

ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO – EDIFÍCIO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Fábio Manuel Calado Gonçalves

Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização: Construção
Plano de Dissertação Mestrado

ORIENTADORES: Prof. Doutora Maria de Fátima Farinha Silva Marques
Tavares Farinha

Prof. Armando da Conceição da Costa Inverno

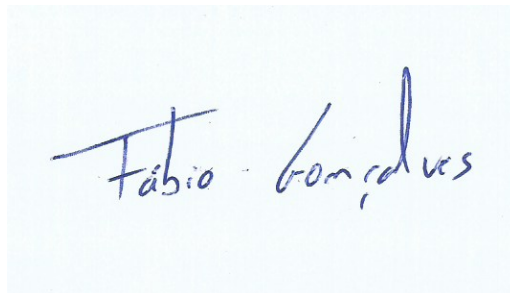
Outubro de 2018
Dissertação
submetida na Universidade do Algarve

**ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO – EDIFÍCIO DE ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Declaração de Autoria de Trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluídas.

Fábio Manuel Calado Gonçalves

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light blue background. The signature reads "Fábio Manuel Calado Gonçalves" in a cursive script.

© **Copyright:** Fábio Manuel Calado Gonçalves

A universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

AGRADECIMENTOS

Para esta dissertação passar de um sonho a realidade contei com grandes apoios e incentivos, que sem eles isto não teria sido possível.

À Professora Doutora Maria de Fátima Farinha, que como minha orientadora e professora ao longo deste meu percurso no mestrado, me ajudou bastante tanto com os seus ensinamentos como com as suas correções e me incentivou a terminar este desafio. Agradeço pelo meu desenvolvimento académico e pessoal.

Ao Professor Armando Inverno, meu orientador nesta dissertação que com a sua ajuda e correções me ajudou e incentivou a concretizar esta dissertação. Agradeço-lhe imenso.

Um agradecimento muito especial aos meus pais, que sempre acreditaram em mim e me deram apoio e confiança para terminar esta etapa, nunca me deixando desistir, mesmo quando a vontade de desistir era maior que a de continuar.

Um agradecimento especialíssimo à minha namorada Karol Bot que foi o meu principal pilar neste processo, que esteve comigo em todos os momentos e me ajudou a tornar esta tese possível. Sem ela não teria conseguido passar para o papel as minhas idealizações. Muito obrigado por toda a paciência e compreensão demonstrada até ao fim desta etapa.

Ao Sr. Oliveira responsável pela manutenção do Edifício de Eng. Civil da Universidade do Algarve, por toda a ajuda que me deu e informações sobre o Edifício e funcionamento.

Aos meus familiares e amigos que sempre me apoiaram.

A todos os meus professores que durante o período de mestrado me ajudaram.

Mais uma vez um muito Obrigado a todos eles.

RESUMO

O recurso a diferentes estratégias para reduzir as necessidades de energia nos edifícios, sobretudo a que é requerida pelos seus sistemas de aquecimento e de arrefecimento para os tornar mais confortáveis aos seus utilizadores, constitui o tema central deste trabalho. Uma das formas de analisar os consumos é através da simulação dinâmica dos edifícios com o recurso a programa especializado e, sobretudo comprovado, estratégia que é adotada neste trabalho, utilizando o programa *Energypius*. Neste trabalho analisa-se os períodos de desconforto térmico sentidos pelos ocupantes, seja por a temperatura de Inverno ser “muito baixa”, seja por a temperatura de Verão ser “muito alta” e quantificam-se a redução das necessidades de energia, originada pela aplicação de diferentes estratégias passivas, na tentativa de melhorar as condições térmicas, de um edifício (complexo de salas de aula, incluído os diversos espaços de acesso e de circulação) da Universidade do Algarve. Para isso foram simulados três modelos, correspondentes a diferentes soluções da envolvente e os respetivos resultados comparados com o modelo de referência, aquele que representa o edifício como se encontra construído. Os outros dois são, um em que se altera a cobertura existente para uma cobertura verde e o outro o “sombreamento inteligente” dos vãos envidraçados. Os modelos alternativos com estas estratégias foram comparados com o modelo de referência que consistiu no edifício sem qualquer tipo de sombreamento e a configuração da cobertura original.

Os resultados levam a concluir que, mesmo não existindo uma diferença significativa com o desempenho térmico do edifício de referência e ainda assim verifica-se uma ligeira melhoria.

Este é um tipo de abordagem que deverá ser feita sobre uma análise de remodelação e melhoramento de soluções construtivas de edifícios, logo na primeira análise em fase de projeto e, até mesmo em remodelação, ou instalação, de sistemas de climatização, sobretudo em edifícios de serviços.

Palavras chave: Energia, sustentabilidade, arquitetura bioclimática, modelo, eficiência.

ABSTRACT

The use of different strategies to reduce energy needs in buildings, especially those required by their heating and cooling systems to make them more comfortable for the occupants, is the central theme of this work. One of the ways to analyze the consumptions is through the dynamic simulation of buildings with the use of a specialized program and, above all, a strategy that is adopted in this work, using the Energyplus program. In this dissertation is analyzed the periods of thermal discomfort experienced by the occupants, either because the winter temperature is "very low" or because the summer temperature is "very high" and the reduction of the energy needs, quantified by the application of different passive strategies, in an attempt to improve the thermal conditions of a building (a complex of classrooms, including the various access and circulation spaces) of the University of Algarve. For this, three models were simulated, corresponding to different solutions of the envelope and the respective results compared with the reference model, the one that represents the building as it is built. The other two are, one in which the existing roof is changed for a green roof, and the other uses the "smart shading" of the glazed spans. The alternative models with these strategies were compared with the reference model that consisted of the building without any type of shadowing and the configuration of the original roof.

The results lead to the conclusion that, even if there is no significant difference with the thermal performance of the reference building, there is still a slight improvement.

This is a type of approach that should be done on an analysis of remodeling and improvement of constructive solutions of buildings, then in the first analysis in the design phase and even in remodeling or installation of air conditioning systems, especially in buildings services.

Keywords: Energy, sustainability, bioclimatic architecture, model, efficiency.

Índice

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	ix
1. Introdução	1
1.1. Contexto e política energética	1
1.2. A energia e os edifícios	3
1.3. Objetivos, justificação e organização	6
2. Energia nos edifícios	8
2.1. Arquitetura bioclimática e estratégias para melhoria do conforto térmico	8
2.1.1. Ganhos diretos	13
2.1.2. Aquecimento passivo	14
2.1.3. Arrefecimento passivo	18
2.1.4. Coberturas verdes	20
2.2. Soluções construtivas	24
3. Estudo de caso	26
3.1. Características do edifício	26
3.1.1. Geometria	26
3.1.2. Envolventes	31
3.1.3. Clima característico	35
3.2. Modelo computacional	35
3.2.1. Modelo referência	36
3.2.2. Modelos alternativos	44
4. Análise de resultados	51
4.1. Modelo referência (base)	51
4.1.1. Ocupação total	51
4.1.2. Ocupação parcial	55
4.2. Modelo alternativo – Coberturas verdes (CV)	58
4.2.1. Ocupação total	58
4.2.2. Ocupação parcial	60
4.3. Modelo alternativo – Sombreamento Inteligente (S)	63
4.3.1. Ocupação total	63
4.3.2. Ocupação parcial	66
4.4. Análise comparativa	69
4.4.1. Ocupação total	69
	iv

4.4.2.	Ocupação parcial	75
5.	Conclusões	82
5.1.	Desenvolvimentos futuros	84
6.	Anexos	85
	Bibliografia	86

Índice de Figuras

Figura 1. Consumo de energia final por setor em 2011. Fonte: (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012)	3
Figura 2. Diagrama de Givoni. Fonte: (Givoni, 1992) adaptado por: (Gonçalves e Graça, 2004).	11
Figura 3. Controle de ganhos térmicos nas fachadas sul. Fonte: (Lanham, Braz and Gama, 2007).	13
Figura 4. Interação da radiação com elementos translúcidos. Fonte: (Rodrigues, Piedade and Braga, 2009).	16
Figura 5. Esquema de funcionamento de uma parede de Trombe. Fonte: (Gonçalves, 1997).	17
Figura 6. Arrefecimento por evaporação. Fonte: (Gonçalves and Graça, 2004).	19
Figura 7. Telhado verde do tipo intensivo e extensivo, respetivamente. Fonte: http://www.tectonica-online.com/products/1993/panel_controlling_garden_irrigation_work_drainage_elements/	21
Figura 8. Camadas típicas de um telhado verde. Fonte: (<i>greenerheights.wordpress.com</i> 2012).	22
Figura 9. Fachada noroeste Edifício Eng. Civil Campus Penha – Universidade do Algarve.	26
Figura 10. Fachada sudeste Edifício Eng. Civil Campus Penha – Universidade do Algarve.	27
Figura 11. Fachada Oeste e fachada Este, respetivamente.	27
Figura 12. Planta Rés-do-chão, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.	28
Figura 13. Planta 1º Andar, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.	29
Figura 14. Planta 2º Andar, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.	30
Figura 15 - Planta Cobertura, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.	31
Figura 16. Dados climáticos mensais referentes a localidade de Faro. (Fonte: Climate-data.org , 2018)	35
Figura 17. Zonas térmicas do Rés-do-chão.	38
Figura 18 - Zonas térmicas 1º andar.	38
Figura 19 - Zonas térmicas 2º andar.	39
Figura 20. Imagem fachada principal do Departamento de Engenharia Civil.	39
Figura 21. Fachadas lateral e traseira do Departamento de Engenharia Civil.	40
Figura 22. Fachadas frontal e traseira do Departamento de Engenharia Civil (3D).	40
Figura 23. Fachada lateral e traseira do Departamento de Engenharia Civil (3D).	41
Figura 24. Padrões de ocupação das instalações.	42

Figura 25. Frequência anual de ocorrência de temperaturas – caso base 100% ocupação.	52
Figura 26. Gráfico de variação de temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – caso base 100% ocupação.	54
Figura 27. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – caso base 100% ocupação.	55
Figura 28. Frequência anual percentual de ocorrência de temperaturas – caso base 50% ocupação.	56
Figura 29. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – caso base 50% ocupação.	57
Figura 30. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – caso base 50% ocupação.	57
Figura 31. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - cobertura verde 100% ocupação.	59
Figura 32. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – cobertura verde 100% ocupação	60
Figura 33. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – cobertura verde 100% ocupação.	60
Figura 34. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - cobertura verde 50% ocupação.	62
Figura 35. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – cobertura verde 50% ocupação.	62
Figura 36. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – cobertura verde 50% ocupação.	63
Figura 37. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - sombreamento e 100% ocupação.	64
Figura 38. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – Sombreamento 100% ocupação.	65
Figura 39. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde o dia 14 de julho a 16 de julho – sombreamento 100% ocupação.	65
Figura 40. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - sombreamento 50% ocupação.	67
Figura 41. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – sombreamento 50% ocupação.	68
Figura 42. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – sombreamento 50% ocupação.	68

