições) através da divisão em vários subsistemas devidamente adaptados e, aplicável a todo o ciclo de vida de um edifício através da modificação da ponderação de cada critério [85].

O LEED apresenta 43 critérios que se encontram divididos em oito categorias: energia e atmosfera, eficiência hídrica, sustentabilidade do solo, materiais e recursos,

qualidade do ar interior, inovação e desenvolvimento, prioridade regional e localização e transportes [83].

O método de avaliação do LEED é baseado na atribuição de pontos a diversos critérios sempre que reconhecido o seu âmbito. O sistema de pontuação tem um máximo de 100 pontos e 10 pontos extra para a contemplação de duas características especiais; o somatório de pontos obtidos em todas as categorias dá a avaliação final. Para um edifício ser classificado como certificável tem de atingir uma pontuação mínima de 40 pontos [79], [85].

Além da atribuição de pontos aos diversos critérios das categorias, em que estes só são atribuídos se cumpridas integralmente as condições impostas, existem critérios que são de cumprimento obrigatório que correspondem ao cumprimento mínimo da legislação em vigor e como tal correspondem à atribuição de zero pontos; o não cumprimento dos requisitos mínimos inviabiliza a certificação de imediato [83].

Um exemplo da atribuição de pontos pelo esquema LEED Novas Construções e Grandes Renovações da última versão, versão 4, lançada em 2016 encontra-se listado na Tabela 2:

Tabela 2 - LEED: ponderações para novas construções (adaptado de [86]).

| Categoria | Pontos |
|----------------------------|---------------|
| Prioridade regional | 4 |
| Localização e transportes | 16 |
| Sustentabilidade do solo | 10 |
| Eficiência hídrica | 11 |
| Energia e atmosfera | 33 |
| Qualidade do ar Interior | 16 |
| Materiais e Recursos | 13 |
| Inovação e desenvolvimento | 6 |

2.3.4 Sistemas nacionais de certificação

No contexto nacional, além de se poder aplicar os sistemas de certificação internacionais anteriormente referidos, existem ferramentas desenvolvidas e adaptadas para aplicação específica em Portugal, como o LiderA e o SBTool^{PT}.

2.3.4.1 Sistema de certificação LiderA

O sistema de certificação de origem nacional mais utilizado na atualidade, denominado LiderA, foi publicado no ano 2005 numa parceria entre o Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico e o IPA (Inovação e Projetos em Ambiente, Lda.). O LiderA tem como finalidade dar apoio à procura de soluções eficientes em fase de projeto e para dar reconhecimento a planos e projetos e certificação (em empreendimentos contruídos) se demonstrado um bom desempenho [87].

O LiderA assenta em seis princípios na procura da sustentabilidade sendo posteriormente divididos em áreas:

- valorização da dinâmica local e promoção da adequada integração (por exemplo: preocupação com o local de construção, otimizar a área de implantação, integração paisagística das construções);
- promoção da eficiência na utilização de recursos (por exemplo: eficiência nos consumos de energia elétrica e água potável, desenho passivo dos edifícios, uso de materiais locais e durabilidade);
- redução dos impactos resultantes da atividade de construção (por exemplo: tratamento de águas residuais, redução de emissões atmosféricas, valorização de resíduos);
- garantir a qualidade ambiental (por exemplo: qualidade do ar interior, conforto térmico e sonoro);
- promover a utilização sustentável dos edifícios (por exemplo: sistemas de gestão ambiental, aplicação de inovações);
- fomentar as vivências sociais (por exemplo: existência de espaços de desporto, lazer e cultura nas proximidades, existência de espaços de apoio como centros médicos, lares) e promover também a eficiência económica (por exemplo: acesso a postos de trabalho nas proximidades, acesso a uma rede de transportes públicos, redução da necessidade de transportes e promoção da utilização de vias pedonais e ciclovias).

De forma resumida, na Tabela 3, encontram-se disponíveis os princípios e as respetivas áreas com a correspondente ponderação.

Tabela 3 - Sistema LiderA: Princípios, áreas e ponderações (adaptado de [82]).

| Princípio | Área | Ponderação (%) |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Integração local (14%) | Solo | 7 |
| | Eossistemas naturais | 5 |
| | Paisagem e património | 2 |
| Recursos (32%) | Energia | 17 |
| | Água | 8 |
| | Materiais | 5 |
| | Alimentares | 2 |
| Cargas Ambientais (12%) | Efluentes | 3 |
| | Emissões atmosféricas | 2 |
| | Resíduos | 3 |
| | Ruído exterior | 3 |
| | Poluição iluminotérmica | 1 |
| Conforto Ambiental (15%) | Qualidade do ar | 5 |
| | Conforto térmico | 5 |
| | Iluminação e acústica | 5 |
| Vivências socioeconómicas (19%) | Acesso para todos | 5 |
| | Diversidade económica | 4 |
| | Amenidades e interação social | 4 |
| | Participação e controlo | 4 |
| | Custos no ciclo de vida | 2 |
| Gestão Ambiental e Inovação (8%) | Gestão ambiental | 6 |
| | Inovação | 2 |

O primeiro passo para a obtenção de certificação LiderA, é o cumprimento das exigências que a legislação nacional impõe e a adoção de requisitos mínimos essenciais nas áreas consideradas no sistema de certificação. Em seguida, é atribuída a cada critério uma classificação que varia de G (menos eficiente) a A+++ (mais eficiente) em comparação com a prática comum (classe E), sendo que a cada classe corresponde um valor numérico. Após atribuídas as classificações a cada critério, é multiplicado o valor numérico correspondente à classe atribuída pelo valor da ponderação do regulamento e por fim, a classe é encontrada pelo somatório dos produtos anteriormente descritos [82].

2.3.4.2 Sistema SBTool em Portugal

Em 1996, a iiSBE (*international initiative for a Sustainable Built Environment*) estabeleceu o objetivo de criar standards para o desempenho energético e ambiental de edifícios que fosse aplicável tanto internacionalmente como em contextos

nacionais. Para atingir o objetivo, tornou-se necessária a criação de uma ferramenta, que possibilitasse a avaliação dos impactos de um edifício durante todo o seu ciclo de vida nas três vertentes da sustentabilidade: ambiental, social e económica de forma objetiva [85].

É desta forma que nasce a ferramenta de avaliação e certificação SBTool, através da cooperação de diversas organizações, institutos e investigadores de todo o mundo, encontrando-se em constante revisão por um comité pertencente ao iiSBE [88].

Em termos de organização, a ferramenta SBTool adotou uma importância de 40% para a dimensão ambiental, devido à grande relevância dos recursos ambientais para a sobrevivência dos seres humanos e da biodiversidade, e de 30% para as demais. A cada dimensão pertencem várias categorias e, dentro de cada categoria existe um conjunto de parâmetros que pretende traduzir matematicamente a categoria [82].

Tabela 4 - SBTool: dimensão, categoria e ponderação (adaptado de [68]).

| Dimensão | Categoria | Ponderação (%) |
|--------------------|--|-----------------------|
| Ambiental (40%) | Alterações climáticas e qualidade do ar interior | 13 |
| | Uso do solo e biodiversidade | 20 |
| | Eficiência energética ¹ | 32 |
| | Materiais e gestão de resíduos | 29 |
| | Eficiência hídrica | 6 |
| Social (30%) | Conforto e saúde dos utilizadores | 60 |
| | Acessibilidades | 30 |
| | Educação e preocupações de sustentabilidade | 10 |
| Económica (30%) | Custos no ciclo de vida ² | 100 |

A metodologia adotada pela SBTool contempla o edifício, as suas fundações e os trabalhos externos realizados no local de construção. Aspetos como impactos urbanos nas imediações, a construção de vias de comunicação e distribuição de energia estão excluídos [89].

A maior característica do SBTool, que permite a ampla aplicabilidade, é a capacidade de se poder modificar, por exemplo, o peso dos critérios de forma a se ajustar de forma completa às condições e prioridades e, de poder contemplar as necessidades da

avaliação da sustentabilidade dos edifícios em cada país. Por exemplo, é possível criar versões em função do tipo de edifício [85], [89].

Na sua forma mais genérica pode ser usada para avaliação da sustentabilidade de edifícios de diferentes tipos (habitação, comércio e serviços) e em diferentes fases do seu ciclo de vida (estudo prévio, *design*, construção e operação) [89].

Normalmente, a preferência da maioria dos *stakeholders* é a atribuição de uma classificação única que represente todas as vertentes de um sistema de certificação; no entanto, a possibilidade de existir uma categoria com boa cotação e outra com uma classificação mais baixa, acaba por passar despercebida quando atribuída uma única classificação. Assim, o SBTool além de atribuir uma classificação global, representada por uma escala de A+ a E, também apresenta uma classificação por cada pilar da sustentabilidade. A avaliação final depende da comparação com duas referências: prática convencional e melhor prática, sendo que os resultados são validados por peritos qualificados e revistos internacionalmente pela iiSBE que, tratando-se de uma organização independente torna a avaliação menos sujeita a erros [89].

A versão portuguesa do SBTool, o SBTool^{PT}, foi desenvolvida pela delegação portuguesa da iiBSE em conjunto com a Universidade do Minho e a empresa Ecochoice [89].

2.4 Laboratórios *nZEB*

Compilando todas as inovações tecnológicas na construção de um *nZEB*, é possível aplicar o conceito a diversas tipologias de edifícios, como é o caso de um laboratório.

Os ambientes laboratoriais, em função da natureza a que se destinam, apresentam um conjunto de parâmetros que é necessário cumprir: temperatura interior, renovações de ar, controlo de poeiras, segurança bioquímica, entre outros.

2.4.1 VELUXlab

Situado no campus Bovisa do Politécnico de Milão, o *VELUXlab* (Figura 20) foi o primeiro edifício modular italiano *nZEB* (2009) a ser instalado num *campus* universitário, com o intuito de servir para investigação de novas tecnologias, materiais, ventilação e iluminação natural, elementos que promovam a eficiência energética em

edifícios. No entanto, o edifício esteve instalado anteriormente em Bilbao, em 2007, e em Roma, em 2008 [37], [38].



Figura 20 – VELUXlab [37].

O edifício conta com o conceito arquitetónico de ACXT/IDOM, com a colaboração do Atelier 2 - Milão e do Politécnico de Milão, e pretendeu ser um exemplo de construção eficiente com um desempenho energético muito elevado e apresentar um reduzido impacto ambiental durante o seu ciclo de vida, com a utilização de materiais reciclados ou recicláveis.

O edifício tem um pátio aberto voltado a sul, que interliga todos os espaços. A sua forma de construção com telhados inclinados apresenta diversas funções: permitir o sombreamento durante a estação de arrefecimento, maximizar os ganhos solares na estação de aquecimento, promover a iluminação natural do espaço sem encandeamento e permitir a ventilação natural. Uma das características do edifício é não possuir janelas nas fachadas este e oeste, uma vez que são os espaços com maior exposição solar.

A construção do *VELUXlab* caracteriza-se pela pré-fabricação de painéis com estrutura em aço, painéis de OSB (*oriented strand board*), diversas camadas de isolamento compostas por diversos materiais (lã-de-rocha, painéis isolantes de fibras de madeira, painéis isolantes de fibras naturais), um sistema de isolamento exterior ventilado constituído por painéis de espuma de poliuretano e um perfil ventilado de forma a suportar o revestimento exterior feito de placas de gesso cartonado. Para o preenchimento dos espaços vazios entre as camadas, foram utilizados resíduos de poliestireno reciclado. Apenas a laje do chão é em betão, para assegurar a inércia

térmica. Em termos de caixilharia, o edifício apresenta portas e janelas exteriores com vidros triplos de alto desempenho (baixa emissividade) com corte térmico. As soluções construtivas apresentadas permitem uma média do coeficiente de transmissão térmica (U) de $0,146 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e um desfasamento térmico médio de 10 horas e 30 minutos. No edifício (Figura 21) está instalada uma bomba de calor reversível ar-água com 7 kW de potência de aquecimento e 6,1 kW de potência de arrefecimento. Possui um sistema de piso radiante com saída térmica de $90 \text{ W}/\text{m}^2$ no inverno e $30 \text{ W}/\text{m}^2$ no verão. A ventilação é auxiliada por uma unidade mecânica com um caudal máximo de $430 \text{ m}^3/\text{s}$, que inclui uma unidade de recuperação de calor com eficiência de 90% e uma bateria de frio. A ventilação mecânica é apenas utilizada nos extremos das estações e representa um consumo de energia de $3,82 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ano})$. O sistema AQS é ainda auxiliado por coletores solares. O sistema de aquecimento e ventilação é otimizado pela existência de uma rede de sensores que mede as condições climáticas exteriores e ainda as condições de cada espaço interior.

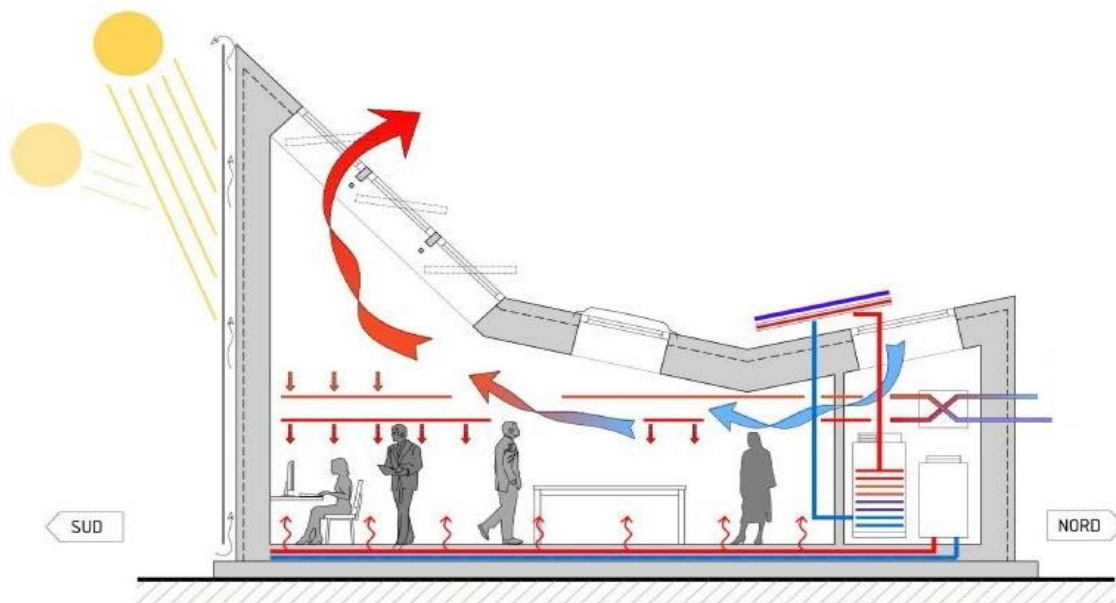


Figura 21 - Esquema de princípio da climatização do VELUXlab [38].

A monitorização do desempenho do edifício, realizada por uma rede de sensores de temperatura e contadores sem fios, destina-se à avaliação das soluções construtivas utilizadas e das condições interiores de conforto, de modo a obter o real consumo de energia do edifício.

2.4.2 JCVI – Laboratório Sustentável

O laboratório JCVI (Figura 22) pertencente ao Instituto J. Craig Venter, denominado La Jolla, inserido no *campus* da Universidade da Califórnia, demarca-se dos restantes por ser o primeiro laboratório biológico de investigação sustentável a nível mundial [90], [91].



Figura 22 - Edifício La Jolla (adaptado de [90]).

O imponente edifício possui 3 andares, uma área de construção de 4190 m² e é constituído por áreas de lazer (cafetaria, uma pequena cozinha, sala de conferência privada, um *deck* exterior), salas de conferência equipadas com elementos de alta tecnologia de modo a facilitar a videoconferência, escritórios e *open space*, laboratórios e espaços técnicos (passarela por baixo dos laboratórios para manutenção dos sistemas mecânicos sem perturbar o funcionamento dos laboratórios).

O edifício é construído em betão composto por 30% de cinzas volantes, o que maximiza o uso de material reciclado sem comprometer a sua resistência. Como se pode observar na Figura 22, o betão encontra-se à vista, e o edifício possui no exterior revestimento em cedro maciço não tratado, janelas de alto desempenho e materiais interiores renováveis e de fácil alteração (bambu, alcatifa e pisos resilientes). As fachadas envidraçadas foram desenhadas de modo a permitir a maximização da iluminação natural e a redução dos ganhos solares.

Para atingir a classificação de *nZEB*, o edifício conta ainda com diversas medidas de eficiência energética:

- Produção local de energia elétrica proveniente de 1488 painéis fotovoltaicos (potência instalada de aproximadamente 487 kW);
- Sistema de iluminação que deteta a quantidade de iluminação necessária pelos ocupantes ao longo do dia;
- Utilização de águas pluviais e condensados, que são armazenados em cisternas com uma capacidade de 340 m³, para torres de arrefecimento, águas de

sanitários, limpeza dos painéis fotovoltaicos e irrigação;

- Sombreamento do edifício pela pala solar que permite a passagem de luz natural, mas reduz os ganhos solares;
- Para garantir a qualidade de abastecimento de água a cada laboratório, estes estão equipados com sistemas de purificação independentes, o que permite o ajuste dos parâmetros da água;
- Instalação de unidades de extração locais, em vez de centralizadas;
- Centralização, numa sala do edifício, de frigoríficos refrigerados a água fria, que são energeticamente mais eficientes, e que permite coletar o calor retirado da sala e armazená-lo para aquecer o edifício.

Na Figura 23, podem-se identificar duas áreas em que a climatização é realizada de forma diferente: a ala de escritórios e a ala de laboratórios.

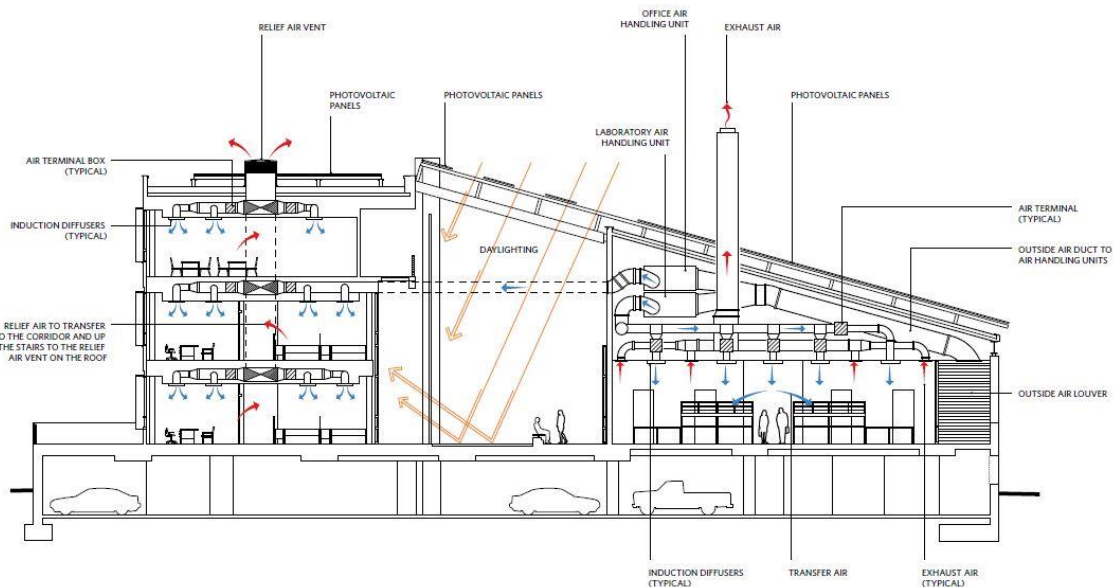


Figura 23 - Esquema de funcionamento do sistema de climatização (adaptado de [90]).

Na ala dos escritórios, o ar novo é insuflado nos escritórios, o que obriga o ar existente a deslocar-se para o corredor, e sair posteriormente por uma abertura no teto do corredor, aproveitando o efeito da ventilação natural. Na ala dos laboratórios, o ar novo é insuflado e extraído mecanicamente; no entanto também existem duas janelas em paredes opostas em cada laboratório.