Figura 43. Análise comparativa – Corredor de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.	69
Figura 44. Análise comparativa – Corredor de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.	70
Figura 45. Análise comparativa – Rés-do-chão de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.	70
Figura 46. Análise comparativa – Rés-do-chão de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.	71
Figura 47. Análise comparativa – 1º Piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.	73
Figura 48. Análise comparativa – 1º Piso de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.	73
Figura 49. Análise comparativa – 2º piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.	74
Figura 50. Análise comparativa – 2º piso de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.	74
Figura 51. Análise comparativa – corredor de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.	76
Figura 52. Análise comparativa – corredor de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.	76
Figura 53. Análise comparativa – rés-do-chão de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.	77
Figura 54. Análise comparativa –rés-do-chão de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.	77
Figura 55. Análise comparativa – 1º piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.	79
Figura 56. Análise comparativa – 1º piso de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.	79
Figura 57. Análise comparativa – 2º piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.	80
Figura 58. Análise comparativa – 2º piso de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.	80
Figura 59. Interface para caracterização dos materiais.	85
Figura 60. Interface para caracterização dos elementos construtivos.	85
Figura 61. Interface para caracterização das superfícies, em coordenadas.	85

Índice de Tabelas

Tabela 1. Materiais constituintes das paredes exteriores.	32
Tabela 2. Materiais constituintes da cobertura.	32
Tabela 3. Materiais constituintes das paredes interiores ligando salas e corredores.	33
Tabela 4. Materiais constituintes das paredes interiores ligando as salas.	33
Tabela 5. Materiais constituintes dos pisos entre corredores.	33
Tabela 6. Materiais constituintes dos pisos entre salas.	34
Tabela 7. Materiais constituintes do piso térreo nos corredores.	34
Tabela 8. Materiais constituintes do piso térreo nas salas.	34
Tabela 9. Áreas e pé direito das zonas térmicas definidas.	37
Tabela 10. Áreas totais nas zonas térmicas definidas.	37
Tabela 11. Número de ocupantes para as simulações.	41
Tabela 12. Caracterização e potência da iluminação nas zonas térmicas definidas.	42
Tabela 13. Potências totais de iluminação nas zonas térmicas definidas.	43
Tabela 14. Valores de trocas de ar.	43
Tabela 15. Input utilizado para a modelação dos estores.	46
Tabela 16. Método de controlo utilizado para os estores.	47
Tabela 17. Input utilizado para a modelação das coberturas verdes.	50
Tabela 18. Nº de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício - caso base 100% ocupação.	51
Tabela 19. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – caso base 50% ocupação.	56
Tabela 20. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – cobertura verde 100% ocupação.	58
Tabela 21. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – cobertura verde 50% ocupação.	61
Tabela 22. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – sombreamento 100% ocupação.	64
Tabela 23. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – sombreamento 50% ocupação.	66
Tabela 24. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – corredor 100% ocupação.	71

Tabela 25. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – Rés-do-chão 100% ocupação.	72
Tabela 26. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 1º piso 100% ocupação.	75
Tabela 27. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 2º piso 100% ocupação.	75
Tabela 28. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – corredor 50% ocupação.	78
Tabela 29. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – rés-do-chão 50% ocupação.	78
Tabela 30. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 1º piso 50% ocupação.	81
Tabela 31. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 2º piso 50% ocupação.	81

1. Introdução

1.1. Contexto e política energética

Tendo em conta o cenário energético mundial e a possibilidade de utilização de fontes não renováveis, é notável o impulso atual que o setor das edificações toma em direção à criação de novos projetos e projetos de reabilitação que visam tornar as edificações mais eficientes. Desde meados do século XX, quando o tema começou a ter importância em debates tidos nos países mais desenvolvidos, após as crises energéticas, sobretudo a de 1973, tem sido crescente a preocupação da sociedade com a eficiência energética. Como consequência é visível o aumento significativo das tarifas de energia elétrica (Bot, 2015).

Nos edifícios habitacionais e de serviços; o petróleo, a eletricidade e o gás natural são as fontes energéticas de mais comum utilização. A emissão de gases poluentes, tais como o monóxido de carbono e o formaldeído, podem causar malefícios para a saúde, desencadeando ou agravando doenças respiratórias, entre outras (Faruck and Chatterjee, 2018). O sector da construção está entre os setores que mais consomem recursos naturais e o grande desafio continua, ainda, a ser diminuir a utilização de energia. Neste contexto, a promoção da eficiência energética nas edificações surge como uma necessidade eminente, tanto no projeto de novas edificações como na reabilitação de edifícios antigos.

Em 1997, é aprovado, no âmbito da Organização das Nações Unidas, o Protocolo de Kyoto. Este protocolo surgiu como um importante instrumento jurídico internacional no que toca ao controle das emissões de gases com efeito estufa, o seu primeiro compromisso iniciava-se em 2008 e terminava em 2012. Aos países que aderiram ao tratado foram impostos níveis de redução de gases de efeito estufa. A União Europeia constituiu uma das signatárias do protocolo, comprometendo-se a reduzir em 8% as suas emissões de gases com efeito estufa em relação aos níveis existentes no ano de 1990, considerado o ano de referência. As taxas de redução impostas aos países membros da União Europeia foram diferentes, e a Portugal coube limitar o aumento de emissões destes gases em 27%, de acordo com o tratado de partilha de responsabilidades (Lacasta and Barata, 1999). Este mesmo protocolo de Kyoto foi prolongado em 2012 ano do seu termo para 2020, através da “Emenda de Doha”, pois não tinham sido alcançadas as metas estabelecidas. Também em 2009 foi assinado o

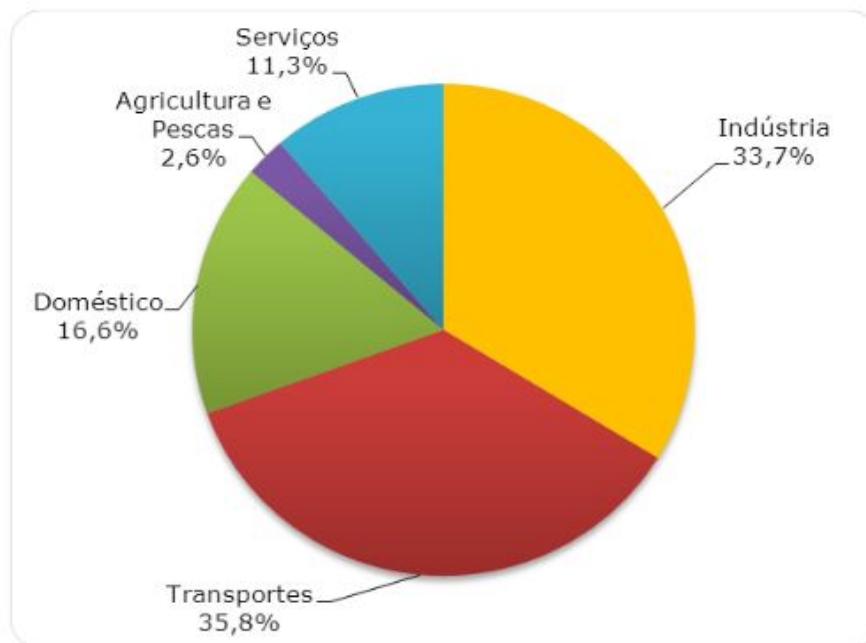
tratado de Lisboa em que a União Europeia se comprometia com o objetivo de combater as alterações climáticas no âmbito da política ambiental. Mais recente em 2015 foi assinado o Acordo de Paris, onde os países signatários do tratado se comprometeram em assegurar que o aumento da temperatura média global fique abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, reconhecendo que deste modo é possível reduzir significativamente os riscos e impactos das alterações climáticas. Também foi acordado aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos das alterações climáticas e promover a resiliência do clima e a baixa emissão de gases de efeito estufa, de maneira que não ameace a produção de alimentos e, por fim, criar apoios financeiros consistentes na direção de promover baixas emissões de gases de efeito estufa.

A intervenção neste setor é crucial, tendo para o efeito o Parlamento Europeu, desde 2002, imposto aos Estados Membros a adoção de medidas de desempenho energético dos edifícios. As principais medidas de eficiência energética (EPBD) que dizem respeito aos edifícios passam pela melhoria do desempenho térmico em geral. Para isso as principais medidas até agora adotadas passam pela colocação de isolamento térmico entre os panos de alvenaria (Silva and Carreira, 2014).

Atualmente, a redução de emissões de gases de efeito estufa (dióxido carbono, vapor de água, metano, etc) surge como uma das principais linhas de orientação da política energética, valorizando os recursos energéticos renováveis e, conseqüentemente, uma redução da dependência externa. Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 118/2013 (Diário da República n.º 118/2013, 2013), de 20 de agosto, reformulou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e também o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios criado em 2006 (Fragoso, 2013). Estas regulamentações definem a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados de Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), assim como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grandes intervenções.

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente, os valores do consumo de energia final em 2011 (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012) são os apontados na Figura 1. É

possível notar o peso do setor de serviços e doméstico que somam 27,9% do consumo total de energia sendo uma área onde há a necessidade de intervenção.



Fonte: DGEG, 2013

Figura 1. Consumo de energia final por setor em 2011. Fonte: (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012)

1.2. A energia e os edifícios

Aproximadamente 90% das pessoas passam a maior parte do tempo em edifícios de habitação e serviços e, como tal, o conforto interior desempenha um papel bastante importante, tanto na saúde do ocupante quanto na eficiência e na satisfação em geral. Tem havido uma procura crescente, por parte dos utilizadores e dos órgãos legisladores, por melhorias do conforto no ambiente interior e simultaneamente na redução do consumo de energia que, por consequência, reduz as emissões de CO₂, com o objetivo de cumprir as restrições económicas e ambientais (Li and Wen, 2014). Tendo em conta a Agência Internacional de Energia, a gestão da energia nos edifícios tornou-se uma preocupação crescente para alcançar uma utilização mais inteligente e

eficiente dos recursos energéticos, reforçada pelo facto de os edifícios serem o maior setor de consumo de energia do mundo (35%), à frente da indústria (31%), dos transportes (30%) e outros como agricultura, silvicultura, etc. (4%) (Agência Internacional de Energia, 2012). As principais fontes de energia utilizadas no mundo são a madeira (30%), a eletricidade (28%), o gás natural (22%) e o óleo (11%), sendo igualmente grandes fontes de emissão de dióxido de carbono (Agência Internacional de Energia, 2012). Neste sentido, os edifícios também são responsáveis por 33% das emissões de gases de efeito estufa em todo o mundo (Berardi, 2013).

Assim, nas últimas décadas, a sustentabilidade ambiental tem sido um tema recorrente. Desde meados do século XX, quando este assunto começou a ser mais debatido nos países desenvolvidos, há uma crescente preocupação da população sobre a eficiência energética. É notável, diante do cenário energético mundial e da grande utilização de recursos não renováveis sendo estes a base da matriz energética, o impulso atual que a construção civil leva na direção da criação de novos projetos e projetos de reabilitação que visam tornar os edifícios mais sustentáveis. Para reforçar, o aumento significativo da tarifa energética repercute diretamente no orçamento do consumidor, evidenciando a necessidade de medidas energéticas (Bot, 2015).

Além de ser uma preocupação que implica esforços, tanto na indústria como no mundo académico, o caminho para alcançar uma melhor eficiência energética nos edifícios ainda está longe do fim. De um lado estão os utilizadores responsáveis pela procura e do outro lado, a mistura energética de onde provêm as ofertas de energia, e ambos precisam ser melhorados para alcançar a sustentabilidade no setor de energia. A presente dissertação centra-se na gestão da energia pelo lado da procura, nomeadamente na utilização de estratégias bioclimáticas para melhoria do conforto térmico e redução das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento.

O interesse dos investigadores, das empresas e da indústria em propostas relacionadas com as soluções de energia nos edifícios vem crescendo em todo o mundo. Estes sistemas permitem a utilização do recurso solar passivo de forma a favorecer o desempenho térmico, sendo possível de adaptar, tanto a novas construções como em construções que serão reabilitadas. Esta dissertação tem como objetivo contribuir para o estudo da eficácia de medidas da arquitetura bioclimática e, conseqüentemente para a melhor utilização de energia em edifícios de serviços existentes, como é o caso de universidades.

Através da simulação é possível estimar as necessidades e está diretamente ligada com a necessidade de energia nos edifícios tornando-se essencial para garantir um bom projeto, assim como a construção de edifícios de baixo consumo, ou ainda permitir a adoção de estratégias corretas de reabilitação para edifícios existentes tendo em conta as suas restrições. Simulando o funcionamento dos edifícios e parâmetros de projeto é também possível contribuir para um funcionamento melhorado ao longo da vida útil, prevendo o uso e planeando manutenções (Li and Wen, 2014).

No que toca ao bem-estar do utilizador, uma das principais e mais desafiantes tarefas dos projetos de construção civil é conseguir um ambiente interno capaz de criar conforto com eficiência energética melhorada (Shaikh *et al.*, 2014). As variáveis envolvidas no conforto dos utilizadores são muitas (térmicas, visuais, psicológicas), e estas estão diretamente relacionadas com os sistemas de energia adotados. Outro desafio muito importante é o consumo de energia necessário para manter o nível de conforto e o consumo de energia desejável para a preservação do meio ambiente, muitas vezes em conflito um com o outro. Tendo em conta alguns exemplos já existentes os dados mais relevantes por parte dos edifícios para a modelação serão a arquitetura característica, o comportamento dos utilizadores, as cargas de eletricidade, a gestão do edifício, para além destes aspetos também é preciso ter em conta as infiltrações de ar que ocorrem pelas janelas e portas. Para os novos *smart buildings* (edifícios inteligentes) o principal desafio é conseguir obter a sustentabilidade pretendida, mas ao mesmo tempo conseguir a confiança dos utilizadores nas soluções utilizadas.

O setor da construção é geralmente dividido em dois subgrupos: setor de serviços e setor residencial. Esta divisão separa o contexto em que os edifícios são utilizados: os edifícios de serviços, onde os utilizadores realizam atividades produtivas e, ou, têm acesso a serviços sociais como educação, saúde, lazer, geralmente durante o dia; no setor residencial, onde os utilizadores habitam e desenvolvem atividades familiares. Na Europa, 75% da área edificada pertence ao setor residencial (Bot, 2015), o que representa um desafio para a gestão energética, uma vez que a maior parte da energia consumida no setor está espalhada por muitos edifícios diferentes, cada um consumindo uma pequena quantidade de energia. Assim, o custo e eficácia das medidas de eficiência energética no setor de serviços é sempre maior, pois têm um número muito maior de utilizadores.

O setor de serviços – foco da presente dissertação que abrange os edifícios comerciais e administrativos, inclui edifícios com diferentes finalidades (escolas, universidades, restaurantes, hotéis, hospitais, museus, etc.) com uma grande variedade de serviços de

energia (aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC), água quente sanitária (AQS), iluminação, refrigeração, preparação de alimentos). A procura de energia neste setor tem vindo a aumentar pelo crescimento da população. Por consequência, visando a saúde, educação, lazer e outras atividades, impulsionado não apenas pelo crescimento populacional, mas também pelo desenvolvimento do bem-estar socioeconómico. Nos Estados Unidos e na Europa, o setor de serviços responde por 10 a 20% do consumo final de energia (Pérez-Lombard, Ortiz and Pout, 2008).

1.3. Objetivos, justificação e organização

A saúde e o conforto dos utilizadores do edificado foram percebidos como os parâmetros mais importantes durante as avaliações de ambientes internos. Os países em desenvolvimento são, muitas vezes, limitados por condições ambientais extremas, técnicas de construção desatualizadas e recursos financeiros escassos e, portanto, lutam para adotar novas e dispendiosas tecnologias visando a melhoria do conforto interior. Qualquer análise ao papel da energia na arquitetura encontra sérias limitações, devido à falta de estudos para com esta problemática. A consciência dessas limitações permitirá dar a entender o porquê dos arquitetos prestarem pouca atenção à interação entre forma e energia e o foco bioclimático na arquitetura contemporânea (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013). Os países desenvolvidos, em contrapartida, contam com políticas energéticas e de construção mais rigorosas, obrigando a um maior investimento financeiro com o intuito de obter um edifício mais eficiente e menos poluente. Em ambos os cenários, optar por estratégias solares passivas constitui muitas vezes um recurso relativamente mais económico em comparação com os sistemas convencionais de AVAC.

Justifica-se, assim, esta investigação quando olhamos mais atentamente para os elevados consumos de energia das edificações, estando muitas das vezes as mesmas desadequadas para com o clima em que estão inseridas. O edifício deve ser adaptado às características do clima e para as características de ocupação do mesmo. A recente implementação de regulamentos mais exigentes tem vindo a promover a adoção das estratégias solares, tanto em fase de construção nova, quanto em projetos de reabilitação. O conforto térmico é um fator de grande importância para os utilizadores de qualquer edifício, particularmente o dos empregados no local de trabalho como um motor para o aumento da produtividade. É com convicção que afirmamos que com a utilização destas estratégias, é possível melhorar o desempenho térmico dos edifícios.

São quatro os principais objetivos desta dissertação:

O primeiro objetivo consiste em estudar estratégias construtivas utilizadas pela arquitetura bioclimática, isto é, a arquitetura que leva em consideração os recursos presentes no ambiente em que a edificação estará inserida, tais como a radiação solar e a ventilação natural, procurando a melhor eficiência energética e ao mesmo tempo garantindo o conforto, sobretudo o térmico, dos ocupantes.

O segundo objetivo consiste na modelação computacional, por meio do programa *EnergyPlus*, do caso de estudo, analisando o seu desempenho térmico. Tomou-se como caso de estudo do Edifício de Engenharia Civil na Universidade do Algarve, Campus da Penha, em Faro.

O terceiro objetivo consiste no estudo e na modelação computacional de soluções construtivas alternativas, utilizando estratégias solares passivas, diferentes materiais e tecnologias, com o intuito de promover a melhoria das condições de conforto térmico e, conseqüentemente, a diminuição das necessidades energéticas para o aquecimento e arrefecimento da edificação. As soluções propostas aspiram à redução daquelas necessidades através de ganhos solares diretos e indiretos, da ventilação natural, e da proposta de alternativas de soluções construtivas.

O quarto objetivo passa por analisar os resultados obtidos, assim como apresentar as conclusões finais em relação à análise do desempenho térmico da configuração original e dos modelos alternativos propostos.

2. Energia nos edifícios

2.1. Arquitetura bioclimática e estratégias para melhoria do conforto térmico

Desde a revolução industrial, e com o conceito de função-forma, o conforto na arquitetura moderna tem sido proporcionado pelo uso de dispositivos que estão continuamente a consumir energia e têm um impacto ecológico. A partir deste período, a interação entre a energia e a forma deixou de ser uma prioridade e a arquitetura tornou-se mais indiferente, baseada em tecnologias com consumo de energia. Na década de 1980, o dano ambiental produzido pelos edifícios passou a ser reconhecido, dando origem ao conceito de sustentabilidade nas edificações. Atualmente, após registos dos efeitos ambientais locais e globais e depois de direcionar a consciência global para a sustentabilidade, houve um retorno aos conceitos antigos da arquitetura (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013).

A arquitetura, nos dias atuais, tem um processo de desenvolvimento destinado a recuperar os valores arquitetónicos de proteção contra as condições climáticas adversas do exterior, tendo como objetivo o mínimo consumo (tanto em termos de consumo para construção, utilização, manutenção, quanto em termos de consumo no ciclo de vida do material) de energia e materiais. Os ajustes bioclimáticos compreendem três direções: energia, saúde e bem-estar e sustentabilidade (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013; Vyas and Jha, 2017).

A vertente da arquitetura que aborda o clima como uma variável importante no processo de projeto, considerando as interações do Sol com a edificação como um papel fundamental, é conhecida pelo termo "arquitetura bioclimática". Por sua vez, as estratégias que têm em atenção esta interação com o clima são denominadas "estratégias bioclimáticas". Estas estratégias são um conjunto de regras ou medidas destinadas a definir a forma dos edifícios e dos seus processos, sistemas e elementos construtivos. Quando as estratégias bioclimáticas escolhidas são corretas e economicamente viáveis, o edifício tem mais hipóteses de atingir as condições necessárias para o conforto térmico, diminuindo os consumos energéticos destinados para os mesmos fins (Gonçalves and Graça, 2004; Bot, 2015). O termo "passivo", neste caso, diz respeito à conceção do invólucro dos edifícios, enquanto que o termo "ativo",

diz respeito à utilização de qualquer outra fonte de energia, que não a energia solar, para o aquecimento de qualquer edificação (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013).

A localização da edificação define as condições térmicas a que esta está submetida, isto é, as situações microclimáticas criadas pela região e pelas suas respectivas variações térmicas. O local em que a edificação está inserida tem o poder de facilitar ou dificultar o conforto térmico, assim como determinar o dispêndio de energia. A latitude de uma região, em conjunto com a época do ano, determinará o ângulo de incidência dos raios solares em relação ao plano do horizonte do local. Quanto maior for a latitude de um local, menor será a quantidade de radiação solar recebida e, assim, as temperaturas do ar têm a tendência para serem menos elevadas (Moita, 1987).

Com o intuito da utilização dos recursos passivos, é possível tirar partido do sol, como fonte de calor. Para isso é necessário entender as variáveis que influenciam as trocas de calor com a edificação. Estratégias construtivas corretamente aplicadas a uma edificação permitem que esta apresente um menor consumo de energia, reduzindo a dependência de recursos provenientes de fontes energéticas não renováveis para a melhoria do conforto no interior do edifício e promovendo a sustentabilidade do edificado. A utilização do Sol para a melhoria de conforto térmico de uma edificação, deve ser um dos principais objetivos do projetista, quando se visa o uso racional de energia (Moita, 1987; Gonçalves and Graça, 2004).