Em ambas as alas, são utilizados difusores de indução que fornecem as quantidades mínimas de ar novo e ainda possuem uma bateria de aquecimento/arrefecimento que permite a climatização dos espaços, sendo mais eficientes e silenciosos do que os

sistemas de AVAC tradicional.

A água fria para o arrefecimento do edifício é produzida em torres de arrefecimento e, quando necessário, é utilizado um *chiller*. A água quente para aquecimento, é produzida com recurso a uma bomba de calor água-água, e tem como recurso uma bomba de calor ar-água.

Através de monitorização da qualidade do ar, os laboratórios têm renovações de ar variáveis, 4 a 6 renovações horárias, quando o espaço está ocupado e 2 renovações horárias quando está desocupado. Possui ainda a capacidade de aumentar as renovações horárias em cada laboratório em caso de derrame de substâncias.

De forma a controlar os gastos com água e energia do edifício, este encontra-se equipado com um sistema de monitorização que integra todos os sistemas numa interface, e que permite a atuação sobre os mesmos. O sistema monitoriza e controla o sistema de alarme, os sistemas de AVAC, o consumo e produção de energia, a ocupação dos espaços, o sistema de segurança, condições climatéricas interiores e exteriores, sistema de rega, entre outros.

2.5 Conclusão do capítulo

Em relação à definição de *nZEB* adotada pelos Estados-Membros da União Europeia, tira-se como primeira conclusão que a adoção de uma definição não é ainda transversal a todos os Países: se em alguns Estados-Membros existe uma definição bem estruturada, ou seja, com limites máximos de consumo de energia primária ou emissões de carbono, outros possuem apenas uma definição qualitativa de *nZEB*, fazendo com que a sua aplicação prática seja difícil. Também o atraso da publicação de uma definição nas legislações nacionais pode levar a União Europeia a falhar as metas previstas para 2020. No caso de Portugal, em que a definição de *nZEB* não define indicadores de consumo energético e, sendo uma definição de âmbito de aplicação alargado (por exemplo, a produção de energia renovável pode ser implementada no edifício ou em locais adjacentes), torna difícil a sua aplicação. No entanto, a legislação nacional estimula a utilização de fontes renováveis de forma indireta para cumprimento dos requisitos legais de eficiência energética.

Uma vez que existe uma multiplicidade de problemas inerentes à temática dos edifícios, é apresentado na Tabela 5 um resumo de possíveis soluções para a resolução de cada problema, de forma a obter um *nZEB*.

Tabela 5 - Contributos para a obtenção de um *nZEB* (tabela resumo).

| Problemática | Soluções e tecnologias |
|----------------------------|---|
| Construção | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação de isolamento na envolvente opaca <ul style="list-style-type: none"> ○ Isolamentos correntes (EPS, XPS, cortiça) ○ Utilização de materiais mudança de fase [22] • Otimização da orientação do edifício • Dimensionamento de vãos envidraçados <ul style="list-style-type: none"> ○ Posicionamento ○ Fração envidraçada na fachada • Utilização de técnicas construtivas passivas: chaminés solares, átrios, fachadas duplas [11], [69], [71], [74], [75] <ul style="list-style-type: none"> ○ Ventilação natural [36], [72] • Otimização de coberturas verdes <ul style="list-style-type: none"> ○ Cobertura verdes [25] ○ Solução “Cool Roof” [22] • Redução das pontes térmicas <ul style="list-style-type: none"> ○ Sobreposição de camadas de isolamento nas discontinuidades [22] • Inércia térmica |
| Envidraçados e Caixilharia | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento da eficiência dos envidraçados e caixilharias • Aplicação de sistemas de sombreamento |
| Poupança de energia | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento da eficiência de equipamentos consumidores (eletrodomésticos, sistema AVAC, iluminação) [36] • Implementação de um sistema de gestão de energia <ul style="list-style-type: none"> ○ Internet of Things ○ Automação de edifícios [63] ○ <i>Smart Grids</i> [62] • Produção de energia através de fontes renováveis <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Smart Windows</i> ○ Equipamentos tradicionais (solar térmico, solar fotovoltaico, eólica, geotérmica) ○ Painéis PV/T ○ <i>Dye Sensitized Solar Cells (DSC)</i> [51] ○ Microalgas • Boas práticas por parte dos ocupantes |
| Materiais | <ul style="list-style-type: none"> • Aproveitamento de recursos naturais [24], [79], [92] • Avaliação do Ciclo de Vida [93] • Gestão de Resíduos |
| Eficiência hídrica | <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas hidropónicos [64] • Aproveitamento de água pluviais e águas residuais |

Verifica-se a existência de múltiplos sistemas de certificação com origem em diversos países. Inicialmente, os primeiros sistemas de certificação só podiam ser utilizados no

país de criação e para a tipologia de edifício criado. Com o recente aparecimento de novos sistemas que permitem a aplicação em todas as realidades nacionais e a várias tipologias, os antigos sistemas foram reestruturados permitindo atualmente a sua ampla aplicação. Os sistemas de certificação constituem ferramentas valiosas no apoio à decisão de todos os *stakeholders*, permitindo tomadas de decisão conscientes uma vez que a obtenção de uma classificação pressupõe a avaliação de vários pontos-chave à volta da temática dos edifícios, e não só em relação à construção.

Finalmente, também foi constatada a aplicação do conceito de nZEB a edifícios com características menos comuns, como laboratórios de investigação e desenvolvimento, geralmente associados a Universidades.

DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO PARA UM *ZELab*

3.1 Requisitos e necessidades do espaço

3.2 Considerações relativas à proposta de solução

3.3 Solução construtiva

3.4 Cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento

3.4.1 Dados climáticos

3.4.2 Potência térmica dissipada pela ocupação, iluminação e equipamentos

3.4.3 Perfis de utilização

3.4.4 Caudais mínimos de ar novo

3.4.5 Considerações sobre a envolvente exterior

3.4.6 Considerações sobre o sistema de climatização

3.4.7 Resultados

3.5 Estimativa de consumos

3.6 Considerações finais

3 DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO PARA UM ZELab

Neste capítulo será apresentado o caso prático da presente dissertação. O caso prático passará por definir o edifício, determinar os consumos de energia e, numa última fase, definir potenciais formas de redução dos consumos energéticos de modo a conseguir aproximar o edifício de um edifício *nZEB*.

Sendo o objetivo obter um esboço de um laboratório de microbiologia e ambiente com necessidades quase nulas de energia, é inerente ao objetivo a determinação de um conjunto de etapas ordenadas de forma coerente, não invalidando que algumas são interdependentes como se pode verificar na Figura 24.

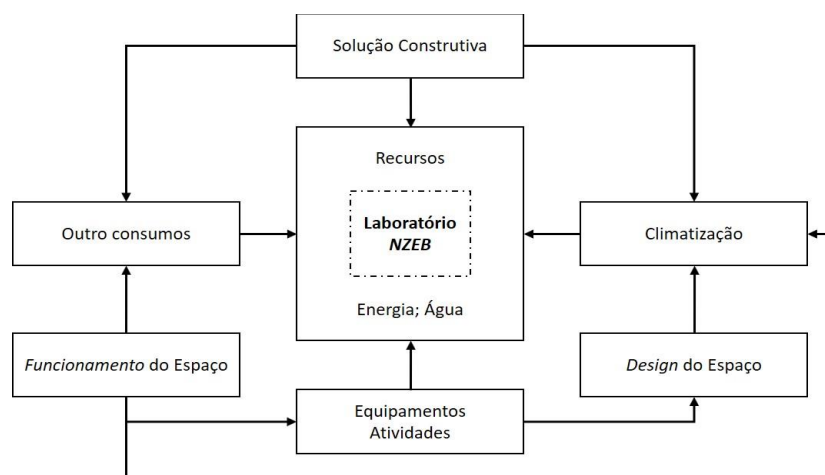


Figura 24 - Vertentes que influenciam a obtenção de um edifício *nZEB*.

3.1 Requisitos e necessidades do espaço

Os requisitos iniciais do laboratório de microbiologia e ambiente são:

1. que apresente consumos de energia que sejam suscetíveis de serem colmatados por fontes de energia renováveis no local aproximando-se do conceito de *nZEB*;
2. que seja transportável;
3. que permita expansão com baixo impacto nas atividades decorrentes nos módulos instalados;
4. que pelo menos uma das suas fachadas com maior exposição solar tenha incorporada um fotobiorreator para cultivo de microalgas, que seja um edifício que possa dar suporte às atividades letivas no ISEP;

5. que permita a empresas disponibilizarem equipamentos (p.e. caldeiras, coletores solares) ou materiais (p.e. isolamentos, envidraçados) para investigação;
6. por fim, servir de *showroom* para apresentação e demonstração de produtos a clientes, aumentando as sinergias entre a comunidade académica e o tecido empresarial.

3.2 Considerações relativas à proposta de solução

Para respeitar as premissas anteriores, o edifício terá de ter uma localização privilegiada, com boa visibilidade do exterior do perímetro do ISEP. O único local que cumpre com os requisitos, é o parque de estacionamento localizado do lado poente do edifício H (Figura 25). As desvantagens associadas à adoção deste local de implementação são a supressão de lugares de estacionamento e a potencial alteração da visibilidade do referido edifício.

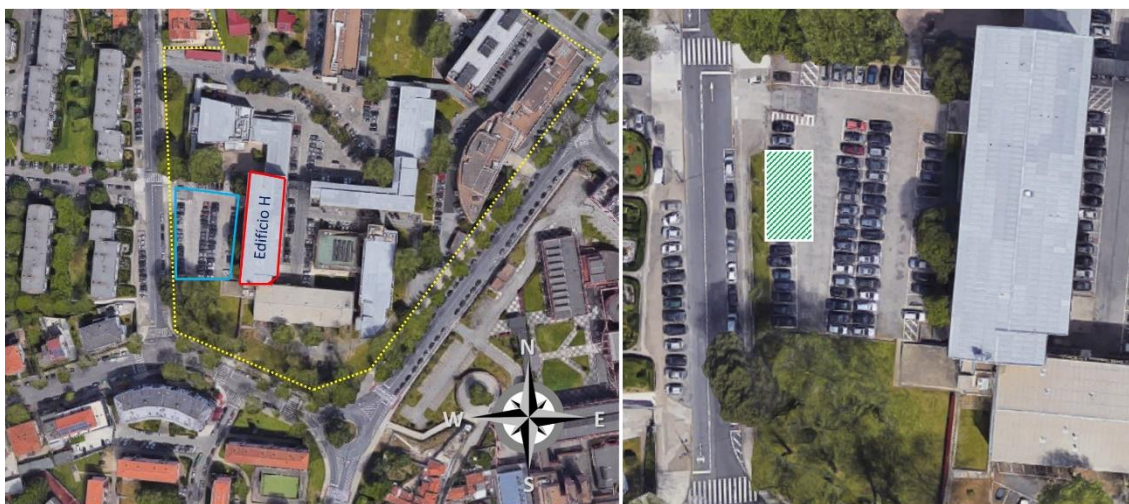


Figura 25 - Enquadramento e localização do edifício nZEB.

Para permitir uma boa visibilidade para o interior do edifício, as fachadas voltadas ao perímetro exterior do ISEP terão de ser envolventes envidraçadas. No entanto, um dos aspetos que potencializam um aumento das cargas térmicas é a envolvente envidraçada pelo que, o estudo do posicionamento dos envidraçados se torna um aspeto importante. Definiu-se que a fachada oeste irá ser parcialmente envidraçada albergando fotobiorreatores enquanto que as restantes fachadas irão ser envolvente opaca com aberturas para o exterior sempre que se justifique a potenciação de iluminação natural ou a colocação de saídas de emergência.

Como referido no Capítulo 2 (Estado de Arte), a construção modular em LSF apresenta vantagens em relação à construção convencional nomeadamente na possibilidade de transporte, na facilidade de construção, na facilidade de ampliação e na maior qualidade do produto final. Atendendo aos pontos referidos, a escolha pela solução modular em LSF para a construção do edifício é facilmente perceptível. A construção modular pode ser realizada também de diversas formas (em painel, em volume, entre outras). Uma vez que este edifício poderá servir de apoio ao ensino em Instituições de Ensino Superior, a eventos climatérios que justifiquem a utilização de um laboratório de campanha, o tipo de construção que se aplica é a construção em volume, em que o edifício virá de fábrica terminado em termos construtivos, facilitando a sua instalação, diminuindo o tempo entre a instalação e um módulo ficar pronto a receber equipamento e ser utilizado.

Uma vez que se pretende que o edifício seja transportável, há que considerar que a circulação de cargas em vias rodoviárias apresenta limitações de peso e tamanho impostas pela legislação em vigor, o Decreto-Lei n.º 132/2017, de 11 de outubro. Segundo o referido Decreto-Lei, os reboques podem ter um comprimento máximo de 12 metros, largura máxima de 2,6 metros e altura máxima de 4 metros com a exceção de um contentor ISO de 45 pés em que a altura fica fixada em 4,6 metros [94]. Atendendo à legislação em vigor, definiu-se as dimensões exteriores em 5,20 metros de comprimento, 2,60 metros de largura e 3,60 metros de altura; a adoção de 5,2 metros de comprimento em detrimento de 6 metros foi devido à simetria que esta dimensão permite em termos de disposição dos módulos.

O edifício será composto unicamente por um piso, e a laje de pavimento irá ser assente em cima de fundações com pelo menos 60 centímetros de altura em relação ao nível do solo, para permitir o acesso às redes de infraestruturas (p.e. água, esgotos) e permitir a colocação de depósitos de água (residuais, tanque de apoio à cultura de microalgas, depósito para recolha de águas pluviais).

Para tornar o edifício num laboratório de microbiologia e ambiente, foram definidos os equipamentos tipo que se tornam necessários ao desenvolvimento de atividades. No Anexo 3, é apresentada a lista de equipamentos tipo, assim como informação relevante para dimensionamentos futuros.

Para albergar todos os equipamentos referidos, não é possível a utilização de um só módulo com as dimensões especificadas, por falta de área disponível. Assim, de forma a determinar a quantidade de módulos necessários torna-se preciso saber a área útil de cada módulo.

Porque a estrutura metálica de cada módulo não será objeto de estudo, através da revisão bibliográfica, e sabendo que cada estrutura deverá ser concebida em função de vários inputs (abertura de vãos, tipo de montagem, cargas aplicáveis como equipamentos, vento) procedeu-se a uma tentativa de identificar os perfis metálicos em LSF geralmente utilizados para determinar as espessuras de parede e lajes para se poder determinar a área útil interior. Da revisão da literatura [23], [95], [96], percebeu-se que os perfis mais utilizados para paredes são perfis com espessura de 150 milímetros e para as lajes de cobertura e pavimento 250 milímetros.

A etapa seguinte passou por determinar a espessura de parede e lajes, pelo que se procurou qual a solução geralmente utilizada associada ao tipo de construção. Novamente, pela revisão da literatura percebeu-se que a espessura de paredes exteriores, paredes interiores, lajes de cobertura e lajes de pavimento, era aproximadamente 0,230 metros, 0,190 metros, 0,325 metros e 0,280 metros, respetivamente. Determinou-se que a área útil de cada módulo será aproximadamente de 10,40 metros quadrados com um pé-direito de 3 metros.

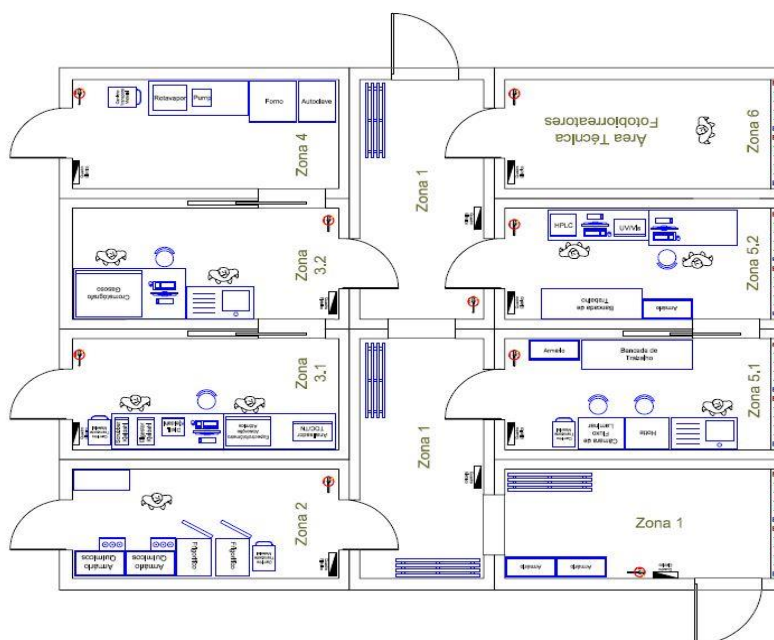


Figura 26 - Previsão de *layout* para o laboratório de microbiologia e ambiente.

Tendo conhecimento da área útil e das necessidades de espaço dos equipamentos laboratoriais anteriormente descritos, procedeu-se à elaboração de um *layout*, para a disposição dos equipamentos, Figura 26.

Com a simulação realizada, foi possível determinar que a quantidade mínima de módulos inicialmente a instalar será de 10 módulos, divididos em várias zonas.

Primeiro criou-se a zona 1, para permitir corredores de acesso aos vários módulos através do edifício “Zonas Comuns” a ser instalado a norte (objeto de projeto noutra Dissertação). Uma vez que existirá uma instalação de fotobiorreatores de fachada, como mostra a figura do Anexo 4, pretendeu-se atribuir inicialmente 1 só módulo, zona 6, para albergar a instalação e controlos do processo.

Uma vez que o edifício “Zonas Comuns” irá possuir um armazém onde ficarão instalados os armários de gases utilizados pelos equipamentos laboratoriais, refrigeradores e materiais, para o espaço possuir uma zona de apoio ao armazém, destacou-se 1 módulo, zona 2, para albergar armários de reagentes e frigoríficos. Uma vez que se pretende que o edifício seja energeticamente eficiente e as atividades realizadas com alguns equipamentos geram elevadas cargas térmicas, organizou-se a instalação dos equipamentos em função da carga térmica por módulos, para: 1) facilitar o controlo dos parâmetros de temperatura e humidade, e 2) diminuir o consumo de energia associado às renovações horárias.

No que às infraestruturas diz respeito, o edifício terá de ser equipado com as redes *standard* - rede elétrica, rede de água potável, rede de esgotos, rede de dados. Uma vez que no espaço vão ser instalados equipamentos laboratoriais, pela tabela do Anexo 3, haverá a necessidade de equipar o edifício com uma rede de ar comprimido, com uma rede de distribuição de gases especiais (hidrogénio, argón, hélio, acetileno, nitrogénio, entre outros). As redes *standard* deverão ser instaladas no interior das envolventes. As redes de gases especiais, ar comprimido, e outras que sejam necessárias deverão ser instalados sob a envolvente. Todas as infraestruturas instaladas nos módulos deverão, além do cumprimento dos requisitos legais na especialidade, permitir a facilidade de acesso para intervenção, a modularidade dos sistemas para expansão ou alterações.

Além das redes mencionadas, deverá ser criado um controlo de acessos aos módulos críticos do laboratório como por exemplo, o armazém de materiais, a zona 6 devido

aos controlos dos fotobiorreatores e ainda, sempre que a pesquisa ou equipamento o justifiquem.

3.3 Solução construtiva

As soluções construtivas, aquando do seu dimensionamento, têm de obedecer a metodologias de cálculo geralmente especificadas na legislação nacional, sendo constituídas por elementos estruturantes, materiais isolantes e revestimentos que atendam a normas de segurança, como por exemplo, resistência ao fogo. Além das restrições construtivas, as soluções construtivas têm de atender ao cumprimento legal da legislação nacional sobre eficiência energética. É utilizado o coeficiente de transmissão térmica (U), expresso em W/m^2K , para limitar as trocas de calor entre o envelope do edifício e o ambiente externo, em função do tipo de envolvente e da zona climática de inverno.