A arquitetura bioclimática pelo facto de ter em conta a forma do edifício na construção vai condicionar as perdas térmicas. As perdas térmicas são diminuídas, por exemplo, em função da menor quantidade de saliências e reentrâncias e também em função da menor superfície exterior (Jones, Hudson and Ando, 1998; Gaitani, Mihalakakou and Santamouris, 2007). A relação da área exterior e do volume do edifício designado (coeficiente de forma), varia em função da geometria do edifício. Durante a realização do projeto da edificação, é importante o conhecimento do vento dominante, assim como a intensidade e frequência, pois são fatores relevantes para o efeito de dispersão térmica e aerodinâmica nos edifícios. A fachada virada a norte deve ter apenas a fenestração necessária para efeitos de iluminação, se possível, deve ser utilizado terreno, talude ou aterro para aumentar a proteção térmica. A fachada orientada a sul deve possuir janelas grandes, de modo a permitir ganhos diretos durante o inverno. Desta forma, é importante quantificar o potencial de redução das necessidades de energia para o aquecimento ambiente (Moita, 1987).

A manutenção da temperatura interna do organismo, faz-se por intermédio do seu aparelho termorregulador, que por sua vez reduz os ganhos ou o aumento das perdas de calor através de alguns mecanismos de controlo. A termorregulação, mesmo sendo uma função natural, para o controlo de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, conseqüentemente, uma queda na rentabilidade para com o trabalho de qualquer indivíduo (Frota and Schiffer, 1995).

O conforto térmico está relacionado com fatores pessoais, como a atividade metabólica de cada indivíduo ou o vestuário, também com fatores ambientais, tais como a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade e humidade relativa do ar. No que toca ao ambiente em que o utilizador do edifício está inserido, as variáveis climáticas que mais influenciam as edificações, em termos térmicos, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar, variável responsável pelas trocas de calor que acontecem na envolvente, determina o estabelecimento de fluxos energéticos entre a edificação e o ambiente que a rodeia. Os fatores ambientais podem ser condicionados quando se tem em conta a qualidade e a forma da envolvente do edifício (Moita, 1987).

O diagrama de Givoni (Givoni, 1992)(Figura 2), é um diagrama bioclimático, obtido sobre um digrama psicrométrico, que foi dividido em diferentes zonas para as quais é necessário utilizar estratégias para alcançar o conforto dentro do edifício. O eixo das abcissas representa a temperatura de bolbo seco, em °C, e o eixo das ordenadas mostra a humidade absoluta do ar, em kg/kg ar seco. As curvas que se destacam representam a humidade relativa. Neste diagrama, 7 zonas são delineadas com base nas definições anteriores de temperatura do bolbo seco e humidade do ar. Destas, a zona N é a zona de conforto ideal. Assim, podemos definir soluções climáticas e as estratégias arquitetónicas associadas, para mudar as condições ambientais da casa para a zona de conforto. Sempre que possível, serão propostas estratégias passivas, uma vez que estas não requerem energia de meios auxiliares mecânicos. Quando isso não for possível na sua totalidade serão utilizadas para ajudar a reduzir o uso de dispositivos mecânicos com consumo de energia. (Gonçalves e Graça, 2004). O diagrama de Givoni é apresentado na figura 2.

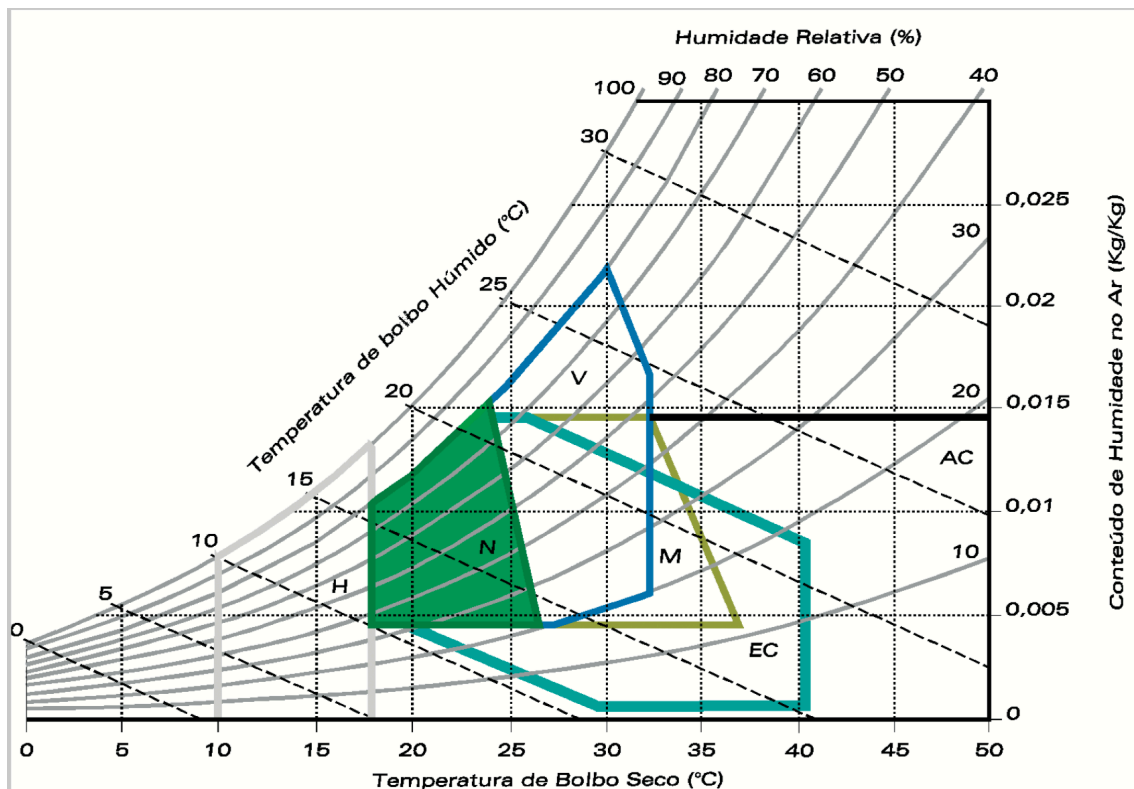


Figura 2. Diagrama de Givoni. Fonte: (Givoni, 1992) adaptado por: (Gonçalves e Graça, 2004).

A zona N, apresenta as condições ideais para o organismo humano se encontrar confortável, em condições de uso de roupas leves e de pouca atividade física. Esta zona é ligada por valores de temperatura entre 18°C e 26°C e valores de humidade relativa entre 20% e 80%. Nenhuma estratégia precisa ser implementada nesta zona, desde que as condições ambientais nela se encontrem dentro dos valores indicados. (Gonçalves e Graça, 2004)

Para a zona H que corresponde a climas de Inverno agressivo, serão essencialmente utilizadas estratégias de aquecimento. Deve-se tentar restringir perdas por condução, utilizando isolamentos nos elementos construtivos (paredes, coberturas, pavimentos e envidraçados). Também se deve tentar restringir as perdas por infiltração e tentar amenizar o efeito do vento no exterior do edifício, aplicando caixilharias com vedação eficiente, proteção dos ventos dominantes com vegetação e uma boa escolha da localização do edifício. Para além destas medidas também devem ser promovidos os ganhos solares para esta zona do diagrama. (Gonçalves e Graça, 2004)

As restantes zonas do diagrama (V, EC, AC, M e W) vão necessitar essencialmente de estratégias de arrefecimento. Para a zona V deve ser promovida a ventilação natural, esta zona por norma representa climas tropicais e equatoriais ou temperados de influência marítima. Para as zonas V, EC, AC, M e W deve-se tentar restringir os ganhos solares pois todas elas se encontram em climas que necessitam de arrefecimento. Nas zonas EC e M deve ser promovido o arrefecimento por evaporação, pois representam climas temperados secos, climas de regiões desérticas áridas e muito secos. Tendo em conta só a zona M deve ser praticado o arrefecimento por radiação, pois a mesma encontra-se num clima quente de influência continental de elevadas amplitudes térmicas como é a exemplo Alentejo e Algarve. Por fim temos a zona AC que não será possível atingir estados de conforto térmico sem recurso a meios mecânicos não passivos. (Gonçalves e Graça, 2004)

As estratégias caracterizam-se como sendo as medidas adotadas pela arquitetura para que seja atingida uma maior eficiência térmica e energética na edificação. É possível empregá-las em conjunto, pois podem ser complementares, umas das outras (Moita, 1987). Quando a edificação apresenta o desempenho térmico adequado, promovendo o conforto dos utilizadores, há economia de energia nos aparelhos que condicionam o ar. As estratégias passivas podem ser divididas em estratégias de controle de ganhos diretos - que favorece tanto o aquecimento quanto o arrefecimento, conforme a situação -, estratégias de aquecimento e estratégias de arrefecimento (Lamberts, Dutra and Pereira, 1997; Lamberts, Ghisi and PAPST, 2000).

No que toca à inovação dos processos de arquitetura bioclimática, em todo o mundo, os países que maior número de casos de estudo possui são Itália, Brasil, Grécia, EUA e Espanha. A maior parte da investigação vem tendo como objetivo a poupança de energia através da utilização de diretrizes bioclimáticas. A maioria das estratégias foi adaptada da arquitetura vernácula (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013). Segundo os mesmos autores, Entre as estratégias mais modernas, podemos destacar a integração de filmes fotovoltaicos, painéis fotovoltaicos integrados à fachadas (*Building Integrated Photovoltaics* - BIPV) finos em edifícios, coberturas verdes para atenuar os efeitos da radiação solar excessiva, a pulverização de água em coberturas, a colocação de tubos enterrados de 0,5 a 1,5 m de profundidade para fornecer ar mais frio durante o verão e ar mais quente durante o inverno, o uso de chaminés solares para promover a renovação do ar, com ar fresco, o uso de uma estufa envidraçada para fornecer energia térmica ao edifício e utilização do devido isolamento térmico na envolvente do edifício.

Uma das principais preocupações deste trabalho é a modelação da estratégia de coberturas verdes sendo-lhe dedicado um subcapítulo.

2.1.1. Ganhos diretos

Para Portugal, sempre que possível, a envolvente de maiores dimensões do edifício deve ser voltada para o sul, com a maior área de vãos envidraçados, de modo a permitir uma grande superfície exposta à radiação solar, tentando maximizar os ganhos térmicos no período de inverno. Durante o verão, estes mesmos ganhos diretos nas superfícies envidraçadas podem ser evitados por meio de utilização de palas de proteção solar e persianas (sombreamento), pois neste período é maior a altura solar (Lanham, Braz and Gama, 2007; Bot, 2015). A figura 3 apresenta o controlo dos ganhos térmicos relativamente à altura solar nos períodos de inverno e verão, por meio de uma pala de proteção solar.