Sendo a zona climática de inverno do edifício I1, na Tabela 6 podem-se observar os valores de coeficiente de transmissão térmica máximos admissíveis, para os diferentes tipos de envolvente.

Tabela 6 - Valores regulamentares (RECS) de $U_{máx}$ para zona climática I1.

| Elemento | U (W/m^2K) |
|--|------------------|
| Elementos opacos verticais exteriores | 0,50 |
| Elementos opacos horizontais exteriores | 0,40 |
| Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w) | 2,80 |

Além da limitação em termos de perda por condução e convecção, os envidraçados encontram-se também limitados em função da energia transmitida por radiação através do parâmetro fator solar do vão, g , que traduz o quociente entre a energia transmitida por radiação e a radiação incidente no envidraçado. O valor limite legal para a zona climática de verão V2, para o fator solar do vão, sem dispositivos de sombreamento é de 0,20 [97].

No ponto *Requisitos e necessidades do espaço*, foi referida a consulta de bibliografia para a determinação de uma solução comum à construção em LSF. No respeitante aos materiais, também para a solução mais utilizada, a bibliografia indica a utilização de placas de gesso cartonado para o revestimento interior, a utilização de lâ-de-rocha entre os perfis (utilizada para efeitos de isolamento térmico, mas sobretudo acústico),

seguida de uma placa de OSB-3 ou OSB-4 dependendo da necessidade em termos da solicitação das cargas, uma membrana transpirável e impermeável (membrana que permite que o vapor de água acumulado no interior seja expelido para o exterior, mas a humidade exterior não penetre a membrana), e acabamento exterior com sistema ETICS (reforço do isolamento térmico oferecido pela lâ-de-rocha na diminuição das pontes térmicas lineares).

Assim, pela descrição anterior, a solução que irá ser criada será chamada de solução *standard* corresponderá à solução recorrentemente utilizada, ilustrada pela Figura 27.

Com base nos materiais presentes na tabela do Anexo 5, calculou-se o coeficiente de transmissão térmica para a solução *standard*: 0,197 W/m²K para a parede, 0,192 W/m²K para a cobertura e 0,238 W/ m²K para a laje de pavimento.

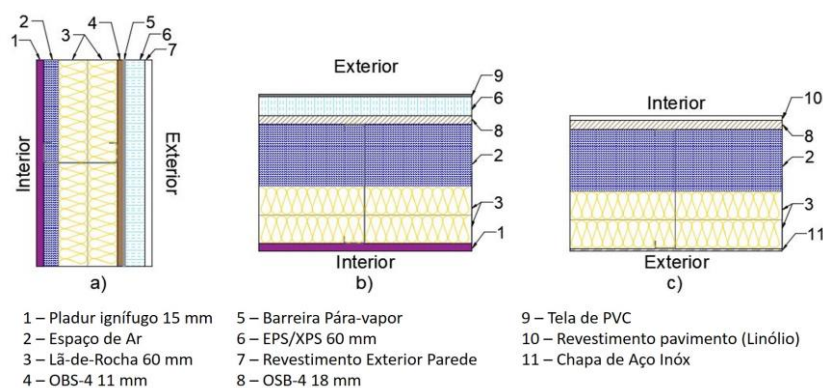


Figura 27 - Solução corrente de paredes e lajes para edifícios em LSF.

Embora os materiais de isolamento contribuam para a redução de consumo de energia dos edifícios durante a sua utilização, o que faz reduzir, entre outros, as emissões de CO₂, o seu processo de fabrico (extração, fabrico, transporte) pode ter um somatório de emissões de CO₂ superior ao poupado durante o período de vida do edifício [93].

O estudo realizado por Augusto et al., [93] em que foram comparados vários materiais de isolamento (lã-de-rocha, EPS, XPS, cortiça e fibras de coco), permite concluir que, em relação aos fatores ambientais, a cortiça apresentava menores valores para o potencial de aquecimento global (traduz a emissão de CO₂ equivalente em função dos quilogramas utilizados) e para a energia primária não-renovável (energia incorporada no material devido ao seu ciclo de vida); nos restantes indicadores, coeficiente de transmissão térmica e preço de aquisição apresentava os valores mais elevados; no que diz respeito à comparação entre o EPS e o XPS, o XPS é fortemente penalizado pelo potencial de aquecimento global e pela energia primária não-renovável.

Em resultado do estudo anterior e, embora a cortiça seja um material com um preço de aquisição mais elevado e com um desempenho inferior em termos de U, recorreu-se à substituição do sistema ETICS por painéis de *Aglomerado de Cortiça Expandida – MDFachada* (ICB) da Amorim Isolamentos, S.A. Também as placas de XPS da cobertura, na solução a adotar irão ser substituídas por placas de EPS.

Com base nos materiais presentes na tabela do Anexo 5, calculou-se o coeficiente de transmissão térmica para a solução ICB: 0,198 W/m²K para a parede exterior, 0,197 W/m²K para a cobertura e 0,238 W/m²K para a laje de pavimento. Observa-se que os valores obtidos para a nova solução construtiva são similares aos valores da solução corrente.

Tratando-se de um edifício *nZEB* que pretende ser um edifício de referência aos olhos do exterior, a escolha da cortiça para revestimento exterior funciona no sentido de alertar para o uso de materiais pouco transformados.

O estudo da disposição dos módulos pretende também facilitar a redução do consumo de matérias, adotando-se para as paredes interior uma composição diferente. Utilizando os mesmos perfis de LSF de 150 milímetros, as paredes interiores irão ser constituídas por dupla camada de lâ-de-rocha de 60 milímetros (principalmente por razões acústicas), e revestimento interior em pladur ignífugo rebocado e revestimento exterior (parede em contacto com outro módulo) em OSB-4 de 12 milímetros.

Os vãos envidraçados são um componente essencial nos edifícios uma vez que são elementos que possuem geralmente maiores valores de coeficiente de transmissão térmica que as envolventes opacas e, o facto de possuírem vidro, faz com que exista um ganho extra de calor no espaço devido à radiação que é transmitida pelo envidraçado.

Nos edifícios em que a inércia é tipicamente baixa, torna-se ainda mais importante o uso de envidraçados com baixa permeabilidade ao ar, com baixo coeficiente de transmissão de calor e controlo da radiação transmitida pelos envidraçados.

Após pesquisa no mercado por soluções disponíveis, determinou-se o uso de portas exteriores em caixilharia de alumínio com corte térmico e vidro triplo com um U_w de 1,4 W/m²K e um envidraçado com as mesmas características com um U_w de 0,8 W/m²K [98], [99]. Como os vãos envidraçados utilizados não referem o valor do fator solar, será adotado o valor máximo admissível de 0,2.

Outra característica do edifício proposto, será a não inclusão de tetos falsos de modo a ficarem as instalações elétricas e mecânicas à vista; esta característica permite a alteração e manutenção das infraestruturas, assim como o seu estudo e implementação de novas soluções.

3.4 Cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento

Para facilitar o cálculo das cargas térmicas, irá ser utilizado o software *Hourly Analysis Program 4.90*, denominado adiante de HAP, que permite a análise horária da carga térmica de um edifício, espaço a espaço, ao longo de um período definido, normalmente a duração de 1 ano, bem como o cálculo do consumo de energia e custos associados.

Em traços gerais, a introdução de dados no HAP é organizada da seguinte forma:

- no separador *Weather*, é necessário o preenchimento dos dados climatéricos do local de instalação;
- no separador *Spaces*, separador que permite a criação de diversos espaços a climatizar dentro de um edifício, preenchem-se os dados relativos às áreas, orientação e a solução construtiva das envolventes (opaca e envidraçada) para o exterior do espaço, os requisitos de ventilação, a inércia térmica do edifício, definem-se as cargas térmicas do espaço e ainda infiltrações e espaços interiores que este possa conter;
- no separador *Systems*, define-se o tipo de sistema de climatização (*splits*, múltiplas configurações para unidades de tratamento de ar, ventiladores de exaustão), onde são definidos em função do escolhido os componentes e características destes, a zona afeta à unidade escolhida bem como o tipo de controlo associado e os *setpoints* do espaço;
- no separador *Plants*, podem-se configurar sistemas de produção de água fria, água quente ou vapor para os permutadores de calor dos sistemas criados no separador *Systems*;
- no separador *Buildings*, podem-se associar os sistemas de climatização bem como os sistemas de produção de água fria, quente e vapor num só para executar a simulação do sistema em conjunto.

Além do descrito, o HAP permite a criação de uma biblioteca de perfis de funcionamento, soluções construtivas de paredes, lajes de cobertura e envidraçados, sombras, sistemas produtores e caracterizar os sistemas de abastecimento elétrico e de combustível, dados estes que permitem um preenchimento dos separadores acima mencionados de forma mais rápida.

Dada a localização para a qual irão ser estudadas as cargas térmicas, Porto, embora o programa HAP utilize a metodologia de cálculo desenvolvida pela *ASHRAE* (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado), os valores utilizados e algumas metodologias de cálculo, como por exemplo a determinação dos caudais mínimos de ar novo, irão seguir a legislação nacional em vigor para edifícios de serviços (RECS), categoria em que se insere o edifício em estudo.

3.4.1 Dados climáticos

O primeiro levantamento a ser realizado são os dados climáticos do local onde irá ser instalado o edifício. Para tal utilizou-se a ferramenta disponibilizada pelo LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia) denominada “CLIMAS-SCE” e a publicação Temperaturas Exteriores e Números de Graus-dias do INIG/LNEC [100]. Os dados inseridos podem ser visualizados na Figura 28.

Uma vez que a construção em LSF apresenta tipicamente um baixo valor de inércia térmica e o laboratório tem no seu interior equipamentos sensíveis a alterações climáticas e com condições de temperatura ambiente de trabalho bem definidas, opta-se por escolher uma temperatura exterior (temperatura de bolbo seco) de projeto de inverno para uma probabilidade de ocorrência de 1% no valor de 0,5 °C e uma temperatura exterior de projeto de verão para uma probabilidade de 99% de ocorrência no valor de 30,9 °C com uma amplitude térmica de 9,6 °C.

Figura 28 - Dados climáticos inseridos no separador *Weather* (HAP).

Após determinadas as condições exteriores, falta ainda definir as condições interiores, espaço a espaço. As temperaturas interiores podem ser definidas em função da atividades e níveis de vestuário dos ocupantes de um espaço, em função de condicionantes (processo, atividade, equipamento, entre outros). A definição das temperaturas, sempre que possível, deve atender também aos consumos energéticos do sistema de climatização. Além das temperaturas adotadas serem definidas para cada espaço e em função da ocupação, presentes na Tabela 7, foi definido que a humidade relativa também apresentaria *setpoints*: 30% de valor mínimo e 60% de valor máximo.

Tabela 7 - Temperaturas interiores de projeto.

| | Período de Arrefecimento | | Período de Aquecimento | |
|-----------------|--------------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | Ocupado | Não Ocupado | Ocupado | Não Ocupado |
| Zona 2 | 25 | 25 | 18 | 16 |
| Zona 6 | 25 | 25 | 20 | 20 |
| Restantes Zonas | 25 | 28 | 20 | 16 |

Uma vez que os espaços laboratoriais de microbiologia irão apresentar uma classe de segurança biológica de nível 1 [101], tentou-se perceber quais as temperaturas típicas para espaços idênticos. Pela Portaria n.º 167/2014, de 21 de agosto, um espaço com nível de segurança biológica 1, deve ter condições interiores de temperatura entre 20 e 25°C e a humidade relativa entre 30 e 60%. Nos períodos desocupados, tanto para o período de aquecimento como para o período de arrefecimento, de forma a pensar numa possível poupança de energia, aligeirou-se os valores das temperaturas.

Para a zona 6 foram definidas condições de temperatura idênticas aos restantes espaços, uma vez que irá ser o espaço dedicado ao cultivo de microalgas. A temperatura dos fotobiorreatores irá ser controlada por um sistema independente, no entanto, como se pretende que a temperatura da cultura se mantenha o mais estável possível, optou-se por manter as mesmas condições para o período ocupado e desocupado.

Para a zona 2, tratando-se de uma zona de armazenamento, a pensar numa possível forma de estabilizar os consumos dos frigoríficos e num menor consumo energético de arrefecimento optou-se por manter a temperatura igual em ambos os períodos (ocupação e não ocupação) e de forma a consumir a menor quantidade de energia possível, optou-se, para o período de aquecimento, por *setpoints* mais baixos em relação aos outros espaços de forma a aproveitar as temperaturas ambientes exteriores mais baixas.

3.4.2 Potência térmica dissipada pela ocupação, iluminação e equipamentos

As cargas térmicas que derivam da utilização de um edifício podem ter origem na ocupação, na iluminação e nos equipamentos.

No respeitante ao número de ocupantes em cada zona do edifício, este encontra-se definido na Tabela 8.

Segundo a portaria 343-A/2013, as atividades realizadas dentro de um laboratório são consideradas uma atividade moderada. Pelo HAP, uma atividade moderada é caracterizada por uma carga térmica sensível de 86,5 W/ocupante e uma carga térmica latente de 133,3 W/ocupante. No corredor a ocupação será de curta duração, nos intervalos, pelo que se trata de uma atividade de descanso, sendo caracterizada por uma carga térmica sensível de 67,4 W/ocupante e uma carga térmica latente de 35,2 W/ocupante. Na Tabela 8, encontram-se resumidas as cargas térmicas máximas de cada espaço em função da ocupação.

Tabela 8 - Carga térmica máxima em função da ocupação.

| | Zona 1 | Zona 2 | Restantes Zonas |
|----------------------------|--------|--------|-----------------|
| Nº. Ocupantes | 18 | 1 | 3 |
| Carga térmica sensível (W) | 1213,2 | 86,5 | 259,5 |
| Carga térmica latente (W) | 633,6 | 133,3 | 399,9 |
| Carga térmica total (W) | 1846,8 | 219,8 | 659,4 |

Segundo a legislação em vigor, os sistemas de iluminação instalados em edifícios de comércio e serviços devem cumprir os requisitos para os parâmetros de iluminação de acordo com as normas europeias, assim como os requisitos de densidade de potência e equipamentos de controlo [97]. Para atender ao cumprimento dos requisitos legais, os sistemas de iluminação devem ser dimensionados por profissionais com recurso a ferramentas informáticas que permitam, além do cumprimento legal, a otimização da iluminação e a redução do consumo energético.

De forma a utilizar um valor que refletisse a carga térmica da iluminação em função do tipo de espaço, recorreu-se ao capítulo 18 do livro “ASHRAE Handbook— Fundamentals” [64]. De acordo com a publicação referida, o valor da densidade de potência luminosa máxima: num laboratório e armazém, deverá ser de 15 W/m² e no corredor de 5 W/m².

Os equipamentos correspondem a uma percentagem de energia consumida significativa de um laboratório, não só pelo consumo de energia como também pela influência que têm na carga térmica do espaço.

Geralmente, as cargas derivadas dos equipamentos são sobrestimadas uma vez que existe incerteza sobre a quantidade e tipo de equipamentos, qual a carga térmica e o tipo de carga, sensível ou latente, real do equipamento e também o perfil de uso dos equipamentos.

Dado que é difícil avaliar os parâmetros anteriormente indicados, a ASHRAE indica que a carga térmica dos equipamentos de um laboratório situa-se entre os 50 W/m² e os 270 W/m² [102].

O estudo realizado por Angela McCann [103] vem caracterizar, em função do tipo de laboratório, a taxa de ventilação (baixo na ausência de hotes e alto na presença de hotes e equipamentos equiparados), a carga dos equipamentos (baixo [0 a 50 W/m²], médio [50 a 100 W/m²] e alto [100 a 150 W/m²]) e as condições do laboratório (baixo [21 a 24 °C; 40 a 60% HR], médio [20 a 22 °C; 50 a 60% HR] e alto [-6 a -4 °C; 39 a 41% HR]) (Tabela 9).

Tabela 9 - Avaliação da taxa de ventilação, carga dos equipamentos e condições interiores em função do tipo de laboratório (adaptado de [103]).

| Tipo | Investigação | Biológico | Instrumentação |
|----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|
| Taxa de ventilação | Alto | Médio/alto | baixo |
| Carga equipamentos | Baixo | Médio | Alto |
| Condições interiores | Baixo | Alto | Médio |

Dadas as dificuldades de determinação das cargas térmicas de equipamentos laboratoriais, nos Estados Unidos da América, está em curso um projeto intitulado “*Labs21 Benchmarking Tool!*”, que pretende criar uma plataforma onde seja possível comparar a energia consumida em função do tipo de laboratório, do clima em que se insere e do tipo de carga (ventilação, consumo elétrico, entre outros), de forma a reunir informação que leve a uma melhoria no dimensionamento das cargas térmicas que influenciam os sistemas de AVAC a instalar num laboratório [104], [105].

Atendendo aos equipamentos a instalar no ZELab, após consulta de fichas técnicas e manuais de instalação foi possível obter os valores de carga térmica para alguns dos equipamentos que irão ocupar os diferentes módulos, Anexo 3; no entanto não distingue a carga térmica nas suas componentes. Dos equipamentos que se conhece efetivamente a carga térmica total e, em função do layout apresentado definiu-se:

- a zona 1 não possui equipamentos;
- a zona 2, sendo composta por armários ventilados e frigoríficos, utilizou-se como valor de referência a soma das potências elétricas;
- na zona 3.1, pode-se observar que os equipamentos possuem elevada potência elétrica, e são compostos por elementos de aquecimento (semelhantes a mantas de aquecimento) com valores de dissipação perto dos valores de potência elétrica absorvida;
- a zona 3.2 alberga dois equipamentos (computador e o cromatógrafo de gás), para os quais é conhecida a carga térmica;
- na zona 4, dos 3 equipamentos que ocupam a área, conhece-se o valor da carga térmica do rotavapor e da autoclave;
- na zona 5.1, conhece-se a carga térmica da maioria dos equipamentos à exceção da *hote*, da câmara de fluxo laminar e do microscópio com câmara; no

entanto, atendendo ao tipo de equipamento e à potência elétrica destes equipamentos decidiu-se excluir a sua carga térmica;

- na zona 5.2, uma vez que não se conhecem dados sobre a maioria dos equipamentos (reconhece-se apenas 522 W de carga térmica dissipada pela bomba de vácuo e pelos computadores), comparando com a potência dos equipamentos da zona 5.1, atribuiu-se um valor similar;
- na zona 6, uma vez que não se conhecem os equipamentos a ser instalados, definiu-se 50 W/m² para o valor da carga térmica.

Em função da justificação acima apresentada, na Tabela 10 encontram-se resumidos os valores de carga térmica totais que irão ser utilizadas na simulação.

Tabela 10 - Estimativa da carga térmica de cada zona.

| Carga térmica | | Carga térmica | |
|---------------|--------|---------------|---------------------|
| Zona 1 | 0 W | Zona 4 | 2300 W |
| Zona 2 | 695 W | Zona 5.1 | 1295 W |
| Zona 3.1 | 3000 W | Zona 5.2 | 1000 W |
| Zona 3.2 | 2360 W | Zona 6 | 50 W/m ² |

3.4.3 Perfis de utilização

Após determinado o valor das cargas térmicas para os espaços, o seguinte passo é associar aos equipamentos, iluminação e ocupação um perfil de utilização. O HAP para um dado perfil de funcionamento, permite a criação de até 8 perfis e aplicar esses perfis a dias da semana e meses do ano como demonstrado pela Figura 29.

Os perfis de utilização foram pensados tendo em conta o funcionamento de um ano letivo e a utilização do espaço das 8 horas às 23 horas. Uma vez que a ocupação e utilização dos espaços não são iguais, tornou-se necessário o ajuste de cada perfil ao espaço e ao tipo de carga térmica e funcionamento dos equipamentos.

Para a zona 1 e para a zona 2, considerou-se o mesmo perfil de utilização para a iluminação e para a ocupação, considerando que a iluminação só será utilizada quando os espaços estiverem ocupados.