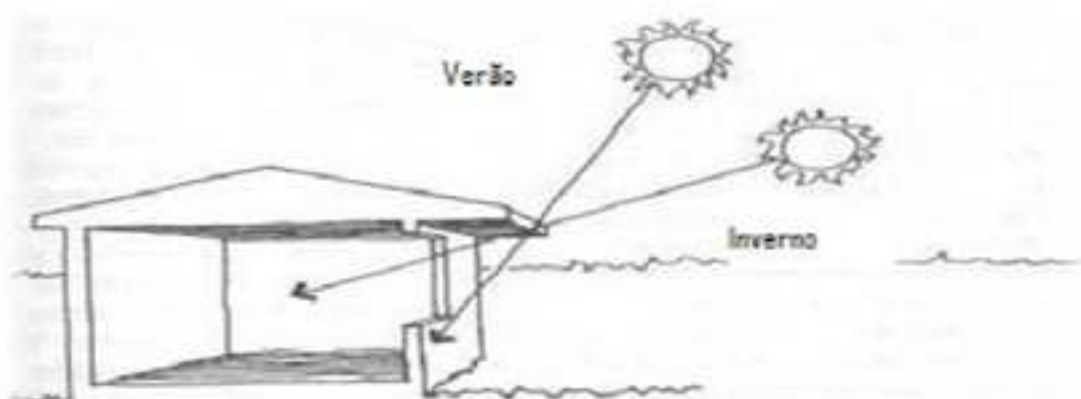


Figura 3. Controle de ganhos térmicos nas fachadas sul. Fonte: (Lanham, Braz and Gama, 2007).

O sombreamento dos vãos envidraçados é um recurso estratégico, que tem como principal função impedir a passagem da radiação solar indesejada, durante alguns períodos do ano. Para um projeto com este tipo de soluções, é necessário fazer uso de cartas solares para a localização da edificação, assim como de software especializado. O sombreamento pode ser feito de várias maneiras, desde as conhecidas palas de proteção solar, às persianas automatizadas em função de diferentes estratégias. Neste sentido, (Bot, 2015) afirma que a utilização de persianas operadas em função da temperatura do ar exterior, ou da radiação incidente, podem trazer uma redução de

cerca de 10°C no ambiente interior, quando comparado com o mesmo ambiente sem qualquer tipo de sombreamento nas superfícies envidraçadas.

Outro recurso também utilizado é a vegetação, que atua equilibrando as condições climáticas extremas. O microclima local é influenciado pelo tipo de vegetação, quantidade, densidade de folhagem, débito da evaporação e o posicionamento no terreno. As plantas de folha caduca, por exemplo, promovem sombreamento no verão e transparência no inverno, regulando a quantidade de radiação solar anual nas fachadas (Moita, 1987).

2.1.2. Aquecimento passivo

O aquecimento solar passivo tem sido utilizado, desde sempre, com grande sucesso. Para isso, o principal objetivo é que o projeto do edifício favoreça a acumulação de radiação solar e subsequentemente distribua essa energia a outras dependências ou a devolva posteriormente ao ar interior. A distribuição de energia pode ser direta através de radiação (gradientes de temperatura) ou convecção (aquecimento do ar em contato com as superfícies emissoras) ou indiretamente forçando o ar através de elementos acumuladores e seguidamente, forçando-o a circular no espaço. Existem vários tipos de soluções para esta problemática, porque a energia pode ser captada por qualquer parte das envolventes do edifício, incluindo o solo, as paredes, a cobertura e especialmente as aberturas (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013).

As paredes e a cobertura ficam carregadas com energia térmica proveniente da radiação solar e emitem, posteriormente, esta energia para os espaços a que são contíguas. Para telhados, o caso mais frequente é o dos telhados de água, que regulam a temperatura interior, esta solução é geralmente utilizada em hotéis, em áreas quentes onde a piscina é construída na cobertura para auxiliar a climatização. Ainda com menor utilização, coberturas verdes também ajudam a reduzir a procura de energia para o aquecimento.

As estratégias passivas de mais comum utilização para aquecimento, são a seguir listadas e brevemente descritas, por tópicos.

Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados, em continuidade ao apresentado na secção sobre o controlo dos ganhos diretos, são uma importante estratégia a ser utilizada para o aquecimento passivo. As janelas constituem grande parte da envolvente dos edifícios, principalmente de serviços (como exemplos grandes prédios com fachadas envidraçadas, ou estabelecimentos de ensino com grandes janelas nas salas de aulas), estando em contacto direto com o ambiente exterior. Assim, estas são zonas propícias à ocorrência de grandes trocas de calor. Os ganhos e perdas térmicas que ocorrem através dos envidraçados podem representar uma parcela significativa na energia consumida pelas edificações para aquecimento e arrefecimento (Sirgado, 2010).

De uma forma geral, da radiação total que incide num vão envidraçado, uma parte é transmitida instantaneamente para o interior, outra imediatamente é refletida para o exterior, e uma terceira parte absorvida pelo vidro. Nesta terceira parte, que é absorvida e que representa energia acumulada no vidro, há ainda uma parcela que posteriormente é enviada para o interior e outra que segue para o exterior, devido a fenómenos de convecção e radiação. A figura 4 ilustra a forma como a radiação que incide num envidraçado se decompõe e coloca em evidência as três partes referidas – radiação transmitida, refletida e absorvida. Os quocientes entre cada uma destas partes e a radiação total incidente representam as propriedades óticas (solares) de envidraçado (Sirgado, 2010).

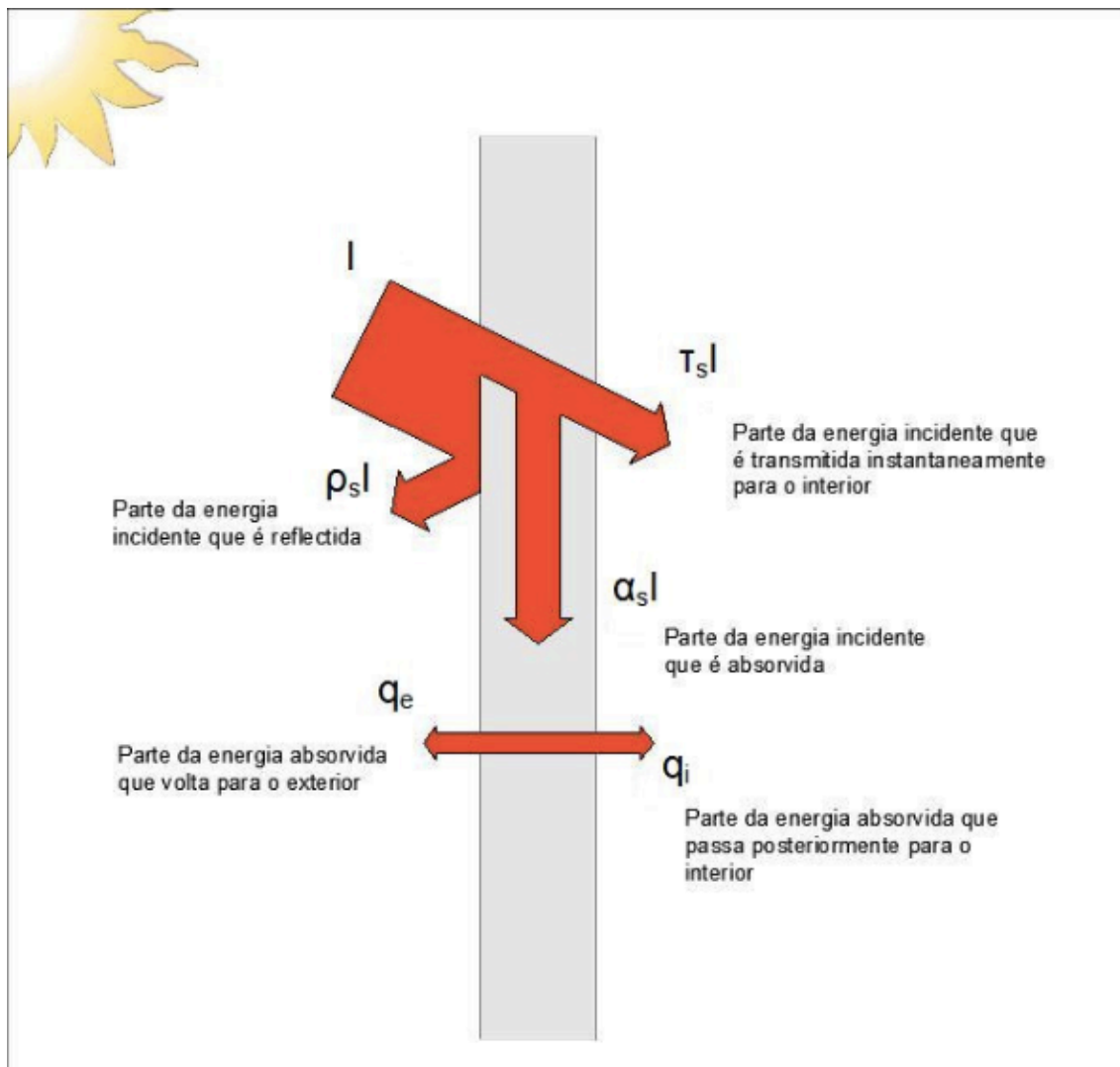


Figura 4. Interação da radiação com elementos translúcidos. Fonte: (Rodrigues, Piedade and Braga, 2009).

Durante muito tempo as janelas eram constituídas por apenas um vidro, ou seja, por um sistema que possuía somente um pano. Contudo, com o objetivo de tornar estas partes dos edifícios mais resistentes às trocas de calor, é prática corrente, a utilização de janelas constituídas por múltiplos panos. Com a introdução de um segundo pano é possível aumentar a resistência térmica do vidro para cerca do dobro (reduzindo o valor de U para metade). Ao introduzir-se numa janela um terceiro ou um quarto pano, o coeficiente de transmissão térmica (U) é diminuído ainda mais, embora numa proporção cada vez menor. É também importante ter em conta que os vidros triplos e quádruplos reduzem a quantidade de radiação solar e de luz visível que os atravessa e têm um custo bastante superior aos vidros simples ou duplos (Sirgado, 2010).

Parede de Trombe

Este sistema consiste num envidraçado devidamente orientado para a incidência dos raios solares, que na face interior tem uma parede de grande massa térmica. A separação entre o vidro e a parede deve ser entre 5 e 10 cm. A superfície exterior da parede pode ser pintada com uma cor escura para aumentar a captação da radiação solar. No espaço entre o vidro e a parede cria-se um sistema com efeito estufa. O ar aquecido pode ser imediatamente transferido para o espaço interior a ser aquecido, caso seja o pretendido. Quando se utiliza este método, a energia térmica é transferida para o interior e utilizada de imediato, no entanto para no Verão, para não causar situações de sobreaquecimento, a energia acumulada na parede deve ser reduzida (Bot, 2015), devendo-se sombrear a parede através de palas ou estores. Também durante o Verão deve ser fechada a fenestração inferior entre a parede e o vidro e aberta a fenestração superior entre a parede e o vidro, fechando a entrada superior para a habitação para que o calor seja libertado para o meio exterior, por efeito chaminé, para o bom funcionamento deve haver uma abertura para ventilação na parede oposta à parede de Trombe.