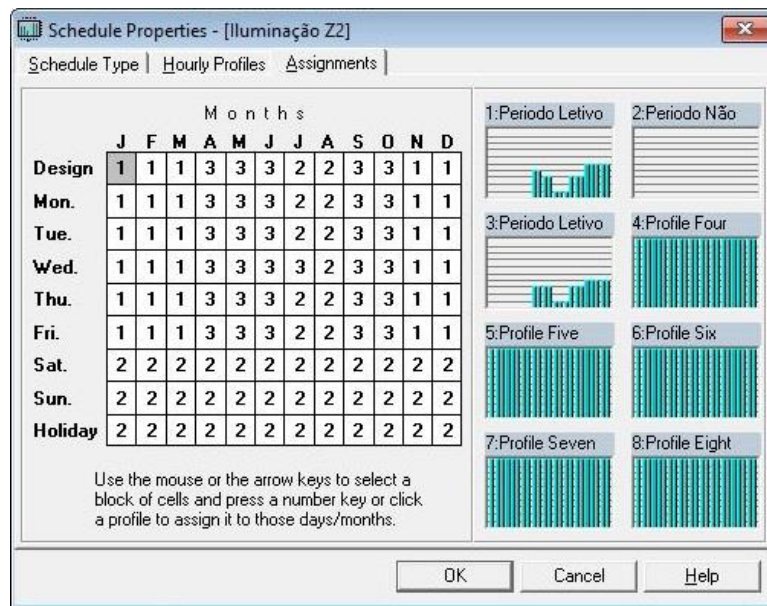


Figura 29 - Exemplo de criação de um perfil de utilização no HAP.

Uma vez que a iluminação dos laboratórios irá ocorrer durante a sua ocupação, estipulou-se uma utilização mais intensiva para outono e inverno, ao contrário da utilização na época de primavera verão. Quanto à ocupação dos módulos laboratoriais e zona 6, considerou-se o uso a 100%, exceto durante a hora de almoço.

O tempo de utilização, frequência de utilização e momento do dia em que são utilizados os equipamentos laboratoriais são dados difíceis de determinar. O estudo levado a cabo por António Borges, [106], decorrido no ISEP, relata o tempo de funcionamentos de equipamentos do mesmo tipo ou similares aos que irão ser futuramente instalados.

Em função do estudo, estipulou-se o tempo de funcionamento dos equipamentos, estando representados na Tabela 11. Para equipamentos em que não estava disponível a informação temporal, utilizaram-se valores para equipamentos simulares. Para a criação dos perfis de funcionamento dos equipamentos, dado que existem equipamentos dentro do mesmo espaço com tempos de funcionamento distintos e, uma vez que não se conhece a hora do dia em que estes são utilizados, para os equipamentos cuja utilização corresponde muitas vezes a metade do horário de funcionamento, foi feita uma ponderação em função da potência térmica e do tempo de funcionamento. Os perfis de funcionamento utilizados na simulação encontram-se no Anexo 6.

Tabela 11 - Estimativa do tempo de funcionamento dos equipamentos.

| Equipamento | Tempo Func. (h) | Equipamento | Tempo Func. (h) |
|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Frigorífico (x2) | 6 | Câmara de fluxo laminar | 4,6 |
| Armário reagentes | 24 | Centrífuga | 4,6 |
| Analizador de TOC/TN | 4,6 | Microscópio com câmara | 4,6 |
| Digestor N Kjeldahl | 4,6 | Balança analítica | 1,4 |
| Destilador N Kjeldahl | 4,6 | Agitador orbital | 4,6 |
| Scrubber N Kjeldahl | 4,6 | Manta aquecimento | 4,6 |
| Computador | 11,2 | (HPLC) | 11,2 |
| Espectrofotômetro de absorção atômica | 1,4 | Espectrofotômetro de UV-Vis | 1,4 |
| Cromatógrafo de Gás (GC) | 4,6 | Computador (x2) | 11,2 |
| Computador | 11,2 | Microscópio com câmara | 4,6 |
| Rotavapor + Bomba vácuo | 4,6 | Bomba vácuo | 11,2 |
| Autoclave | 1,4 | Agitador mecânico | 4,6 |
| Forno | 4,6 | Viscosímetro | 1,4 |
| Hote | 11,2 | | |

3.4.4 Caudais mínimos de ar novo

A Portaria 353-A/2013, de 4 de dezembro, vem estabelecer os valores para os caudais mínimos de ar novo por espaço, assim como as metodologias de cálculo para os dois métodos de ventilação: ventilação natural e ventilação mecânica.

Na aplicação da legislação ao caso de estudo, os caudais mínimos de ar novo irão ser obtidos pela aplicação do método prescritivo, que tem por base a diluição da carga poluente devido à ocupação e atividades que nele decorrem e pelos materiais de construção e mobiliário que o constituem. O valor escolhido será o maior de entre os dois. Estão isentos desta verificação espaços que não possuam ocupação permanente ou que são ocupados por períodos de tempo inferiores a duas horas por dia, e espaços técnicos e locais que sejam sujeitos a requisitos de higiene e segurança no local de trabalho [107].

O valor de caudal mínimo de ar novo a considerar será o maior obtido para as duas cargas poluentes, sempre corrigido pela eficiência da ventilação.

$$Q_{ANf} = \frac{Q_{AN}}{\varepsilon_v} \quad [1]$$

em que:

Q_{ANf} – valor de caudal de ar novo corrigido, (m³/h)

Q_{AN} – valor de caudal de ar novo, (m³/h)

ε_v – valor da eficiência de remoção de poluentes.

Definida a ocupação no ponto anterior, verifica-se que: os módulos laboratoriais (todas as zonas, exceto zona 1 e zona 2, isentas de caudal mínimo de ar novo por serem zonas sem ocupação permanente) terão uma ocupação de 3 pessoas, logo o fator para o cálculo do caudal mínimo de ar novo em função da ocupação irá ser de 35 m³/h.ocupante. Os espaços laboratoriais são espaços onde ocorrem emissões de poluentes específicos, logo o fator para o cálculo do caudal mínimo de ar novo em função da carga poluente irá ser de 5 m³/h.m². Nos módulos laboratoriais, a insuflação irá ser feita pelo teto (tanto de ar quente como de ar frio) e a extração também pelo teto; assim, a eficiência para a remoção de poluentes para situação de arrefecimento é 1, e para a situação de aquecimento é 0,8.

Determinou-se para os módulos laboratoriais o caudal mínimo de ar novo (Tabela 12).

Uma vez que não foi encontrado nenhum documento que indique o valor mínimo de caudal de ar novo para locais de armazenamento de produtos químicos (zona 2), por razões de segurança, irá ser considerado o valor para o caudal mínimo de ar novo de 52 m³/h.

Na zona 6, também irá ser considerado um valor de caudal mínimo de ar novo igual aos restantes módulos laboratoriais (131,25 m³/h), pois pretende-se que esta área seja uma zona técnica dedicada aos fotobiorreatores, com alguma carga térmica associada a bombas de água, à libertação de água por evaporação, odores derivantes das microalgas, e com ocupação permanente.

Tabela 12 - Determinação dos caudais mínimos de ar novo para a carga poluente em função da ocupação (1) e para a carga poluente em função dos materiais de construção e mobiliário do edifício (2).

| | | Situação de Arrefecimento | Situação de Aquecimento |
|---|--|---------------------------|-------------------------|
| Nº. Ocupantes | | 3 | |
| (1) | Caudal ar novo (m ³ /h.ocupante) | 35 | |
| | Caudal ar novo calculado (m ³ /h) | 105 | |
| Área (m ²) | | 10,4 | |
| (2) | Caudal ar novo (m ³ /h.m ²) | 5 | |
| | Caudal ar novo calculado (m ³ /h) | 52 | |
| Caudal ar novo a considerar (m ³ /h) | | 105 | |
| Eficiência de remoção de poluentes | | 1 | 0,8 |
| Caudal ar novo corrigido (m ³ /h) | | 105,00 | 131,25 |

Uma vez que uma das grandes características dos edifícios em LSF é a sua estanquidade ao ar, considera-se para efeitos de preenchimento do HAP que o valor das infiltrações será de zero renovações horárias.

3.4.5 Considerações sobre a envolvente exterior

No HAP, cada zona é definida em função da área de pavimento, do tipo de pavimento (sobre espaço climatizado, enterrado, sobre o solo) e da envolvente em contacto com o exterior. O primeiro passo para o preenchimento do software passa por fazer um levantamento dimensional. Quando à caracterização do tipo de pavimento, como descrito anteriormente este irá ser levantado num mínimo de 60 centímetros do nível do pavimento exterior e fortemente ventilado. No HAP, a única opção que permite a recriação das condições exteriores é considerar o pavimento sobre um espaço não condicionado e considerar as temperaturas máximas e mínimas desse espaço, as consideradas para o exterior.

Um último separador que se deve preencher, refere-se a espaços não uteis, ou seja, não climatizados, em contacto com a zona. No edifício de microbiologia e ambiente o único espaço que não irá ser climatizado é a zona 1, o corredor, pelo que deverá ser preenchido os campos necessários (área, temperaturas e coeficiente de transmissão térmica) em cada zona em contato com o corredor.

Tabela 13

Quando à caracterização do tipo de pavimento, como descrito anteriormente este irá ser levantado num mínimo de 60 centímetros do nível do pavimento exterior e fortemente ventilado. No HAP, a única opção que permite a recriação das condições exteriores é considerar o pavimento sobre um espaço não condicionado e considerar as temperaturas máximas e mínimas desse espaço, as consideradas para o exterior.

Um último separador que se deve preencher, refere-se a espaços não uteis, ou seja, não climatizados, em contacto com a zona. No edifício de microbiologia e ambiente o único espaço que não irá ser climatizado é a zona 1, o corredor, pelo que deverá ser preenchido os campos necessários (área, temperaturas e coeficiente de transmissão térmica) em cada zona em contato com o corredor.

Tabela 13 - Levantamento dimensional dos espaços.

| | | Zona 1 | Zona 2 | Zona 3.1 | Zona 3.2 | Zona 4 | Zona 5.1 | Zona 5.2 | Zona 6 | |
|-----------------------------------|------------------|--------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|------|
| Envolvente opaca vertical | <i>Norte</i> | 2,22 | 14,30 | - | - | - | - | - | - | |
| | <i>Sul</i> | 3,66 | - | - | - | 14,30 | - | - | 14,20 | |
| | <i>Este</i> | - | 4,10 | 4,10 | 2,10 | 4,10 | - | - | - | |
| | <i>Oeste</i> | 2,10 | - | - | - | - | 2,10 | 2,10 | 2,10 | |
| Envolvente opaca horizontal | <i>Cobertura</i> | 31,20 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | |
| | <i>Pavimento</i> | 31,20 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | 10,40 | |
| Envolvente envidraçada | <i>Porta</i> | <i>Este</i> | - | 2,20 | 2,20 | - | 2,20 | - | - | - |
| | | <i>Sul</i> | 2,64 | - | - | - | - | - | - | - |
| | <i>Janela</i> | <i>Este</i> | - | - | - | 4,20 | - | - | - | - |
| | | <i>Oeste</i> | 4,20 | - | - | - | - | 4,20 | 4,20 | 4,20 |
| Divisórias interiores (total) | | 29,94 | 18,71 | 32,58 | 27,94 | 18,27 | 30,58 | 30,58 | 18,90 | |
| Portas interiores (total) | | 2,64 | 2,20 | 2,64 | 2,20 | - | 2,20 | 2,20 | 2,20 | |

Outro parâmetro que se torna necessário preencher e está relacionado com o edifício e os materiais que o constituem é a inércia térmica. A inércia térmica mede o desfasamento entre o ganho efetivo de energia dentro de um espaço, e o aumento de temperatura exterior. Utilizando a metodologia da legislação nacional [97] em que a inércia térmica é dada em função do tipo de envolvente, de valores máximos e das resistências dos revestimentos interior (Tabela 14), é calculada através da expressão:

$$I_t = \sum(M_{si} \cdot S_i \cdot r_i) / A_u (\text{kg/m}^2)$$

em que,

M_{si} – massa superficial útil do elemento i (kg/m^2)

S_i – área da superfície interna do elemento i (m^2)

R_i – fator de correção devido ao revestimento superficial

A_u – área útil do pavimento (m^2).

Dividindo o somatório obtido pela Tabela 14 pela área útil do pavimento, obtém-se uma inércia térmica de $61,68 \text{ kg/m}^2$, o que representa uma classe de inércia baixa. A classe obtida vai de encontro à classe típica de um edifício construído em LSF.

Tabela 14 - Dados auxiliares para o cálculo da inércia térmica.

| Descrição | m_t (kg/m^2) | M_{si} corrigido (kg/m^2) | S_i (m^2) | r_i | $M_{si} \cdot r_i \cdot S_i$ (kg) |
|--|------------------------------|---|------------------------|-------|--------------------------------------|
| Laje de teto | 12 | 12 | 104 | 1 | 1248 |
| Laje de pavimento | 17,16 | 17,16 | 104 | 1 | 1784,64 |
| Parede Interior | 12 | 12 | 210,37 | 1 | 2524,44 |
| Parede exterior | 12 | 12 | 71,48 | 1 | 857,76 |
| $\Sigma (M_{si} \cdot r_i \cdot S_i)$ (kg) | | | | | 6414,84 |

3.4.6 Considerações sobre o sistema de climatização

Uma vez que se pretende climatizar os espaços laboratoriais, zona técnica dos fotobiorreatores e a zona de armazém, mantendo os valores de temperatura e humidade dentro de parâmetros definidos, respeitando os caudais mínimos de ar novo, sabendo que a carga térmica real de um espaço laboratorial estará sempre a oscilar, irá ser utilizada uma unidade de tratamento de ar novo, do tipo VAV (volume de ar variável), sem retorno de ar, equipada com uma bateria de arrefecimento, humidificador, desumidificador e ventilador de exaustão e sistemas de caixas VAV com reaquecimento (Figura 30).

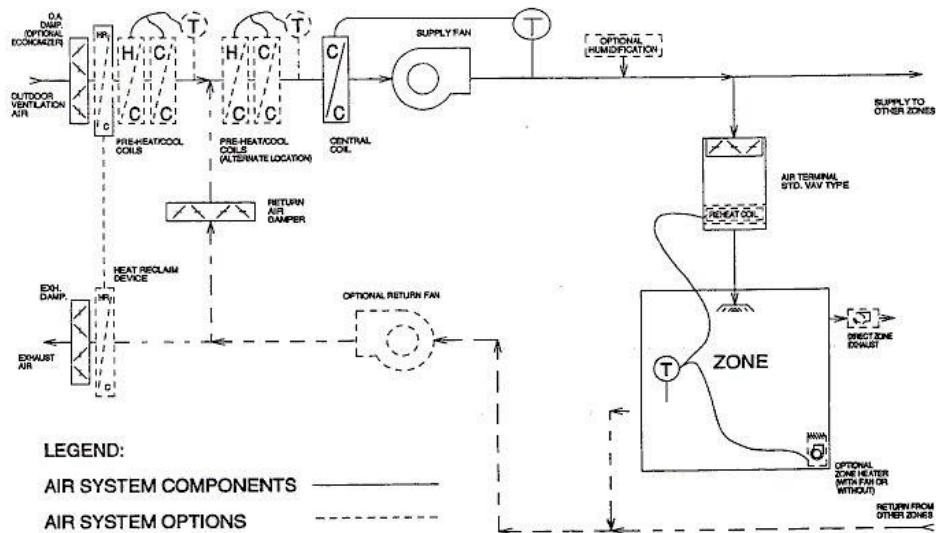


Figura 30 - Esquema do sistema de climatização utilizado no ZELab.

Os parâmetros relevantes e que influenciam os valores de caudal de insuflação utilizados na simulação foram:

- Sistema de controlo – controlo proporcional em função das condições interiores de um espaço, que modelam o caudal de insuflação;
- Humidificação e desumidificação – para a desumidificação irá ser utilizada água quente, enquanto que a humidificação será efetuada através de resistência interna geradora de vapor;
- Bateria de arrefecimento – a bateria irá ser alimentada por água fria a 5 °C e o controlo do caudal de água na bateria irá permitir um melhor controlo das condições interiores dos espaços;
- Cada espaço irá ser equipado com uma caixa que irá permitir, além de modelar o caudal de insuflação, assegurar os caudais mínimos de ar novo; irá estar equipada com aquecimento do ar sempre que necessário através de água quente a fluir numa bateria de aquecimento instalada na caixa; o único espaço que não irá ser equipado com caixa VAV com aquecimento será a zona 2 dada a natureza do espaço;
- Devido à elevada carga térmica do espaço, não irão existir equipamentos de aquecimento espaço a espaço;
- Em relação aos valores do delta de temperaturas permitidos nas baterias (diferença entre o valor de entrada e o valor de saída), utilizou-se para a bateria

de arrefecimento um delta de temperatura de 5 °C e para a bateria de aquecimento um delta de temperatura de 10 °C.

Uma vez que existem equipamentos que durante o seu funcionamento necessitam de extração direta devido aos vapores libertados, pela informação da tabela do Anexo 3, verificou-se que a zona 3.1 necessita de um caudal de extração de 100 l/s (Figura 31), a zona 3.2 de 30,6 l/s e a zona 5.2 de 19,4 l/s. A informação das necessidades de exaustão é introduzida no HAP durante a configuração do sistema de climatização, espaço a espaço, no campo “*Direct Exhaust Airflow*”.

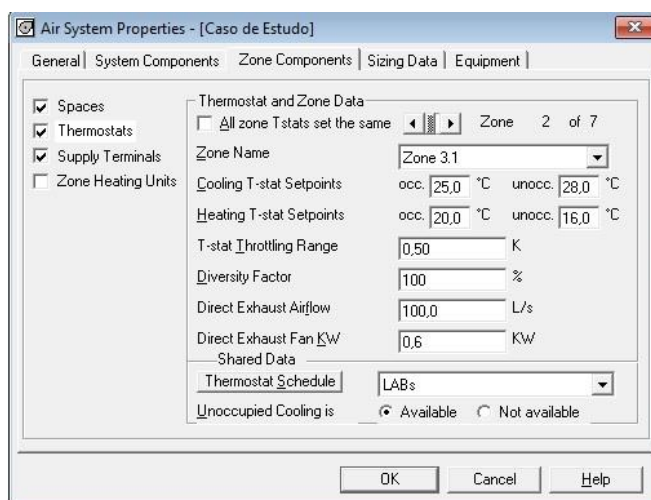


Figura 31 - Configuração do termostato de cada zona.

O sistema “*Direct Exhaust Airflow*” está programado para: se durante o cálculo dos caudais máximos de ventilação o valor inserido exceder o caudal mínimo de ar novo do espaço, este irá ser aumentado para igualar o valor de exaustão e, durante a simulação hora a hora, se o valor do caudal de ar de insuflação baixar para valores abaixo do valor do caudal de extração, este será reduzido para igual ao caudal de insuflação.

3.4.7 Resultados

A primeira simulação realizada pretendeu determinar as cargas térmicas máximas de arrefecimento (Tabela 15) e aquecimento (Tabela 16), espaço a espaço, que são independentes do tipo de equipamento de climatização utilizados. Para a carga térmica de inverno foram consideradas as trocas de calor entre a envolvente e os envidraçados por convecção e condução, não considerando ganhos internos nem ganhos por radiação nos envidraçados. Para a carga térmica de verão consideram-se os

balanços pela envolvente nas três formas de transmissão de energia e ganhos internos da iluminação equipamentos e ocupação.

Após a obtenção dos dados presentes no Anexo 7, resultantes do cálculo das cargas térmicas espaço a espaço, simplificou-se a informação e calculou-se o valor parcial das cargas térmicas, uma vez que os valores obtidos não incluem a carga térmica de ventilação.