Durante as estações mais amenas como o Outono e Primavera a fenestração da parede deve ser aberta inferiormente entre a parede e o vidro, mas não para o interior da habitação, devendo a fenestração estar fechada superiormente ente o vidro e a parede e aberta para o interior da habitação. Assim o ar exterior será aquecido através de radiação direta e a partir do efeito de chaminé será encaminhado para o interior da habitação.

A figura 5 apresenta os diferentes funcionamentos das aberturas da parede de Trombe consoante à estação do ano.



Figura 5. Esquema de funcionamento de uma parede de Trombe. Fonte: (Gonçalves, 1997).

Estufas

Consistem num sistema de ganhos isolados, que utilizam o efeito dos ganhos diretos e indiretos. A energia solar armazenada nas estufas é transmitida aos espaços adjacentes por condução através das paredes divisórias comuns às duas zonas térmicas, e por convecção no caso de existirem orifícios que permitam a circulação entre ambos os espaços.

2.1.3. Arrefecimento passivo

O arrefecimento passivo utiliza “fontes frias” existentes para diminuir o desconforto térmico interior. É uma via útil para diminuir ou mesmo eliminar as necessidades de energia para arrefecimento. As coberturas são as superfícies que mais recebem radiação solar no verão e por consequência necessitam de especial atenção. Nesse sentido, no âmbito desta dissertação, as coberturas verdes são propostas como alternativa pra reduzir as necessidades de energia. Para além desta solução, serão apresentadas as estratégias de arrefecimento passivo mais comuns.

Arrefecimento através de uma elevada massa térmica

Esta estratégia compreende uma elevada massa térmica do invólucro do edifício que recebe e transmite a radiação para o interior, com uma diferença de fase para alcançar a uniformidade para com a temperatura ao longo do dia. Materiais acumuladores de calor ajudam a criar um desfasamento diário na transmissão da energia e a atenuar a intensidade da mesma. O ideal seria colocar um dispositivo de proteção diurna para evitar ganhos e favorecer a dissipação noturna. (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013).

Arrefecimento por evaporação

Esta estratégia é muito aconselhável em climas quentes e secos, ou seja, áridos. O conforto alcança-se reduzindo a temperatura através de evaporação da água, o que simultaneamente aumenta a humidade do ar. A humedificação pode ser conseguida com a utilização de vegetação exterior, água (lagoas ou fontes), tubos enterrados com um terço de água, cobertura vegetativa (coberturas verdes e paredes vivas), pulverização

de água, entre outros (Figura 6). Pátios complementados por presença de água e vegetação, ajudam a reduzir a temperatura e aumentam a humidade relativa, através de um processo de evapotranspiração.

No sistema de roof-sprayin, a água é aplicada na cobertura por um sistema de rega por aspersão (Gonçalves and Graça, 2004). O arrefecimento dá-se por contato direto na laje, produzido pela evaporação da água, fazendo com que exista uma zona de ar fresco que desce por convecção em direção ao solo, sendo canalizado naturalmente para o interior do edifício.

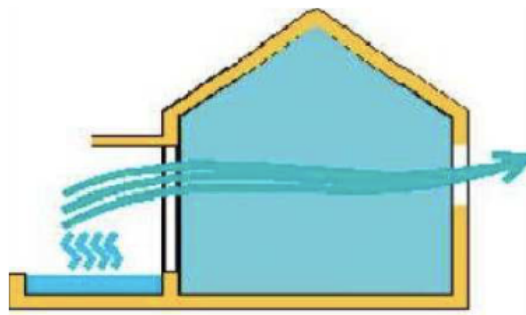


Figura 6. Arrefecimento por evaporação. Fonte: (Gonçalves and Graça, 2004).

Arrefecimento por ventilação natural

Uma melhor sensação térmica é obtida quanto o ar interior é renovado e simultaneamente temperado o mesmo ambiente, desde que a temperatura do ar exterior seja menor que a do ar interior. Este efeito pode ser obtido naturalmente usando ventilação cruzada de fachadas de norte para sul, ou com ventos dominantes, com efeito de chaminé, uma câmara solar, ventilação subterrânea, torres de vento ou torres de evaporação (Manzano-Agugliaro *et al.*, 2013).

A ventilação natural é o fluxo de ar que se gere por via de janelas abertas, portas e outros orifícios nas envolventes da edificação. A promoção do conforto térmico dos utilizadores dá-se, ou através do efeito fisiológico direto - ao abrir as janelas e permitir que a velocidade do ar aumente a taxa de evaporação na superfície da pele, reforçando a sensação de arrefecimento - ou de maneira indireta, através de ventilação noturna (Givoni, 1994). Quando a edificação é ventilada apenas à noite, é promovido o arrefecimento da massa interna da edificação que, durante o dia seguinte diminui a taxa de aumento da temperatura interna.

Como principais benefícios gerados pela ventilação natural está a captação de ar fresco com a consequente remoção de odores, o arejamento durante as atividades domésticas, a renovação do ar, além de diminuir o consumo de energia em edificações, evitando parcial, ou totalmente o ar condicionado. Para que os benefícios sejam atingidos, no entanto, é necessário ter em consideração alguns fatores. O ar exterior deve ser limpo, a temperatura no exterior deve estar dentro dos limites de conforto para não provocar desconforto térmico, também não devem surgir problemas ambientais e sociais, tais como o ruído ou a perda de privacidade (Bot, 2015).

2.1.4. Coberturas verdes

As coberturas verdes – também chamadas de coberturas ecológicas, coberturas vivas ou jardins de telhado – são frequentemente identificadas como uma estratégia valiosa para tornar os edifícios mais sustentáveis. As coberturas verdes, que de uma forma simplificada possuem plantas na sua camada final, são geralmente construídos para melhorar a eficiência energética dos edifícios em que estão inseridos, mas existem muitos outros benefícios. A sua camada de vegetação realiza processos de fotossíntese, enquanto a sua camada de solo permite uma absorção parcial das águas das chuvas (Berardi, GhaffarianHoseini and GhaffarianHoseini, 2014). O facto de ser possível encontrar vegetação em zonas urbanas, onde as zonas verdes são cada vez mais escassas só por si já é uma vantagem. Este tipo de solução construtiva tem sido utilizado em diversos países, durante vários séculos, e para diferentes condições climáticas, no entanto tanto em países muito frios como em muito quentes este tipo de solução não é possível (Williams, Rayner and Raynor, 2010; Peri *et al.*, 2012), remetendo às coberturas verdes utilizadas nos ziguetes da antiga mesopotâmia.

Em termos construtivos, as coberturas verdes são geralmente classificadas em duas categorias: extensivas ou intensivas. Além de diferenciarem na profundidade, estas categorias diferenciam-se também no tipo de vegetação, material de construção, gestão e utilização destinada. A figura 7 apresenta uma ilustração genérica das duas categorias. A letra C representa a laje, a letra B representa a barreira radicular e a letra A representa o tecido geotêxtil (Tectonica Online, 1993). A estrutura de uma cobertura verde inclui a camada de vegetação, o meio de cultivo (ou camada de solo), a camada de drenagem e a camada de membrana, esta serve como filtro, e camada de impermeabilização (Castleton *et al.*, 2010). Também existem outros constituintes

inerentes a esta solução que frequentemente são necessárias, como o sistema de irrigação e os filtros suplementares. Na figura 7, o esboço superior refere-se ao tipo intensivo, ao passo que o inferior corresponde ao tipo extensivo. A figura 8 ilustra as camadas típicas.

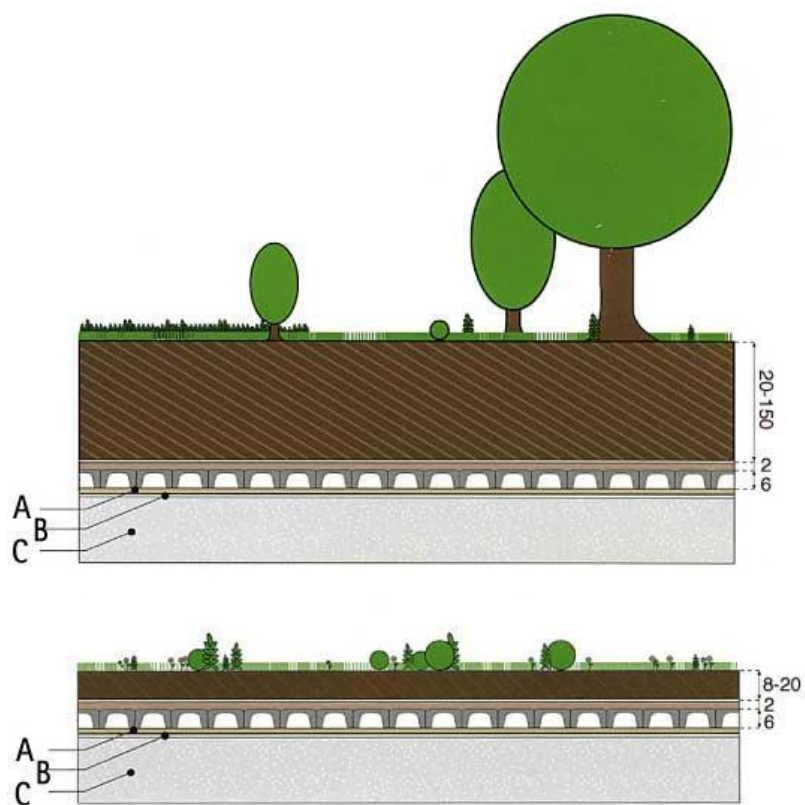


Figura 7. Telhado verde do tipo intensivo e extensivo, respetivamente. Fonte:

<http://www.tectonica->

[online.com/products/1993/panel_controlling_garden_irrigation_work_drainage_elements/](http://www.tectonica-online.com/products/1993/panel_controlling_garden_irrigation_work_drainage_elements/)

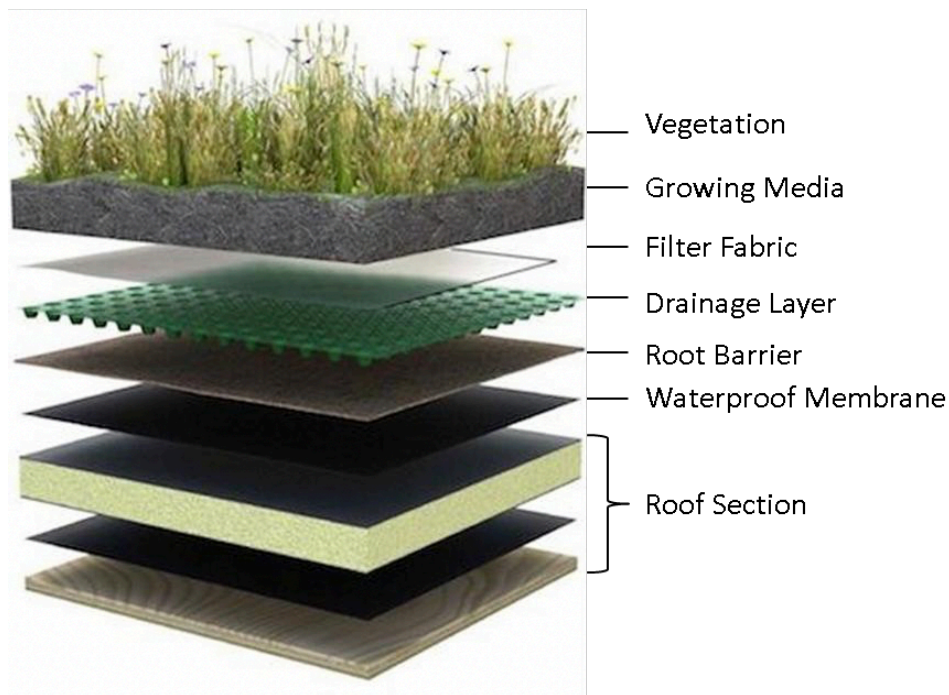


Figura 8. Camadas típicas de um telhado verde. Fonte: (*greenerheights.wordpress.com* 2012).

As coberturas verdes intensivas caracterizam-se por um estrato de solo profundo para ser possível inserir um grande número e variedade de espécies de plantas – o que resulta numa desvantagem devido à necessidade de uma manutenção mais metódica. Na categoria intensivos, vários tipos de plantas podem ser inseridos para criar um ambiente mais natural atraente com uma biodiversidade melhorada e ao mesmo tempo proporcionar espaços de recreação. As coberturas intensivas propiciam melhor isolamento, uma melhor gestão das águas pluviais resultando edifícios com melhores desempenhos energéticos, comparativamente com as coberturas extensivas. No entanto, o seu elevado peso pode exigir uma estrutura reforçada, drenagem e irrigação que geralmente aumenta a complexidade técnica e custos associados (Berardi, GhaffarianHoseini and GhaffarianHoseini, 2014).

As coberturas extensivas, por sua vez, caracterizam-se por um menor peso do estrato de solo que por sua vez requer uma menor manutenção (Spala *et al.*, 2008), ou até mesmo auto manutenção (Berardi, GhaffarianHoseini and GhaffarianHoseini, 2014). As coberturas extensivas pesam menos e são apropriados para coberturas de grandes dimensões, o seu processo de construção é tecnicamente simples e permite a sua aplicação em telhados inclinados. Os tipos de plantas que podem ser utilizados para

extensas coberturas verdes são limitados, e por consequência tanto o desempenho energético, quanto os potenciais de gestão de águas pluviais são relativamente baixos.

Selecionar as espécies de plantas para uma cobertura verde é uma questão de relativa importância. A plantação de enxertos ou colocação de sementes no leito do solo são geralmente aplicadas no caso de plantas herbáceas, enquanto que, quando se utilizam enxertos enraizados, o plantio ocorre em áreas especificamente dispostas no solo (Spala *et al.*, 2008). Dependendo da área total da cobertura, podem ser utilizadas inúmeras combinações de árvores, arbustos, flores e várias outras formações, como pequenos lagos. A seleção das espécies a serem inseridas depende, em suma, da altura final desejada da planta, do seu período de floração, bem como o tipo de solo que estas plantas necessitam.

Um aspeto muito importante é a conservação das coberturas verdes para que estas preservem a sua relação benéfica com a edificação. Plantas relativamente grandes devem ser podadas de forma adequada para que sejam protegidas contra ventos fortes, a inspeção e desobstrução dos bocais são necessárias para evitar situações indesejadas devido a drenagem ineficiente (Spala *et al.*, 2008). A impermeabilização entre o substrato da cobertura e a parte superior da estrutura (laje ou outro elemento) precisa ser executada cuidadosamente, pois é essencial garantir a estanquidade.

Em termos térmicos, as coberturas verdes essencialmente impedem a penetração da radiação solar para os elementos de construção cobertos por esta, melhorando o desempenho térmico da edificação através de sombreamento, isolamento e massa térmica (Liu and Baskaran., 2004). As coberturas verdes mais profundas produzem um menor ganho de calor e, conseqüentemente, uma menor perda do mesmo. Por exemplo um aumento de 10 cm na espessura de um solo argiloso seco, aumenta a sua resistência térmica em 0,4 m² K/W (Wong *et al.*, 2003). No entanto, a presença e a quantidade de água influencia amplamente as propriedades térmicas da cobertura. De facto, uma cobertura húmida proporciona evapotranspiração adicional, o que evita que um maior fluxo de calor entre no edifício e atua como um arrefecimento passivo, ajudando na climatização do edifício (Emilsson, 2008; Nagase and Dunnett, 2010; Berardi, GhaffarianHoseini and GhaffarianHoseini, 2014).

O processo é descrito, segundo os autores: o calor radiativo emitido pelo sol domina o balanço energético de uma cobertura verde. A radiação solar é equilibrada pelo fluxo de calor sensível (convecção) e latente (evaporativo) do solo e das superfícies das plantas, combinado com a condução de calor no substrato do solo e radiação de ondas longas

(térmica) para e a partir do solo e das superfícies foliares. Numa cobertura verde diferentes fenómenos ocorrem:

- O solo funciona como uma massa de inércia com alta capacidade calorífica, alto tempo de atraso e baixa transmissão térmica dinâmica;

- A folhagem comporta-se como um dispositivo de sombreamento sob o qual a convecção do calor ocorre, mas esta absorve parte da energia térmica para o seu processo vital de fotossíntese. As coberturas verdes refletem entre 20% e 30% da radiação solar, e absorvem até 60% dela através da fotossíntese. Isto significa que uma percentagem inferior a 20% do calor é que é transmitido;

- As camadas de solo e de vegetação induzem evaporações e evapotranspiração.

A redução do consumo energético em edifícios com coberturas verdes foi avaliada através de numerosos estudos experimentais e teóricos. A contribuição energética exata dos sistemas de coberturas verde depende de parâmetros previamente definidos e também das características específicas do edifício. No entanto, o desempenho de uma cobertura deste género é determinado principalmente pela magnitude de calor latente libertado. Estudos anteriores mostram que o calor latente (fenómeno evaporativo) de uma cobertura verde varia entre 100 e 600 W/m² em função das características específicas da cobertura, do edifício e do teor de água presente na cobertura (Karachaliou, Santamouris and Pangalou, 2016). Dado que os níveis de humidade na atmosfera determinam o potencial de evaporação das coberturas verdes, o seu desempenho térmico é maior em climas secos.

2.2. Soluções construtivas

O ambiente interior do edifício é aquecido diretamente pelo sol, através de vãos envidraçados que devem ser orientados de preferência para sul, no caso de Portugal. As paredes devem ser dotadas de grande inércia térmica. A inércia térmica refere-se ao facto de armazenar calor dentro do envelope da edificação, funcionando como um dissipador de calor, evitando a oscilação e os picos durante o dia e dissipando o calor mais tarde. A inércia térmica é a capacidade de uma edificação de armazenar e liberar calor (Yannas and Maldonado, 1995). Uma edificação com pouca inércia está muito próxima da variação da temperatura externa e supondo uma inércia infinita, a temperatura permaneceria constante. Tendo estes conceitos em conta, a necessidade

de grande inércia térmica aumenta quanto maior for a variação da temperatura externa, radiação solar ou ganhos de calor. A razão entre o calor absorvido e o calor armazenado nos materiais da edificação depende da capacidade térmica do material que compõe a envolvente (Bot, 2015).

Os materiais de elevada inércia térmica permitem naturalmente a utilização de sistemas de ganhos diretos, sendo necessário que os vãos envidraçados estejam bem orientados, para que assim seja possível captar a radiação solar. Durante o dia, as massas térmicas da construção funcionam como acumuladores de calor. Já durante a noite esse calor é libertado, atenuando assim a amplitude térmica no interior do edifício. A envolvente do edifício deverá ter isolamento adequado, para que se possa minimizar as perdas durante a noite (Lamberts, Ghisi and PAPST, 2000).

3. Estudo de caso

Neste capítulo da dissertação são apresentadas as informações referentes à caracterização do estudo de caso, características do modelo de referência e dos modelos relativos às diferentes estratégias simuladas. A edificação do caso de estudo é o Edifício de Engenharia Civil no Campus da Penha na Universidade do Algarve, em Faro. Este edifício possui três pisos, sendo eles o Rés-do-chão, 1º andar e 2º andar tendo uma cobertura acessível parcialmente sombreada. Em cada um dos andares existem salas de aulas, arrecadações, casas de banho e salas de estudo com uma área útil de 545m². O edifício está localizado nas coordenadas 37.025828, -7.923187, com a altitude de 10 metros em relação ao nível do mar, tendo o mesmo sido inaugurado em 7 de junho de 2004.

3.1. Características do edifício

3.1.1. Geometria

Na arquitetura o edifício cujos alçados e plantas se apresentam nas figuras 9,10,11,12,13,14 e 15 é de forma retangular, tem estrutura em betão armado e paredes de alvenaria. Possui uma fachada virada a noroeste com 40.13m de comprimento e 12.14m de altura, dispondo cada piso de três grandes vãos envidraçados com 6.7m de comprimento por 3.2m de altura posicionados alinhados entre pisos como e possível verificar na figura 9. Os vãos envidraçados possuem uma área total de 192,96m², representando 39.64% desta parte da fachada virada a noroeste.

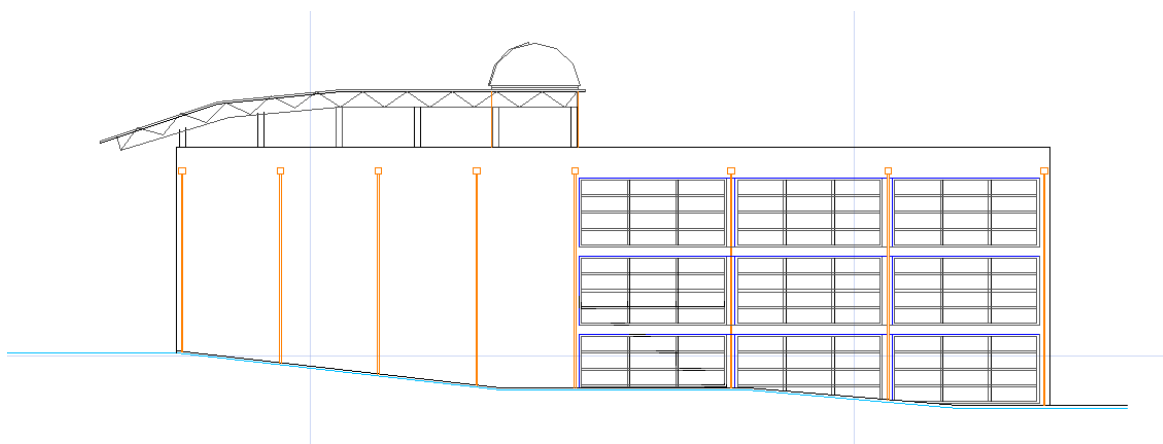


Figura 9. Fachada noroeste Edifício Eng. Civil Campus Penha – Universidade do Algarve.