Tabela 15 - Carga térmica total de arrefecimento exceto ventilação, espaço a espaço.

| Carga térmica (W) | Zona 2 | Zona 3.1 | Zona 3.2 | Zona 4 | Zona 5.1 | Zona 5.2 | Zona 6 |
|--------------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Envolvente opaca | 33 | 33 | 35 | 15 | 38 | 28 | 46 |
| Envidraçados | 0 | 0 | 142 | 0 | 293 | 212 | 293 |
| Iluminação | 24 | 80 | 80 | 109 | 80 | 44 | 80 |
| Ocupação | 39 | 438 | 438 | 443 | 438 | 424 | 201 |
| Equipamentos | 278 | 1500 | 1298 | 1380 | 1036 | 750 | 600 |
| Total Parcial | 374 | 2051 | 1993 | 1947 | 1885 | 1548 | 1220 |
| CT latente (%) | 7,2 | 11,6 | 11,9 | 12,2 | 14,4 | 16,3 | 19,4 |

Tabela 16 – Carga térmica total de aquecimento exceto ventilação, espaço a espaço.

| Carga térmica (W) | Zona 2 | Zona 3.1 | Zona 3.2 | Zona 4 | Zona 5.1 | Zona 5.2 | Zona 6 |
|--------------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Envolvente opaca | 221 | 166 | 103 | 222 | 120 | 103 | 158 |
| Envidraçados | 0 | 0 | 66 | 0 | 66 | 66 | 66 |
| Total Parcial | 221 | 166 | 169 | 222 | 186 | 169 | 224 |

A etapa seguinte passou por determinar os caudais de insuflação máximos (Tabela 17) coincidentes com o pico de carga térmica de arrefecimento, espaço a espaço em função das condições inseridas no *software*.

Tabela 17 - Caudais máximos de ar necessários para climatizar cada zona.

| | Zona 2 | Zona 3.1 | Zona 3.2 | Zona 4 | Zona 5.1 | Zona 5.2 | Zona 6 |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Caudal máximo (l/s) | 18,1 | 100 | 73,7 | 71,8 | 69,1 | 51,2 | 41,2 |
| Caudal máximo (m ³ /h) | 65,16 | 360 | 265,32 | 258,48 | 248,76 | 184,32 | 148,32 |
| RPH | 2,1 | 11,5 | 8,5 | 8,3 | 8,0 | 5,9 | 4,8 |

Durante a primeira iteração (Figura 32) da qual foram obtidos os valores anteriores, é possível verificar que o sistema estaria a fazer retorno de ar, o que não é o que se pretende. Para tal não acontecer, foram substituídos os valores dos caudais de extração pelos caudais máximos de insuflação.

| ZONE LOADS | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Sep 1600 | | | HEATING DATA AT DES HTG | | |
| | COOLING OA DB / WB 28,0 °C / 21,9 °C | | | HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C | | |
| | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Plenum Wall Load | 0% | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Plenum Roof Load | 0% | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Plenum Lighting Load | 0% | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Return Fan Load | 249 L/s | 0 | - | 151 L/s | 0 | - |
| Ventilation Load | 210 L/s | 724 | 4574 | 135 L/s | 2969 | 643 |
| Supply Fan Load | 371 L/s | 0 | - | 238 L/s | 0 | - |
| Space Fan Coil Fans | - | 0 | - | - | 0 | - |
| Duct Heat Gain / Loss | 0% | 0 | - | 0% | 0 | - |

Figura 32 - Carga térmica de ventilação na primeira iteração.

Da análise dos resultados presentes no Anexo 7, verifica-se que as cargas térmicas dos espaços não ocorrem todas à mesma hora, pelo que a carga térmica máxima que o sistema de climatização centralizado tem de vencer não corresponde ao somatório das cargas térmicas anteriores (Tabela 15). Após a realização da iteração proposta, foi possível determinar o pico da carga térmica máxima, registado no mês de setembro, para o qual o sistema central tem de ser dimensionado, sem fazer retorno de ar

Tabela 18 - Carga térmica de aquecimento e arrefecimento do ZELab.

| Carga térmica (W) | Arrefecimento | | | Aquecimento | | |
|-------------------|---------------|-------------|--------------|-------------|----------|-------------|
| | Sensível | Latente | Total | Sensível | Latente | Total |
| Parciais | 8984 | 1450 | 10434 | 1333 | 0 | 1333 |
| Ventilação | 1336 | 7819 | 9155 | 4196 | 0 | 4193 |
| Total | 10320 | 9269 | 19589 | 5529 | 0 | 5529 |

3.5 Estimativa de consumos

Além da definição do edifício, um dos objetivos do caso de estudo passa pela estimativa dos consumos de energia nas suas várias vertentes: energia elétrica consumida pelos equipamentos, iluminação, aquecimento, arrefecimento e ventilação. Para determinar a energia consumida pela iluminação, em função dos fatores e perfis de utilização determinados, utilizou-se a ferramenta de simulação anual do HAP, através da qual se obteve o gráfico da Figura 33. O consumo anual de energia para iluminação foi estimado em 2007 kWh.

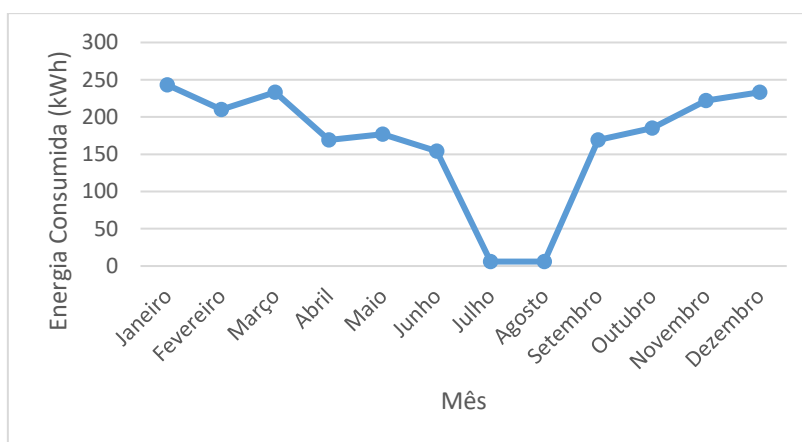


Figura 33 - Consumo de energia elétrica para iluminação.

Utilizando as potências dos equipamentos laboratoriais e os tempos médios de funcionamento indicados, foi possível determinar a quantidade de energia diária consumida: 100 kWh. Pelo gráfico da Figura 34 é possível verificar os consumos de energia elétrica em base mensal, dos equipamentos laboratoriais. Assim, estimou-se o consumo de energia elétrica pelos equipamentos em 20810 kWh.

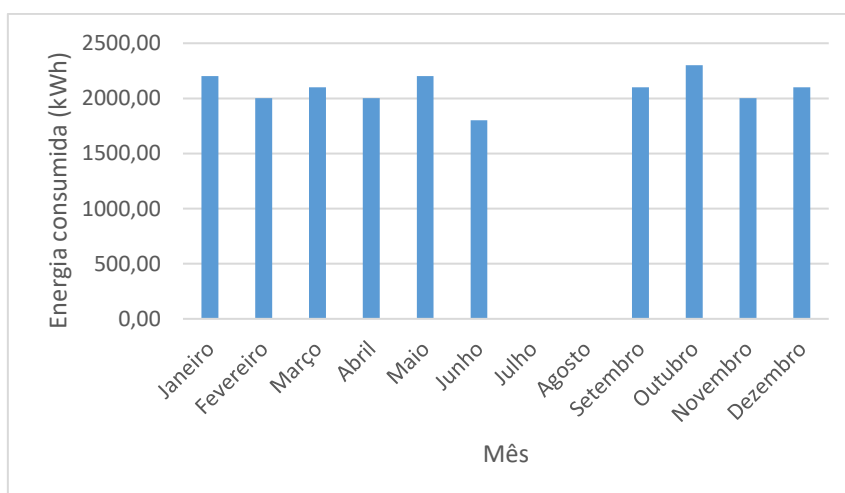


Figura 34 - Energia estimada consumida pelos equipamentos laboratoriais.

Além dos consumos de energia, os equipamentos laboratoriais como o HPLC consomem gases especiais durante o seu funcionamento. Atendendo a que os equipamentos podem funcionar com vários tipos de gases, em função do tipo de atividade realizada, para cada gás possivelmente consumido estimou-se o consumo anual com base no tempo de funcionamento diário e em 208 dias úteis, sendo os valores apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Consumo de gases pelos equipamentos laboratoriais.

| Gás | Consumo (m ³ /ano) | Gás | Consumo (m ³ /ano) |
|--------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Oxigénio 5.0 | 11,48 | Hidrogénio | 0,29 |
| Ar Sintético 5.0 | 11,48 | Hélio | 0,29 |
| Ar Comprimido Seco | 349,73 | Árgon | 0,29 |
| Óxido Nitroso | 279,55 | Metano | 0,29 |
| Acetileno | 174,72 | Nitrogénio UP | 279,84 |

Quanto aos equipamentos de climatização, para se poder comparar a energia consumida pelos sistemas AVAC com a iluminação e equipamentos laboratoriais, seria necessário a escolha dos equipamentos produtores de água fria e água quente para conhecer a energia efetivamente consumida pelos equipamentos de climatização.

No entanto, através dos relatórios de simulação horária ao longo de um ano do HAP é possível determinar a energia útil a fornecer aos diversos componentes das unidades (bateria de aquecimento, bateria de arrefecimento, humidificadores, entre outros).

No software HAP não é possível simular uma UTAN, pelo que a estratégia usada para estimar as necessidades de energia útil será realizar a simulação horária para o caso base (caudais mínimos de ar novo e exaustão necessária em cada espaço iguais aos caudais mínimos de ar novo) e outra simulação em que os caudais de extração irão ser substituídos pelos máximos encontrados anteriormente. Obtidos os dados presentes na Figura 35, verifica-se que para o caso base o consumo de energia da bateria de arrefecimento é maior que o caso proposto; tal diferença deve-se aos maiores volumes de ar que são extraídos dos módulos (maior remoção do calor gerado pelos equipamentos), que levam a menores necessidades de arrefecimento.

| Month | Central Cooling Coil Load (kWh) | Central Heating Coil Load (kWh) | Terminal Heating Coil Load (kWh) | Humidifier Input (kWh) | Month | Central Cooling Coil Load (kWh) | Central Heating Coil Load (kWh) | Terminal Heating Coil Load (kWh) | Humidifier Input (kWh) |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| January | 1820 | 0 | 16 | 0 | January | 1424 | 85 | 16 | 0 |
| February | 1930 | 0 | 12 | 0 | February | 1621 | 49 | 13 | 0 |
| March | 2543 | 0 | 2 | 1 | March | 2221 | 25 | 2 | 0 |
| April | 2661 | 0 | 1 | 2 | April | 2358 | 19 | 1 | 0 |
| May | 3356 | 0 | 0 | 3 | May | 3244 | 9 | 0 | 0 |
| June | 4097 | 0 | 0 | 6 | June | 4283 | 0 | 0 | 0 |
| July | 996 | 0 | 0 | 0 | July | 1030 | 0 | 0 | 0 |
| August | 914 | 0 | 0 | 0 | August | 946 | 0 | 0 | 0 |
| September | 4571 | 0 | 0 | 3 | September | 4907 | 1 | 0 | 0 |
| October | 3667 | 0 | 1 | 0 | October | 3704 | 10 | 1 | 0 |
| November | 2531 | 0 | 8 | 0 | November | 2315 | 29 | 8 | 0 |
| December | 2053 | 0 | 18 | 1 | December | 1724 | 51 | 18 | 0 |
| Total | 31140 | 0 | 59 | 16 | Total | 29777 | 277 | 60 | 0 |

Figura 35 - Energia útil dos componentes do sistema de climatização (à esquerda: para o caso base; à direita: para a solução proposta).

3.6 Considerações finais

Durante a escolha de materiais, optou-se pela escolha de cortiça (em vez de EPS no sistema ETICS) e EPS (em vez de XPS na cobertura) não só por razões estéticas, mas também pelas emissões de CO₂ equivalente incorporados em cada material. Pelos valores apresentados no estudo de Bragança et al. [93], os valores para a emissão de CO₂ equivalente para o XPS é de 21,97 kgCO₂eq/kg, para o EPS é de 2,76 kgCO₂eq/kg e para a cortiça é de -1,46 kgCO₂eq/kg. Na Tabela 20, encontram-se os valores para os quilogramas de CO₂ equivalente para a quantidade de material presente nos módulos de microbiologia e ambiente.

Pela análise dos dados da Tabela 20, verifica-se que a substituição de XPS por EPS na cobertura fez poupar a emissão de 3504,4 kgCO₂eq e a substituição do EPS pela cortiça no sistema ETICS fez poupar a emissão de 700,7 kgCO₂eq.

Tabela 20 - Quantidade de CO₂eq incorporado nos materiais de isolamento.

| Material | Quantidade (kg) | Massa de CO ₂ (kg) |
|---------------------------|-----------------|-------------------------------|
| ICS (cortiça) | 371,8 | -542,8 |
| EPS (cobertura) | 108,16 | 298,5 |
| EPS (Envolvente vertical) | 57,2 | 157,9 |
| XPS (cobertura) | 173,1 | 3803,0 |

Esta abordagem para a seleção dos materiais, deve ser tida em conta para os restantes materiais, pois um edifício *nZEB* não se deve limitar a compensar a energia consumida pela energia produzida localmente; deve sim, desde o início da sua conceção incluir uma extensa verificação dos efeitos de uma decisão no meio ambiente.

No caso da seleção dos equipamentos, estes devem ser escolhidos com especial atenção aos consumos energéticos e aos impactos no sistema de climatização; por exemplo, a escolha de uma *hote* sempre que possível de um sistema de filtragem permite a redução do ar extraído de um espaço poupando energia em climatização. Mas por vezes, os maiores erros são cometidos pelos utilizados do espaço; por exemplo, o uso de uma *hote* com extração mecânica associada, faz com que as renovações horárias de um espaço aumentem, aumentando assim os consumos de energia na climatização. Utilizando a zona 5.1 que está equipada com uma *hote* como referência, a atualização do volume extraído para 500 m³/h que implicam 16

renovações horárias fazendo com que haja um aumento de 286 kWh/ano da energia consumida pela bateria de arrefecimento.

Também a colocação de equipamentos deve ser cuidada e forma a permitir que as cargas térmicas sejam reduzidas; por exemplo, a separação de equipamentos de frio junto de equipamentos produtores de calor, colocação de hotes em espaços confinados a fim de reduzir o volume de ar extraído e, por conseguinte, os gastos em climatização.

Os próprios sistemas de climatização também podem ser otimizados com vista à redução de consumos, como é o caso do uso de *free-cooling*. Na tentativa de baixar a energia consumida pelos elementos de climatização, configurou-se a UTAN para usar *free-cooling* com um valor de corte superior de 25 °C (uma vez que é o valor da temperatura máxima admissível nos espaços durante a estação de arrefecimento) e um valor de corte inferior de 0 °C (devido à elevada carga térmica dos espaços e tendo em conta a temperatura mínima de projeto, a utilização de *free-cooling* na estação de aquecimento pode introduzir uma poupança de energia). Tal como referido anteriormente, irá ser simulado o uso de *free-cooling* no caso base e no caso proposto. O uso de *free-cooling* é ativado sempre que a temperatura do ar de extração é superior à temperatura do ar exterior, sendo modelado o registo de forma a eliminar a necessidade de arrefecimento mecânico.

Comparando os resultados obtidos, Figura 36, com os resultados da energia útil dos componentes sem *free-cooling* apresentados anteriormente, verifica-se que existem, nas duas situações potenciais poupanças de energia: no caso base verifica-se uma redução de 4597 kWh e no caso proposto uma redução de 1948 kWh de energia útil necessária para arrefecimento dos espaços.

| Month | Central Cooling Coil Load (kWh) | Central Heating Coil Load (kWh) | Terminal Heating Coil Load (kWh) | Humidifier Input (kWh) |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| January | 946 | 0 | 16 | 0 |
| February | 1212 | 0 | 13 | 0 |
| March | 1834 | 0 | 2 | 0 |
| April | 2061 | 0 | 1 | 1 |
| May | 3049 | 0 | 0 | 3 |
| June | 4056 | 0 | 0 | 6 |
| July | 996 | 0 | 0 | 0 |
| August | 914 | 0 | 0 | 0 |
| September | 4549 | 0 | 0 | 3 |
| October | 3523 | 0 | 1 | 0 |
| November | 2054 | 0 | 8 | 0 |
| December | 1348 | 0 | 18 | 1 |
| Total | 26543 | 0 | 59 | 15 |

| Month | Central Cooling Coil Load (kWh) | Central Heating Coil Load (kWh) | Terminal Heating Coil Load (kWh) | Humidifier Input (kWh) |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| January | 1098 | 85 | 16 | 0 |
| February | 1306 | 49 | 13 | 0 |
| March | 1882 | 25 | 2 | 0 |
| April | 2096 | 19 | 1 | 0 |
| May | 3113 | 9 | 0 | 0 |
| June | 4257 | 0 | 0 | 0 |
| July | 1030 | 0 | 0 | 0 |
| August | 945 | 0 | 0 | 0 |
| September | 4897 | 1 | 0 | 0 |
| October | 3653 | 10 | 1 | 0 |
| November | 2110 | 29 | 8 | 0 |
| December | 1441 | 51 | 18 | 0 |
| Total | 27829 | 277 | 60 | 0 |

Figura 36 - Energia útil dos componentes do sistema de climatização utilizando free cooling (à esquerda: para o caso base; à direita: para a solução proposta).

Para simular a tecnologia fotovoltaica de modo a estimar a energia elétrica produzida, utilizou-se a ferramenta disponibilizada pela Comissão Europeia, PVGIS [108].

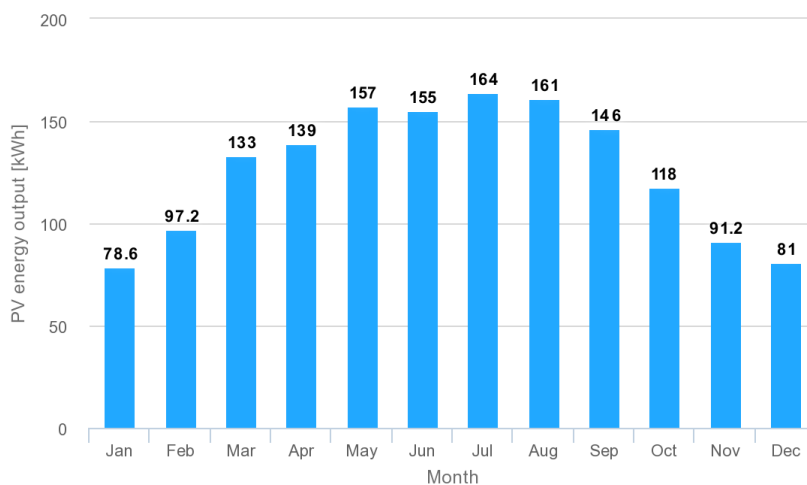


Figura 37 - Estimativa da produção de energia elétrica mensal por via fotovoltaica utilizando o PVGIS.

Utilizando um sistema fotovoltaico fixo, constituído por 4 módulos fotovoltaicos cristalinos de 250 W (1 kW de potência de pico), uma perda total no sistema de 15%, voltados a sul, e utilizando a opção de otimização do ângulo de inclinação, foi possível obter uma produção de energia elétrica de 1520 kWh/ano (Figura 37), para um ângulo de inclinação ótimo de 35°.

Tomando como exemplo a energia elétrica necessária para a alimentação dos equipamentos laboratoriais, 20810 kWh/ano, a energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico apresentado, representaria apenas 7,30% do valor necessário.

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES

Tal como demonstrado no estado da arte, existem diversas áreas que podem contribuir para a obtenção de um edifício nZEB. A dificuldade em realizar os dimensionamentos necessários à obtenção de um edifício nZEB torna-se evidente, uma vez que envolve diversas áreas do conhecimento (estrutural, civil, elétrica, automação, climatização), sendo necessária uma equipa multidisciplinar para o efeito. Em relação à solução construtiva adotada, verifica-se que os valores de coeficiente de transmissão térmica são inferiores em cerca de metade aos valores regulamentares e, no caso dos envidraçados, cerca de 65% inferiores.

No caso em específico de um laboratório de microbiologia e ambiente, a carga térmica com maior relevância é a carga térmica dos equipamentos. Muitos equipamentos incluem “fornos” a altas temperaturas, que libertam valores elevados de calor, mas por sua vez a utilização desses mesmos equipamentos é difícil de prever pois depende do procedimento a adotar e também do fator de simultaneidade de utilização.

O edifício de microbiologia e ambiente proposto têm uma área de implantação de 135,20 m², composto por 10 módulos de 5,2 metros de comprimento, 2,6 metros de largura e 3,6 metros de altura, elevado no mínimo a 60 centímetros do solo para criação de uma zona técnica de armazenamento e passagem de tubagem. No interior as infraestruturas estarão à vista. O edifício encontra-se dividido por diversas áreas: corredores de acesso, armazenamento de suporte às atividades, uma zona técnica de apoio aos fotobiorreatores instalados na fachada oeste e, 5 zonas de investigação. A solução proposta para a construção consiste na utilização de estrutura em aço, com a utilização de painéis de OSB pelo exterior, gesso cartonado pelo interior, lâ-de-rocha entre os painéis e capoto pelo exterior utilizando painéis de cortiça, sendo este o acabamento.

No caso do *ZELab*, estima-se que o consumo de energia elétrica consumida pela iluminação seja cerca de 2007 kWh/ano e dos equipamentos laboratoriais seja cerca de 20810 kWh/ano. Uma vez que não se encontram dimensionados os sistemas de climatização, não é possível comparar os valores de energia consumida com os apresentados anteriormente diretamente. No entanto, dado que se estimou uma energia útil com uso de *free-cooling* entre 26543 kWh/ano e 27829 kWh/ano para a

bateria de arrefecimento. Tendo em conta os valores anteriores, prevê-se que os consumos dos sistemas de climatização (equipamentos produtores de água fria, água quente, ventiladores de extração e de insuflação) sejam bastante elevados.

4.1 Proposta de trabalhos futuros

Uma possível proposta de trabalhos futuros passa pelo estudo da estrutura de cada módulo capaz de ser executado, permitindo a criação de um layout final.

Um dos grandes problemas no estudo da climatização de um espaço laboratorial é conhecer a carga térmica dos equipamentos. Um trabalho futuro seria a análise do tipo de atividade que se desenrola num laboratório de microbiologia e ambiente, e atividade a atividade, obter a energia térmica latente e sensível libertada.

Por último, outro estudo a realizar com base nos valores obtidos das simulações, seria o do uso de equipamentos de climatização de forma a conseguir climatizar o espaço com o consumo energético o mais baixo possível.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] ONU, 'Report of the United Nations Conference of the Human Environmento', Stockholm, 1972.
- [2] ONU, 'Our Common Future', 1987.
- [3] Agência Portuguesa do Ambiente, 'Protocolo de Quioto', 2017. [Online]. Available:
<https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>. [Accessed: 22-Jun-2017].
- [4] ONU, 'Kyoto Protocol', 2014. [Online]. Available:
http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php. [Accessed: 22-Jun-2017].
- [5] Agência Portuguesa do Ambiente, 'Política Climática UE 2020', 2017. [Online]. Available:
<https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=506>. [Accessed: 22-Jun-2017].
- [6] EUROSTAT, 'Complete energy balances - annual data [nrg_110a]', 2018. [Online]. Available:
http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_110a&lang=en. [Accessed: 22-Jun-2017].
- [7] International Energy Agency, 'IEA finds CO2 emissions flat for third straight year even as global economy grew in 2016', 2017. [Online]. Available:
<https://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/iea-finds-co2-emissions-flat-for-third-straight-year-even-as-global-economy-grew.html>. [Accessed: 22-Jun-2017].
- [8] International Energy Agency, 'Climate change', 2017. [Online]. Available:
<http://www.iea.org/topics/climatechange/>. [Accessed: 22-Jun-2017].
- [9] Comissão Europeia, 'Plano de Eficiência Energética de 2011', 2011.
- [10] M. Economidou, J. Laustsen, P. Ruysevelt, and D. Staniaszek, *Europe 'S Buildings Under the Microscope*. 2011.
- [11] E. Grigoropoulos, D. Anastaselos, S. Nižetić, and A. M. Papadopoulos, 'Effective ventilation strategies for net zero-energy buildings in Mediterranean climates', *Int. J. Vent.*, vol. 3315, no. July, pp. 1–17, 2016.
- [12] Jornal Oficial da União Europeia, 'Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho', pp. 13–35, 2010.
- [13] European Commission, 'Relatório Da Comissão Ao Parlamento Europeu E Ao Conselho', p. 18, 2017.
- [14] European Commission, 'Commission welcomes final vote on energy performance of buildings', Brussels, p. 2, 17-Apr-2018.
- [15] B. Tulsi, 'Modular Labs Going Mainstream', *Lab Des. Furnishings*, no. October, p.

- 44, 2010.
- [16] F. Cardoso, 'Edifícios e Energia - NZEB: Uma definição incompleta para um conceito em evolução', pp. 1–4, 2016.
- [17] R. Ascenso, 'O que vai mudar com os NZEB?', *Tema Capa*, p. 5, 2012.
- [18] Building Performance Institute Europe (BPIE), 'Nearly Zero Energy Buildings in Europe', *Energy*, no. February, pp. 18–22, 2010.
- [19] Ministério Da Economia, 'Decreto-Lei n.º 28/2016', *Diário da República. 1ª série*, vol. 119, no. 23 de junho, pp. 1945–1966, 2016.
- [20] V. D. M. Rodrigues, 'Avaliação do Ciclo de Vida de uma Unidade Industrial: uma Avaliação da Pegada de Carbono e da Intensidade Energética da Obra', 2017.
- [21] R. M. M. Fonseca, 'Desenvolvimento e aplicação do conceito nZEB em construções de habitação modular', Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [22] E. Antonini, D. Longo, and V. Gianfrate, 'Towards nZEB: Modular pre-assembled steel systems for residential buildings', *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 142, pp. 349–360, 2014.
- [23] N. Soares, P. Santos, H. Gervásio, J. J. Costa, and L. Simões da Silva, 'Energy efficiency and thermal performance of lightweight steel-framed (LSF) construction: A review', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 78, no. April, pp. 194–209, 2017.
- [24] V. C. G. N. D. de Matos, 'Edifícios de Energia Quase Zero : A cortiça como caso de estudo Arquitectura Júri', Instituto Superior Técnico, 2015.
- [25] E. Korol and N. Shushunova, 'Benefits of A Modular Green Roof Technology', *Procedia Eng.*, vol. 161, pp. 1820–1826, 2016.
- [26] F. Ascione *et al.*, 'Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate : Performance analysis of residential case study', *Appl. Energy*, vol. 183, pp. 938–957, 2016.
- [27] ecotelhado, 'ecotelhado'. [Online]. Available: <https://ecotelhado.com/telhados-verdes-o-que-sao-e-como-podem-ser/>. [Accessed: 11-Nov-2017].
- [28] M. Kamali and K. Hewage, 'Life cycle performance of modular buildings: A critical review', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 1171–1183, 2016.
- [29] Como fazer uma casa, 'Como fazer uma casa', 2016. [Online]. Available: <http://domsdelat.ru/krasivie-doma/kak-sdelat-sbornno-razbornyj-domik-svoimi-rukami.html>. [Accessed: 12-Nov-2017].
- [30] J. M. Schoenborn, 'A Case Study Approach to Identifying the Constraints and Barriers to Design Innovation for Modular Construction', Virginia Polytechnic Institute and State University, 2012.
- [31] Industrial Zombie, 'Industrial Zombie', 2016. [Online]. Available: <https://www.inzombie.com/califon-quick-house>.

- [32] M. Varela, 'A casa modular vista na perspectiva do engenheiro mecânicoento provisório', Universidade de Aveiro, 2015.
- [33] L. Normango - Reabilitação de Edifícios, 'Light Steel Framing', 2017. [Online]. Available: <http://lightsteelframing.pt/lsf-aco-leve/conceito/>. [Accessed: 12-Nov-2017].
- [34] APSEI, 'Ficha Técnica nº 40'. APSEI, p. 2, 2012.
- [35] R. A. Leal, 'Construção modular em LSF – Estudo do comportamento térmico passivo', Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, 2015.
- [36] J. Figueira, A. Figueiredo, R. Vicente, F. Rodrigues, and R. Maio, 'Passive houses thermal and energy behaviour simulation', *40th IAHS World Congr. Hous.*, no. July 2015, pp. 1–10, 2014.
- [37] A. Brambilla, 'VELUXLab: innovation between art and science', no. January 2013, 2016.
- [38] C. Bovisa, 'BOVISA , Milano - Campus Bovisa, 2012', 2012.
- [39] P. Dupeyrat, C. Ménézo, and S. Fortuin, 'Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system', *Energy Build.*, vol. 68, no. PART C, pp. 751–755, 2014.
- [40] C. Good, J. Chen, Y. Dai, and A. G. Hestnes, 'Hybrid Photovoltaic-thermal Systems in Buildings - A Review', *Energy Procedia*, vol. 70, no. 1876, pp. 683–690, 2015.
- [41] Systovi, 'Brochure R-VOLT PLUS', 2016. [Online]. Available: http://www.systovi.com/wp-content/uploads/2016/08/Brochure_R-VOLT_PLUS_EN.pdf. [Accessed: 22-Jul-2017].
- [42] Systovi, 'Brochure R-VOLT', 2015. [Online]. Available: http://www.systovi.com/wp-content/uploads/2015/07/brochure_r-volt_ENG.pdf. [Accessed: 22-Jul-2017].
- [43] M. Freitag and G. Boschloo, 'The revival of dye-sensitized solar cells', *Curr. Opin. Electrochem.*, vol. 2, no. 1, pp. 111–119, 2017.
- [44] S. Dai *et al.*, 'The design and outdoor application of dye-sensitized solar cells', vol. 361, pp. 786–791, 2008.
- [45] S. Sharma, Bulkesh Siwach, S. K. Ghoshal, and D. Mohan, 'Dye sensitized solar cells: From genesis to recent drifts', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 70, no. December 2016, pp. 529–537, 2017.
- [46] J. W. Lee, J. Park, and H. J. Jung, 'A feasibility study on a building's window system based on dye-sensitized solar cells', *Energy Build.*, vol. 81, pp. 38–47, 2014.
- [47] S. Yoon, S. Tak, J. Kim, Y. Jun, K. Kang, and J. Park, 'Application of transparent dye-sensitized solar cells to building integrated photovoltaic systems', *Build. Environ.*, vol. 46, no. 10, pp. 1899–1904, 2011.

- [48] M. Carnie, T. Watson, and D. Worsley, 'UV filtering of dye-sensitized solar cells: The effects of varying the UV cut-off upon cell performance and incident photon-to-electron conversion efficiency', *Int. J. Photoenergy*, vol. 2012, 2012.
- [49] Gcell, 'No Title'. [Online]. Available: <http://gcell.com/product/gratzel-solar-backpack-2>. [Accessed: 09-Sep-2017].
- [50] Nissha, 'No Title'. [Online]. Available: http://www.nissha.com/english/news/2013/02/25as_1.html. [Accessed: 09-Sep-2017].
- [51] SwissTech Convention Center, 'The SwissTech Convention Center & Sustainability'. *Repro - Print Center EPFL*, p. 2, 2014.
- [52] Romande Energie, 'EPFL's campus has the world's first solar window', *MEDIACOM*, 2013. [Online]. Available: <https://actu.epfl.ch/news/epfl-s-campus-has-the-world-s-first-solar-window/>. [Accessed: 25-Oct-2017].
- [53] Z. Baicha *et al.*, 'A critical review on microalgae as an alternative source for bioenergy production: A promising low cost substrate for microbial fuel cells', *Fuel Process. Technol.*, vol. 154, pp. 104–116, 2016.
- [54] C. A. L. da Rocha, 'Cultivo de microalgas: dimensionamento de uma instalação do tipo raceway pond', ISEP-IPP, 2016.
- [55] J. C. M. Pires, M. C. M. Alvim-Ferraz, and F. G. Martins, 'Photobioreactor design for microalgae production through computational fluid dynamics: A review', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. November 2016, pp. 248–254, 2017.
- [56] M. Faried, M. Samer, E. Abdelsalam, R. S. Yousef, Y. A. Attia, and A. S. Ali, 'Biodiesel production from microalgae: Processes, technologies and recent advancements', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. July 2016, pp. 893–913, 2017.
- [57] D. Bilanovic, M. Holland, J. Starosvetsky, and R. Armon, 'Co-cultivation of microalgae and nitrifiers for higher biomass production and better carbon capture', *Bioresour. Technol.*, vol. 220, pp. 282–288, 2016.
- [58] Biotechnological and Environmental Applications of Microalgae, 'Large-scale Algal Culture Systems'. [Online]. Available: <http://www.bsb.murdoch.edu.au/groups/beam/BEAM-Appl4a.html>. [Accessed: 29-Oct-2017].
- [59] V. Mora, 'SolarLeaf. Fachada de algas bio-reactivas', *SOSTENIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL, TECNOLOGIA*, 2014. [Online]. Available: <http://www.morethangreen.es/solarleaf-solar-leaf-fachada-de-algas-bio-reactivas/>. [Accessed: 20-Jul-2017].
- [60] S. G. Colt International, Arup, 'SolarLeaf: bioreactor façade'. p. 3, 2013.
- [61] B. A. G. Bossink, 'Demonstrating sustainable energy: A review based model of sustainable energy demonstration projects', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. April 2016, pp. 1349–1362, 2017.

- [62] C. To, J. Li, and M. Kam, 'Towards Zero Carbon in a Hot and Humid Subtropical Climate', *Procedia Eng.*, vol. 180, pp. 413–422, 2017.
- [63] D. Allison, 'Campus Resiliency Through On-site Reuse - WaterWorld', no. 6, pp. 6–11, 2016.
- [64] ASHRAE, '2005 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)', in *2005 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)*, 2005.
- [65] M. C. Felgueiras, R. Santos, L. M. Fonseca, and N. S. Caetano, 'Buildings Sustainability: The HVAC Contribution', *J. Clean Energy Technol.*, vol. 4, no. 5, pp. 375–379, 2015.
- [66] G. A. Faggianelli, A. Brun, E. Wurtz, and M. Muselli, 'Natural cross ventilation in buildings on Mediterranean coastal zones', *Energy Build.*, vol. 77, pp. 206–218, 2014.
- [67] H. M. Taleb, 'Natural ventilation as energy efficient solution for achieving low-energy houses in Dubai', *Energy Build.*, vol. 99, pp. 284–291, 2015.
- [68] B. Chenari, J. Dias Carrilho, and M. Gameiro Da Silva, 'Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, pp. 1426–1447, 2016.
- [69] T. Schulze and U. Eicker, 'Controlled natural ventilation for energy efficient buildings', *Energy Build.*, vol. 56, pp. 221–232, 2013.
- [70] Faber Maunsell Ltd, 'Control Strategies for Hyrib Ventilation in New and Retrofitted Office and Education Buildings (HYBVENT)', 2006.
- [71] M. Thalfeldt, J. Kurnitski, and A. Mikola, 'Nearly zero energy office building without conventional heating', *Est. J. Eng.*, vol. 19, no. 4, pp. 309–328, 2013.
- [72] R. Khanal and C. Lei, 'Solar chimney-A passive strategy for natural ventilation', *Energy Build.*, vol. 43, no. 8, pp. 1811–1819, 2011.
- [73] J. Martí-Heras and M. R. Herra, 'Dynamic physical model for a solar chimney', *Sol. Energy*, vol. 81, pp. 614–622, 2006.
- [74] L. Moosavi, N. Mahyuddin, N. Ab Ghafar, and M. Azzam Ismail, 'Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 34, pp. 654–670, 2014.
- [75] L. Wang and S. Greenberg, 'Window operation and impacts on building energy consumption', *Energy Build.*, vol. 92, pp. 313–321, 2015.
- [76] S. Pan *et al.*, 'Energy Waste in Buildings Due to Occupant Behaviour', *Energy Procedia*, vol. 105, no. 0, pp. 2233–2238, 2017.
- [77] R. Ciriminna, F. Meneguzzo, M. Pecoraino, and M. Pagliaro, 'Solar Air Heating and Ventilation in Buildings: A Key Component in the Forthcoming Renewable Energy Mix', *Energy Technol.*, vol. 5, no. 8, pp. 1165–1172, 2017.
- [78] M. K. Kim, L. Baldini, H. Leibundgut, J. A. Wurzbacher, and N. Piatkowski, 'A novel ventilation strategy with CO₂ capture device and energy saving in

- buildings', *Energy Build.*, vol. 87, pp. 134–141, 2015.
- [79] V. Lucas, 'Construção Sustentável - Sistema de avaliação e certificação', Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.
- [80] IHRU - Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, 'Portal da Habitação', 2016. [Online]. Available: <https://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/habitacao/construcao/construcao-sustentavel.html>. [Accessed: 13-Mar-2018].
- [81] Associação Passivhaus Portugal - PHPT, 'Passivhaus Portugal', 2013. [Online]. Available: <http://www.passivhaus.pt/projectos.html>. [Accessed: 12-Jul-2017].
- [82] J. Ferreira, M. D. Pinheiro, and J. Brito, 'Comparação das ferramentas nacionais de avaliação da sustentabilidade na construção com o BREEAM e o LEED - uma perspetiva energética', *Nº 43*, p. 23, 2012.
- [83] A. Rezaallah, C. Bolognesi, and R. A. Khoraskani, 'LEED and BREEAM; Comparison between policies, assessment criteria and calculation methods', *PhD Propos.*, vol. 1, no. May 2012, 2015.
- [84] BRE Global Limited, 'BREEAM International New Construction 20116'. Reino Unido, p. 454, 2016.
- [85] E. Bernardi, S. Carlucci, C. Cornaro, and R. Bohne, 'An Analysis of the Most Adopted Rating Systems for Assessing the Environmental Impact of Buildings', *Sustainability*, vol. 9, no. 7. p. 1226, 2017.
- [86] USGBC, 'Checklist: LEED v4 for Building Design and Construction', 2016. [Online]. Available: <https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-checklist>. [Accessed: 10-May-2018].
- [87] M. D. Pinheiro, 'LiderA - Sistema Voluntário para a Sustentabilidade dos Ambientes Construídos'. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, p. 48, 2011.
- [88] C. Giarma, K. Tsikaloudaki, and D. Aravantinos, 'Daylighting and Visual Comfort in Buildings' Environmental Performance Assessment Tools: A Critical Review', *Procedia Environ. Sci.*, vol. 38, pp. 522–529, 2017.
- [89] R. Mateus and L. Bragança, 'Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTToolPT-H', *Build. Environ.*, vol. 46, no. 10, pp. 1962–1971, 2011.
- [90] J. Craig Venter Institute, 'J. Craig Venter Institute - La Jolla'. p. 40.
- [91] T. NINMANN, 'Building the World's First Net-Zero Energy Lab', *forconstructionpros.com*, 2014. [Online]. Available: <http://www.forconstructionpros.com/home/article/11466423/building-the-worlds-first-netzero-energy-lab>. [Accessed: 19-Jul-2017].
- [92] P. Henriques and V. Matos, 'The nZEB buildings : Cork , as case study', vol. 2012, no. Un 1998, 2012.
- [93] C. O. Augusto, L. Bragança, and M. Almeida, 'Materiais de isolamento térmico de

- edifícios. Para além da energia operacional Carlos', pp. 561–570, 2015.
- [94] P. e das Infraestruturas, 'Decreto-Lei n.º 132/2017', *Diário da República Série I*, vol. 196, no. 11-10–2017, pp. 5638–5647, 2017.
- [95] G. A. Poças, 'Construção de Edifícios de Habitação em Light Steel Framing - Alternativa viável à construção tradicional', UNIVERSIDADE LUSÓFONA DO PORTO FACULDADE, 2013.
- [96] J. Pires, 'O método prescritivo na construção de moradias em aço leve', Instituto Superior Técnico, 2013.
- [97] S. e S. S. e E. Trabalho, 'Portaria n.º 17-A/2016', *Diário da República n.º 24/2016, 1º Supl. Série I*, vol. 17–A/2016, no. 04-02-2016, p. 378–(2) a 378 (56), 2016.
- [98] Cortizo, 'Millennium FR door', 2017. [Online]. Available: <https://www.cortizo.com/en/sistemas/ver/68/millennium-fr-door.html>. [Accessed: 26-Sep-2018].
- [99] Cortizo, 'Cor 80 Industrial RPT', 2017. [Online]. Available: <https://www.cortizo.com/en/sistemas/ver/78/cor-80-industrial-rpt.html>. [Accessed: 25-Sep-2018].
- [100] C. Mendes, R. Guerreiro, C. Santos, and J. Paiva, 'Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-Dia', Lisboa, 1898.
- [101] Organização Mundial de Saúde, 'Manual de segurança biológica em laboratório', p. 215, 2004.
- [102] Pacific Gas and Electric Company, *High Performance Laboratories*, no. January. 2011.
- [103] A. McCann, 'Energy Efficiency in Laboratory Buildings', University of Strathclyde, Glasgow, U.K.
- [104] 'Labs21 Benchmarking Tool', 2018. [Online]. Available: <https://labs21benchmarking.lbl.gov/>. [Accessed: 25-Sep-2018].
- [105] D. Frenze, S. Greenberg, P. Mathew, and D. Sartor, 'Laboratories for the 21st Century: Best Practice Guide. Right-Sizing Laboratory Equipment Loads', *Environ. Prot.*, vol. August, pp. 1–8, 2005.
- [106] A. Borges, 'Implementação da norma NP EN ISO 50001 no ISEP – requisitos específicos dos edifícios B, G e H', ISEP-IPP, 2016.
- [107] E. e S. S. Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, 'Portaria n.º 353-A/2013', *Diário da República. 1ª série*, vol. 353–A, no. 12-04-2013, p. 6644–(2) a 6644–(9), 2013.
- [108] European Commission, 'Photovoltaic Geographical Information System', 2018. [Online]. Available: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. [Accessed: 29-Sep-2018].
- [109] IEA, 'Overview of PV/Thermal Solar System Products and Projects' . .

ANEXOS

6.1 Anexo 1

6.2 Anexo 2

6.3 Anexo 3

6.4 Anexo 4

6.5 Anexo 5

6.6 Anexo 6

6.7 Anexo 7

6 ANEXOS

Em baixo, segue a descrição do conteúdo de cada anexo.

Anexo 1 – Excerto da publicação da IEA, intitulada “Overview of PV/Thermal Solar System Products and Projects” pertencente ao programa Solar Heating & Cooling Programme [109].

Anexo 2 – Descrição do biorreator de fachada SolarLeaf.

Anexo 3 – Equipamentos laboratoriais considerados no cálculo das cargas térmicas.

Anexo 4 – Imagens ilustrativas do edifício.

Anexo 5 – Tabela de materiais utilizados no caso de estudo.

Anexo 6 – Perfis de utilização

Anexo 7 – Excerto das simulações.

6.1 Anexo 1

De seguida apresenta-se um excerto da publicação da IEA, intitulada “Overview of PV/Thermal Solar System Products and Projects”, pertencente ao programa Solar Heating & Cooling Programme [109].

| Ref.No | Manufacturer/Reference | Product/Project Name | Country | Category | Type | Characteristics | Integrated in roof | Integrated in facade | Separate Module | Year | Thermal Output | Electrical Output | Thermal Efficiency [%] | Electrical Efficiency [%] |
|--|--------------------------------|--|-------------|--------------------------------|----------------|--|--------------------|----------------------|-----------------|---|--|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Overview of PV/Thermal Solar System products and projects | | | | | | | | | | | | | | |
| Commercial standard products | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Conserval Engineering Inc. | SolarRoof PVSOLARWALL | Canada | PVT air collector | Transpired air | A solar wall with PV cells on top. The solar wall is perforated to make an uniform and effective air flow around each PV panel, removing excess heat. The hot air is used for heating a building. Each system is designed to fit building requirements. | No | No | Yes | First plant built in 1938 | 500 Wp/m ² | N/A | Overall efficiency approx. 50% | Overall efficiency approx. 50% |
| 5 | Millenium Electric T.O.U. Ltd. | MSS® Multi solar panel | Israel | PVT liquid collector (and air) | Un glazed | Un glazed flat plate solar collector with PV cells integrated on top of the panel. Underneath the PV cells the water based collector is placed. Under the collector a heat exchanger is integrated heating up air. The water can be used for hot water in the building, the air for space heating/cooling. | No | No | Yes | N/A | 300 Wp/m ² (air) 300 Wp/m ² (water) | 150 Wp/m ² | 30% (air) 30% (water) | 14% |
| 6 | PYTWINS | PYTWIN 212 PYTWIN 313 PYTWIN 422 PYTWIN 515 PYTWIN 616 PYTWIN 623 PYTWIN 824 PYTWIN 1025 | Netherlands | PVT liquid collector | Glazed | Glazed sheet-and-tube PVT collector - can be integrated in roof | Yes | N/A | Yes | 2004 | 150 W 220 W 295 W 370 W 440 W 440 W 590 W 735 W Approx. 333 kWh/(m ² ·year) | 765 W 1150 W 1535 W 1920 W 2300 W 2300 W 3012 W 3840 W Approx. 117 Wp/m ² | N/A | Approx. 11.7% |
| 9 | Grammer Solar GmbH | TWINSOLAR 2.0 TWINSOLAR 4.0 TWINSOLAR 6.0 TWINSOLAR 8.0 TWINSOLAR 10.0 TWINSOLAR 4.5 TWINSOLAR 8.5 TWINSOLAR 12.5 | Germany | PVT air collector | N/A | Panel combining an air solar collector with a smaller PV cells area driving a ventilator blowing fresh hot air into a residence. For use as ventilation in cabin or summer house. Available in different sizes (2-12,5 m ²). | No | No | Yes | First plant built in 1938. Prices from August 2005, including mounting package. | 600 W/m ² at (1000 W/m ² irr.) | 3-13 Wp/m ² | 60% | 0.3 - 1.3% |

6.2 Anexo 2

O biorreator de fachada SolarLeaf [59], [60] tem uma dimensão de 2,5 m por 0,7 m sendo do tipo placas paralelas caracterizado por vidro laminado com 18 milímetros de espaçamento entre as placas, contando com uma capacidade de 24 litros.

Cada biorreator é enchido com água, nutrientes e biomassa; ar comprimido é introduzido no fundo de cada biorreator em intervalos de tempo definidos. A bolha de ar introduzida cria um fluxo ascendente que estimula as microalgas a absorverem CO₂ e a radiação solar. Ao mesmo tempo, a parte interior dos painéis é lavada pela mistura de água e ar.

Os biorreatores requerem mínima manutenção e o calor gerado pelo aquecimento da água pode ser utilizado para água quente sanitária, ou então quando em excesso, guardado e a biomassa pode ser usada para gerar energia, mas também pode ser usada na indústria alimentar, cosmética e farmacêutica. A vantagem da biomassa comparada com a produção fotovoltaica de energia é que a energia da biomassa pode ser mais facilmente guardada sem ser necessária a utilização de tecnologias caras, como as baterias.

Uma das características do SolarLeaf é poder rodar sobre o eixo vertical seguindo assim a posição do Sol. Como pode ser instalado como fachada secundária, permite também a diminuição da carga térmica de arrefecimento, formando uma barreira térmica.

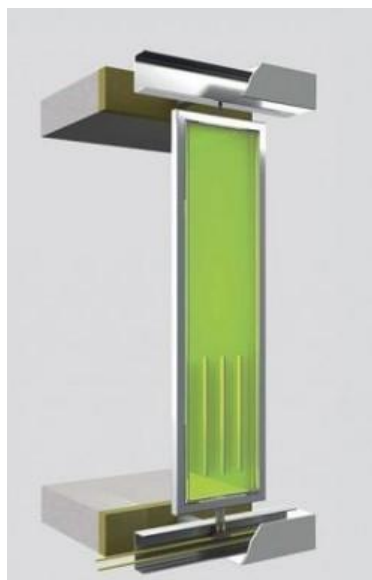


Figura 38 - Fotobiorreator SolarLeaf [60]

6.3 Anexo 3

De seguida apresenta-se a distribuição dos equipamentos (e suas características) pelos diversos espaços (compartimentos) laboratoriais.

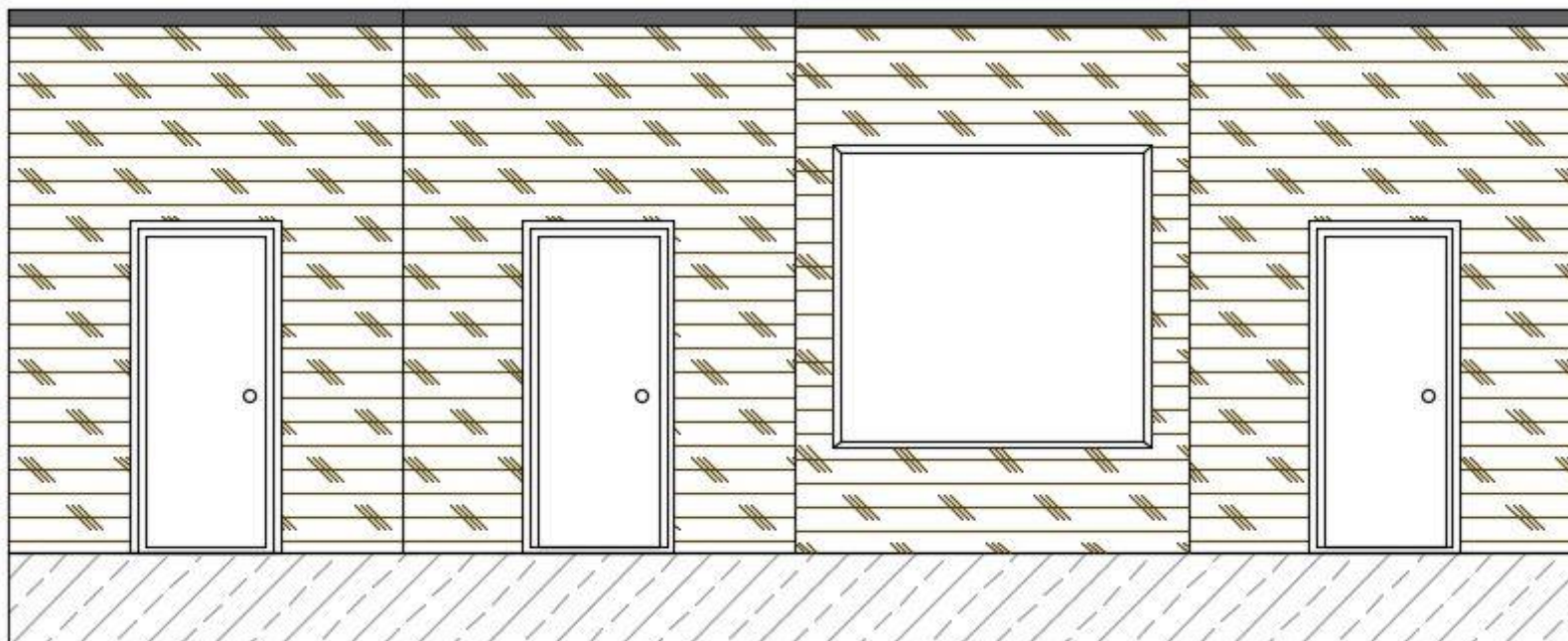
| | Equipamento | Dimensões (W x H x D) (mm) | P. Elétrica (W) | P. Térmica (W) | Exaustão (m³/h) | Alimentação de Gases | Água Arref. (l/min) |
|----------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|----------------------------|
| Zona 2 | Frigorífico (x2) | 610 x 1855 x 805 | 330 | - | - | - | - |
| | Armário reagentes (x1) | 900 x 2050 x 500 | 35 | - | 70 | - | - |
| | Analizador de TOC/TN | 380 x 440 x 700 | 750 | - | - | O2 5.0 (0,2 l/min); Systhetic air 5.0 (0,2 l/min) | - |
| | Digestor N Kjeldahl | 310 x 620 x 540 | 1280 | - | - | - | - |
| Zona 3.1 | Destilador N Kjeldahl | 400 x 660 x 360 | 2200 | - | - | - | 1,2 |
| | Scrubber N Kjeldahl | 248 x 412 x 526 | 140 | - | - | - | 1,2 |
| | Computador | - | 126 | 110 | - | - | - |
| | Espectrofotómetro de absorção atómica | 790 X 590 X 580 | 1200 | - | 360 | CDA (20 l/min); N2O (16 l/min); C2H2 (10 l/min) | 1,5 |
| Zona 3.2 | Cromatógrafo gasoso (GC) | 1680 x 980 x 920 | 2250 | 2250 | 110 | CDA, H2 He N2 Ar CH4 (5 ml/min) | - |
| | Computador | - | 126 | 110 | - | - | - |

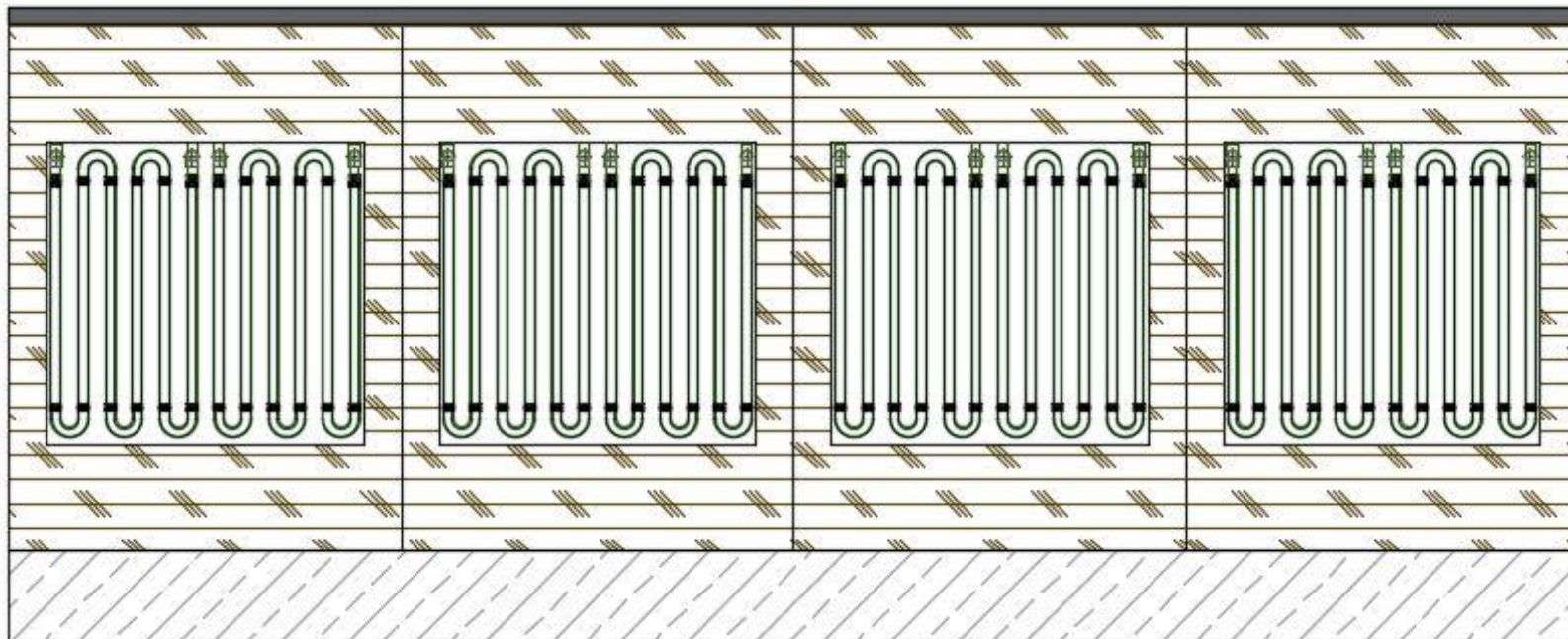
| | Equipamento | Dimensões (W x H x D) (mm) | P. Elétrica (W) | P. Térmica (W) | Exaustão (m³/h) | Alimentação de Gases |
|----------|--|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Zona 4 | Rotavapor + Bomba vácuo | 617 x 898 x 502 / 340 x 630 x 340 | 1880 | 1300 | - | - |
| | Autoclave | 660 x 1020 x 840 | 7000 | 1000 | - | - |
| | Forno | - | 4000 | - | - | - |
| | Hote | 800 x 1345 x 630 | 53 | - | - | - |
| Zona 5.1 | Câmara de fluxo laminar | 820 x 885 x 630 | 75 | - | - | - |
| | Centrífuga | - | 288 | 132 | - | - |
| | Microscópio com câmara | 140 x - x 140 | 20 | - | - | - |
| | Balança analítica | - | 7 | 7 | - | - |
| | Agitador orbital | - | 100 | 16 | - | - |
| | Manta aquecimento | 150 x - x 150 | 550 | 500 | - | - |
| Zona 5.2 | Cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC) | 460 x 880 x 436 | 640 | 640 | 70 | N2 (0,9 a 3,25 l/min) |
| | Espectrofotômetro de UV-Vis | 185 x 344 x 560 | 300 | - | - | - |
| | Computador (x2) | - | 252 | - | - | - |
| | Microscópio com câmara | 140 x - x 140 | 20 | - | - | - |
| | Bomba vácuo | - | 621 | 302 | - | - |
| | Agitador mecânico | 83 x 220 x 186 | 130 | - | - | - |
| | Viscosímetro | 351 x 629 x 372 | 24 | - | - | - |

6.4 Anexo 4

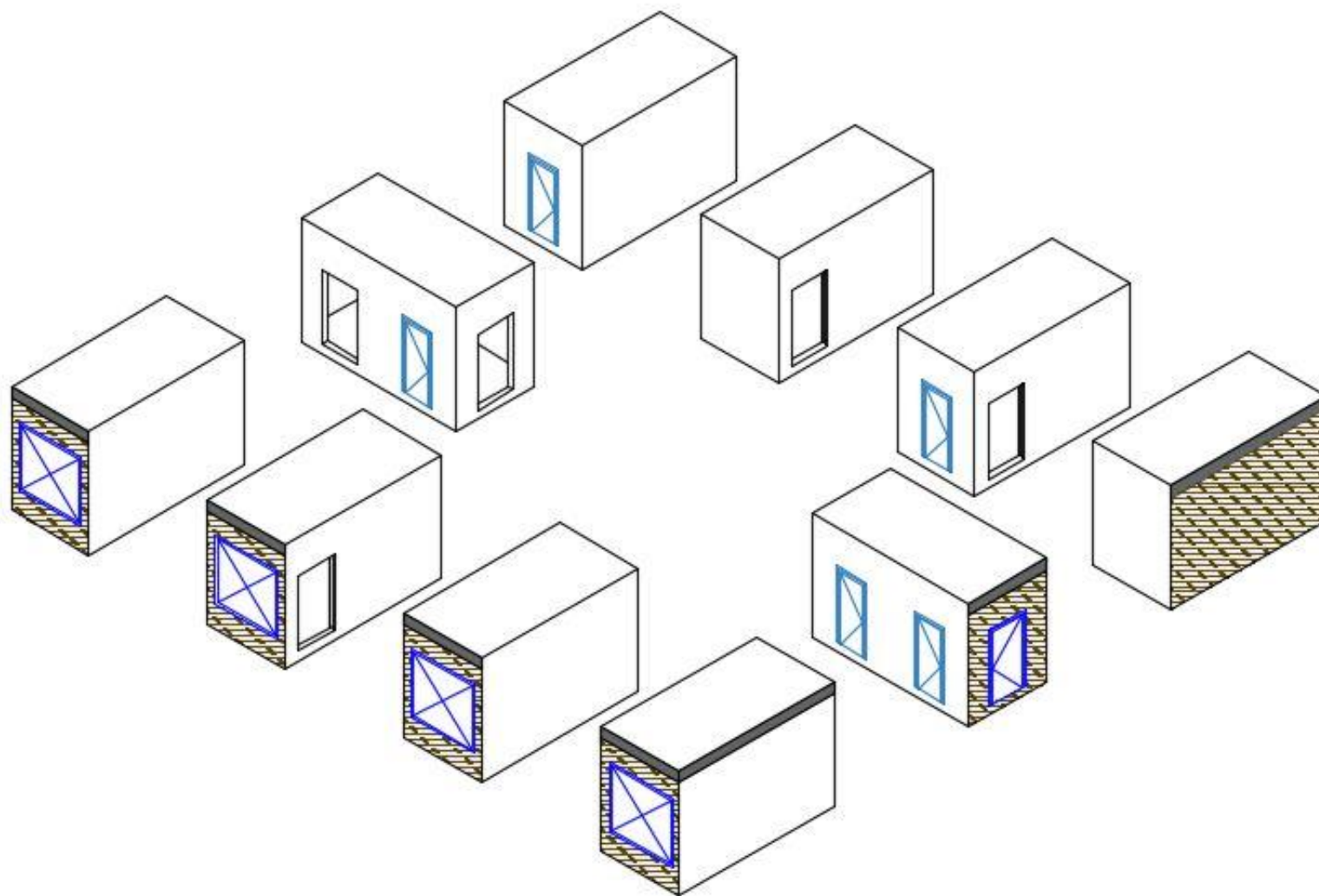
Apresentam-se seguidamente os alçados do edifício modular projetado e uma representação isométrica dos módulos

Alçado Este



Alçado Oeste

Representação Isométrica



6.5 Anexo 5

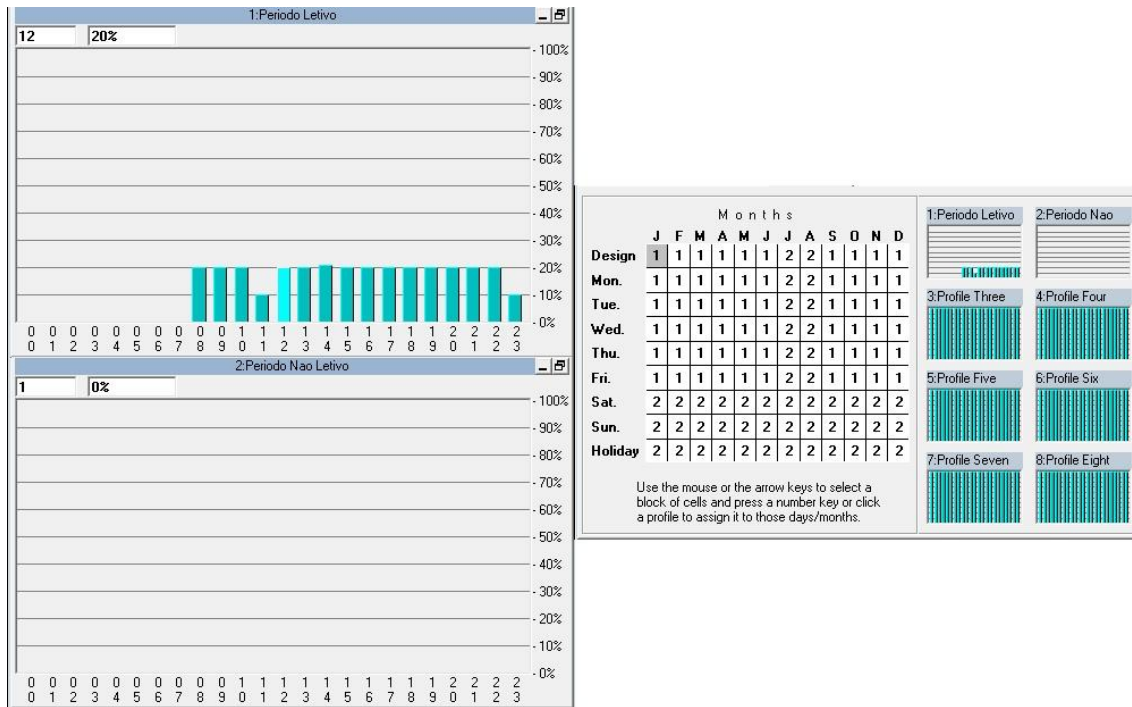
De seguida encontram-se listados os materiais escolhidos e as suas características.

| Material | Fonte/fabricante | e (mm) | R (m².K/W) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m³) | cp (kJ/kg.K) |
|---|----------------------------|-------------------|----------------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Pladur 15mm | Knauf Contafogo DF | 15 | 0,065 | 0,23 | 800 | 1 |
| OSB-4 12mm | Kronofrance | 12 | 0,092 | 0,13 | 620 | - |
| OSB-4 18mm | Kronofrance | 15 | 0,115 | 0,13 | 620 | - |
| EPS 40mm | Plastimar | 40 | 0,952 | 0,042 | 20 | - |
| XPS 40mm | Danosa | 40 | 1,100 | - | 32 | 1,45 |
| Barreira Pára- Vapor | - | 0,5 | 0,002 | 0,3 | 300 | 1,8 |
| OSB-4 18mm | Kronofrance | 18 | 0,138 | 0,13 | - | - |
| Lã-de-Rocha | Alpharock | 60 | 1,765 | 0,034 | 70 | 0,84 |
| Tela de PVC | ITE50 | 1,5 | 0,011 | 0,14 | 1200 | - |
| Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB) | Amorim Isolamentos S.A. | 40 | 0,930 | 0,043 | 130 | - |
| Linóleo | ITE50 | 5 | 0,029 | 0,17 | 1200 | |

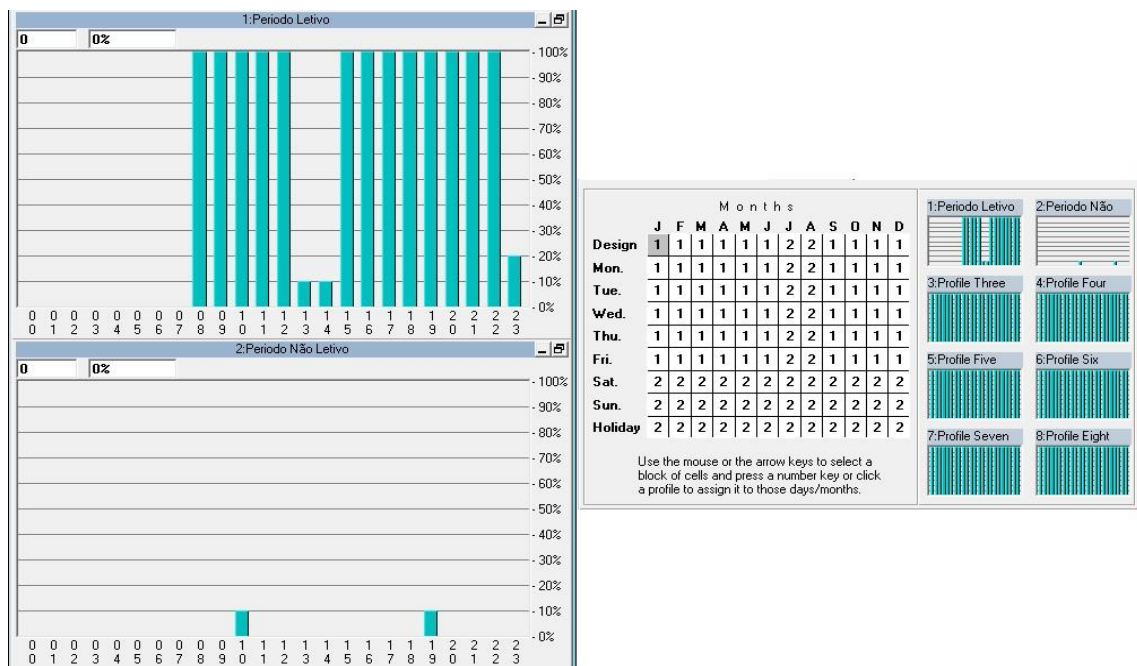
6.6 Anexo 6

Neste anexo encontram-se os perfis estipulados para as diversas zonas e períodos.

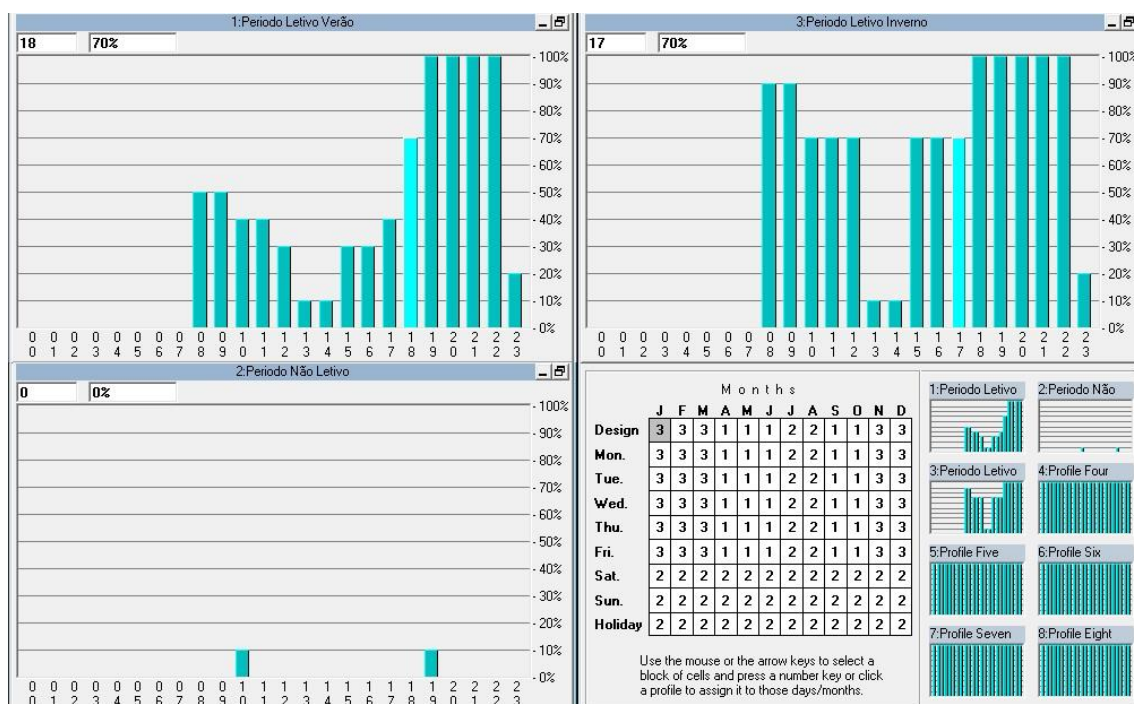
Ocupação e iluminação – Zona 1



Ocupação – módulos laboratoriais (zonas 3.1, 3.2, 4, 5.1, 5.2) e zona 6



Iluminação – módulos laboratoriais (zonas 3.1, 3.2, 4, 5.1, 5.2) e zona 6

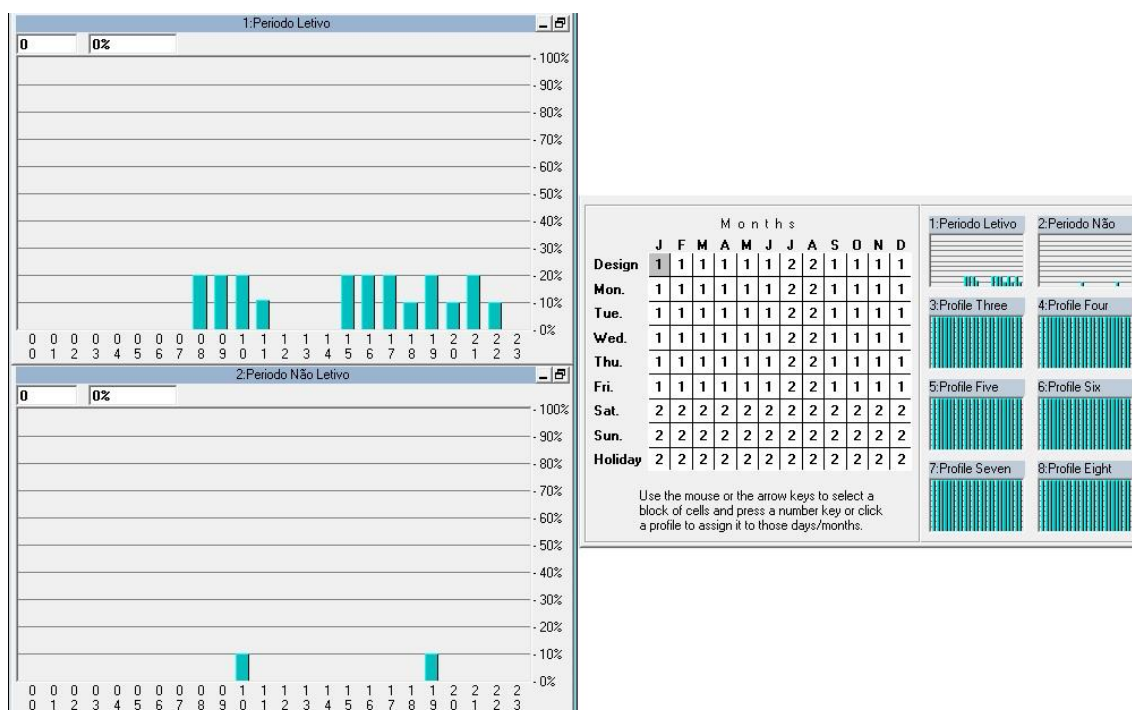


Equipamentos – perfis de funcionamento dos equipamentos dos módulos laboratoriais e zona 2 (armazém) construídos com base na tabela abaixo.

| Hora | Período Letivo | | | | | | Período Não Letivo | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|--------|----------|----------|--------------------|----------|----------|--------|----------|----------|
| | Zona 2 | Zona 3.1 | Zona 3.2 | Zona 4 | Zona 5.1 | Zona 5.2 | Zona 2 | Zona 3.1 | Zona 3.2 | Zona 4 | Zona 5.1 | Zona 5.2 |
| 0 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 1 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 2 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 3 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 4 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 5 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 6 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 7 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 8 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 9 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 10 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 73% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 11 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 12 | 20% | 5% | 20% | 50% | 40% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 13 | 20% | 5% | 20% | 50% | 40% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 14 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 15 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 16 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 73% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 17 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

| | Período Letivo | | | | | | Período Não Letivo | | | | | |
|-----------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|----|----|----|----|----|
| 18 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 19 | 40% | 5% | 55% | 60% | 45% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 20 | 40% | 50% | 25% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 21 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 73% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 22 | 40% | 50% | 55% | 60% | 80% | 50% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 23 | 20% | 5% | 20% | 0% | 10% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Ocupação e Iluminação – Zona 2



6.7 Anexo 7

Relatório das cargas térmicas espaço a espaço

| Zone2 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-------------------------------|--|--------------|------------|--|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jun 1700 COOLING OA DB / WB 26,9 °C / 18,0 °C | | | HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 25,0 °C | | | OCCUPIED T-STAT 20,0 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | - | - |
| Wall Transmission | 19 m² | 1 | - | 19 m² | 71 | - |
| Roof Transmission | 10 m² | 31 | - | 10 m² | 40 | - |
| Window Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 2 m² | -1 | - | 2 m² | 54 | - |
| Floor Transmission | 10 m² | 2 | - | 10 m² | 48 | - |
| Partitions | 6 m² | 0 | - | 6 m² | 7 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 31 W | 24 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| People | 0 | 12 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 278 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 347 | 27 | - | 221 | 0 |

| Zone3.1 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-------------------------------|--|--------------|------------|--|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jun 1800 COOLING OA DB / WB 25,6 °C / 17,4 °C | | | HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 25,0 °C | | | OCCUPIED T-STAT 20,0 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | - | - |
| Wall Transmission | 4 m² | 2 | - | 4 m² | 17 | - |
| Roof Transmission | 10 m² | 31 | - | 10 m² | 40 | - |
| Window Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 2 m² | -3 | - | 2 m² | 54 | - |
| Floor Transmission | 10 m² | 3 | - | 10 m² | 48 | - |
| Partitions | 6 m² | 0 | - | 6 m² | 7 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 109 W | 80 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| People | 3 | 201 | 237 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 1500 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 1813 | 237 | - | 166 | 0 |

| Zone3.2 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-------------------------------|--|--------------|------------|--|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jun 1800 COOLING OA DB / WB 25,6 °C / 17,4 °C | | | HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 25,0 °C | | | OCCUPIED T-STAT 20,0 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 4 m² | 146 | - | 4 m² | - | - |
| Wall Transmission | 2 m² | 1 | - | 2 m² | 8 | - |
| Roof Transmission | 10 m² | 31 | - | 10 m² | 40 | - |
| Window Transmission | 4 m² | -4 | - | 4 m² | 66 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Floor Transmission | 10 m² | 3 | - | 10 m² | 48 | - |
| Partitions | 6 m² | 0 | - | 6 m² | 7 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 109 W | 80 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| People | 3 | 201 | 237 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 1298 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 1755 | 237 | - | 169 | 0 |

| Zone 4 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jun 1900 | | | HEATING DATA AT DES HTG | | |
| | COOLING OA DB / WB 23,5 °C / 16,4 °C | | | HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 25,0 °C | | | OCCUPIED T-STAT 20,0 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | - | - |
| Wall Transmission | 19 m² | 9 | - | 19 m² | 72 | - |
| Roof Transmission | 10 m² | 27 | - | 10 m² | 40 | - |
| Window Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 2 m² | -7 | - | 2 m² | 54 | - |
| Floor Transmission | 10 m² | -11 | - | 10 m² | 48 | - |
| Partitions | 6 m² | -3 | - | 6 m² | 7 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 156 W | 109 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| People | 3 | 206 | 237 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 1380 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 1710 | 237 | - | 222 | 0 |

| Zone 5.1 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jun 1800 | | | HEATING DATA AT DES HTG | | |
| | COOLING OA DB / WB 25,6 °C / 17,4 °C | | | HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 25,0 °C | | | OCCUPIED T-STAT 20,0 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 4 m² | 297 | - | 4 m² | - | - |
| Wall Transmission | 2 m² | 3 | - | 2 m² | 8 | - |
| Roof Transmission | 10 m² | 31 | - | 10 m² | 40 | - |
| Window Transmission | 4 m² | -4 | - | 4 m² | 66 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Floor Transmission | 10 m² | 3 | - | 10 m² | 48 | - |
| Partitions | 21 m² | 1 | - | 21 m² | 24 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 109 W | 80 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| People | 3 | 201 | 237 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 1036 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 1646 | 237 | - | 186 | 0 |

| Zone 5.2 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jun 1600 | | | HEATING DATA AT DES HTG | | |
| | COOLING OA DB / WB 27,5 °C / 18,2 °C | | | HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 25,0 °C | | | OCCUPIED T-STAT 20,0 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 4 m² | 213 | - | 4 m² | - | - |
| Wall Transmission | 2 m² | 0 | - | 2 m² | 8 | - |
| Roof Transmission | 10 m² | 29 | - | 10 m² | 40 | - |
| Window Transmission | 4 m² | -1 | - | 4 m² | 66 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Floor Transmission | 10 m² | 0 | - | 10 m² | 48 | - |
| Partitions | 6 m² | -1 | - | 6 m² | 7 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 47 W | 44 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| People | 3 | 187 | 237 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 750 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 1220 | 237 | - | 169 | 0 |

| Zone6 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|-------------------------------|---|--------------|------------|---|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jun 1800 COOLING OA DB / WB 25,6 °C / 17,4 °C OCCUPIED T-STAT 25,0 °C | | | HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 0,5 °C / -2,0 °C OCCUPIED T-STAT 20,0 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 4 m² | 297 | - | 4 m² | - | - |
| Wall Transmission | 16 m² | 12 | - | 16 m² | 63 | - |
| Roof Transmission | 10 m² | 31 | - | 10 m² | 40 | - |
| Window Transmission | 4 m² | -4 | - | 4 m² | 66 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Floor Transmission | 10 m² | 3 | - | 10 m² | 48 | - |
| Partitions | 6 m² | 0 | - | 6 m² | 7 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 109 W | 80 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 364 W | 363 | - | 0 | 0 | - |
| People | 3 | 201 | 237 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 982 | 237 | - | 224 | 0 |