A fachada sudeste tem a mesma área da virada a noroeste, alterando na sua arquitetura, sendo constituída por portas e janelas de vidro, dispostas nos vários pisos do edifício, sendo parcialmente sombreada por uma estrutura metálica permanente, como é possível verificar na figura 10.

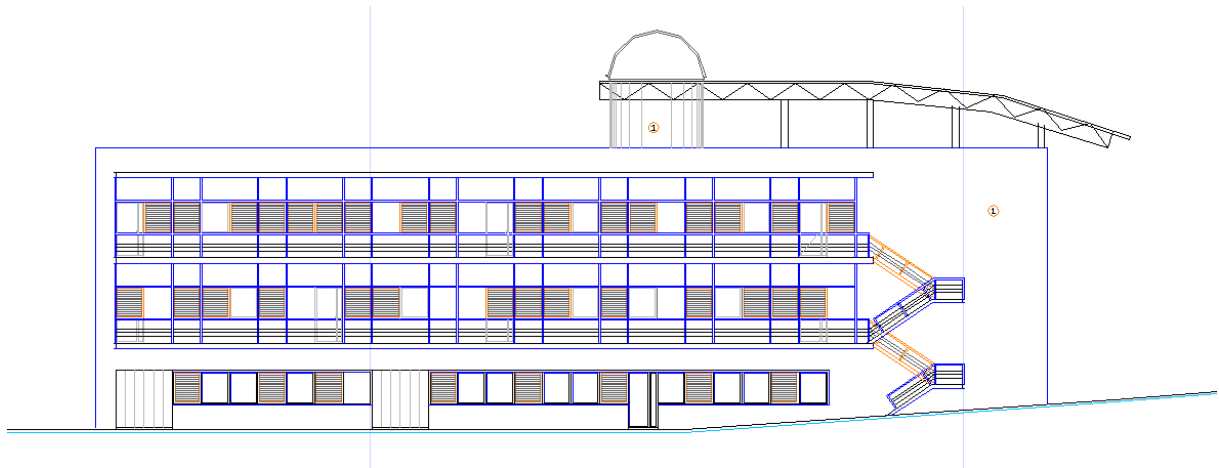


Figura 10. Fachada sudeste Edifício Eng. Civil Campus Penha – Universidade do Algarve.

A fachada poente não dispõe de vãos e a nascente é composta por janelas colocadas nas instalações sanitárias e arrecadações bem como uma porta, como é possível verificar na figura 11.

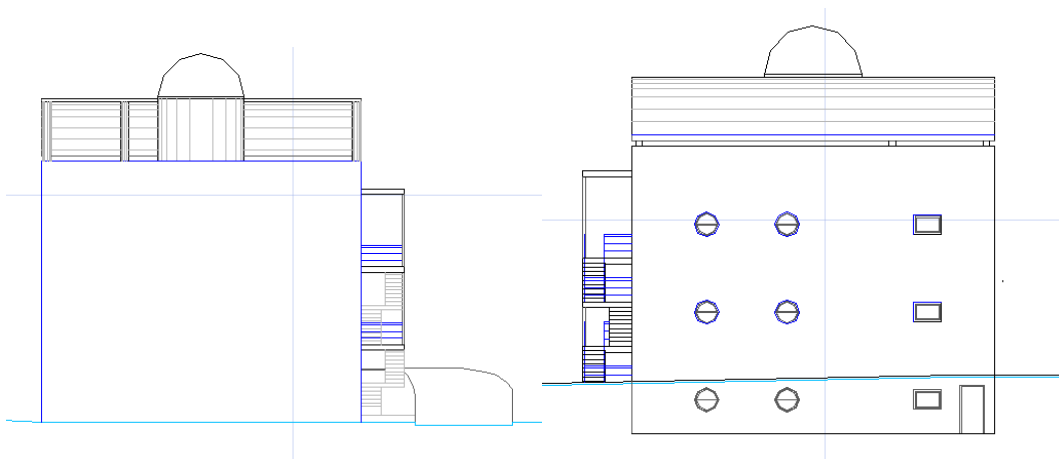


Figura 11. Fachada Oeste e fachada Este, respetivamente.

As configurações dos pisos e cobertura apresentam-se nas figuras 12 a 15, acompanhadas das respetivas legendas.

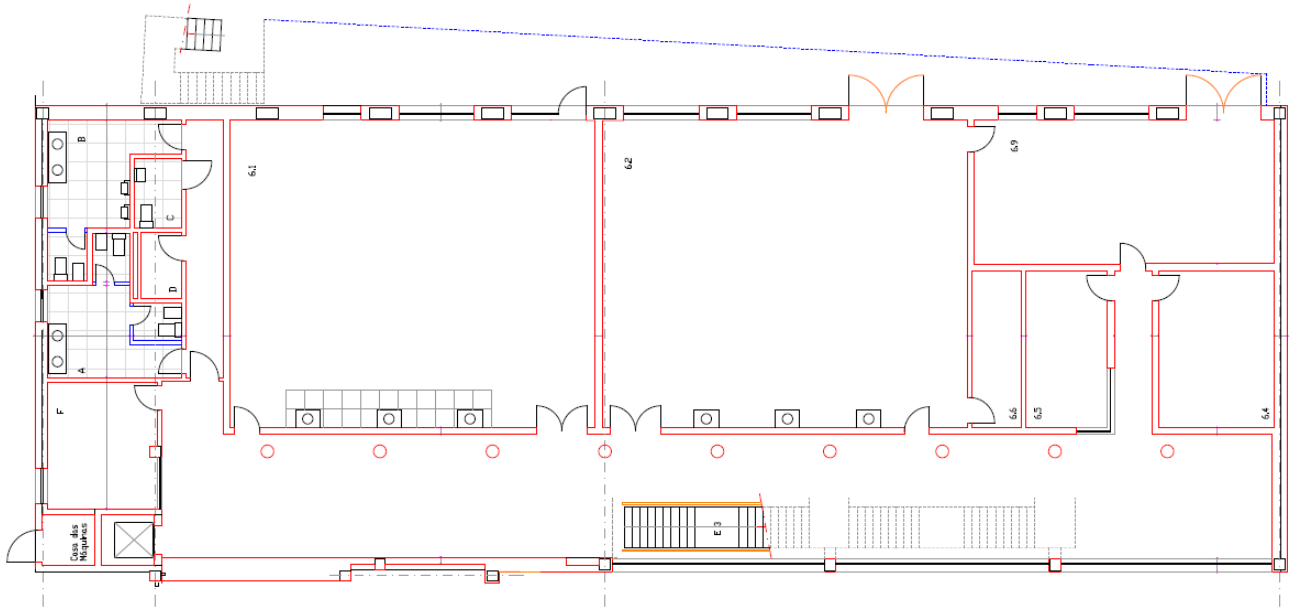


Figura 12. Planta Rés-do-chão, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.

Legenda:

A – I.S. Feminino (13,61m²)

B – I.S. Masculino (12,93m²)

C – I.S. Deficientes (3,30m²)

D – Arrecadação / Arrumos (2,73m²)

F – Sala de Contínuos (14,20m²)

E3 – Escada

6.1 – Sala de Desenho (25 alunos, 114,46m²)

6.2 – Sala de trabalho / Oficina de materiais (114,46m²)

6.3 – Sala de Serigrafia (43,96m²)

6.4 – Gab. de imagem animada (18,59m²)

6.5 – Gab. pessoal técnico (13m²)

6.6 – Arrecadação de apoio (7,93m²)

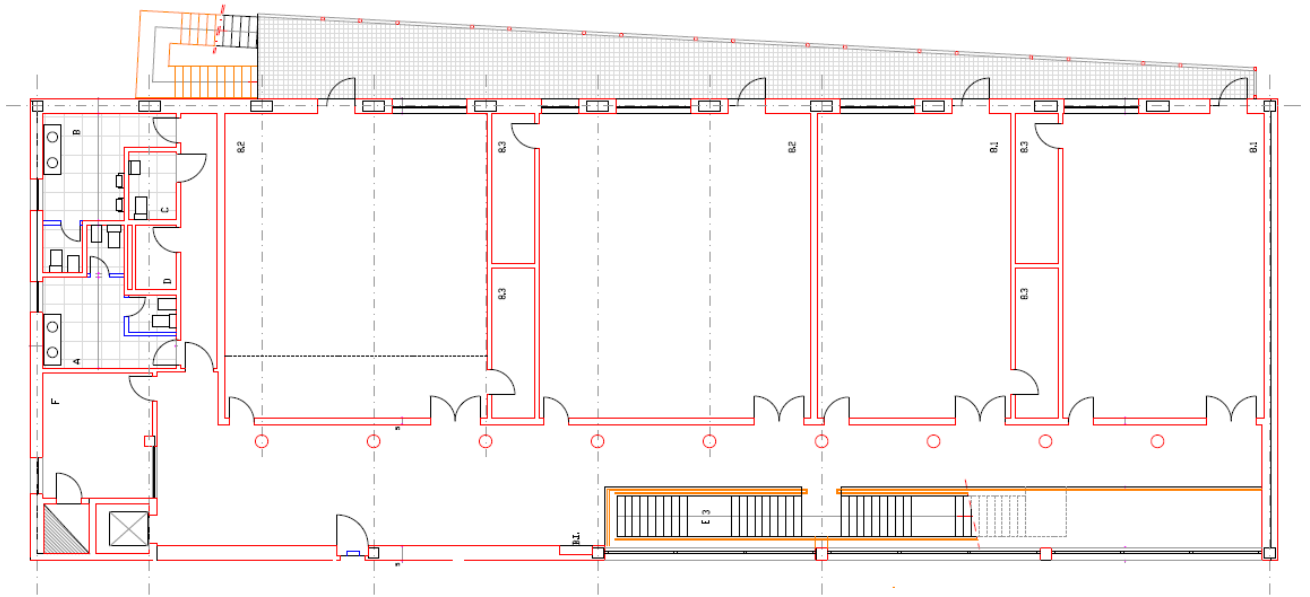


Figura 13. Planta 1º Andar, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.

Legenda:

A – I.S. Feminino (13,61m²)

B – I.S. Masculino (12,93m²)

C – I.S. Deficientes (3,30m²)

D – Arrecadação / Arrumos (12,60+2,73m²)

F – Sala de Contínuos (14,20m²)

E3 – Escada

8.1 – Sala de Aula (30 alunos, 60,98+63,60m²)

8.2 – Sala de aula (50 alunos, 82,89+85,50m²)

8.3 – Arrecadação de apoio (4x6,51m²)

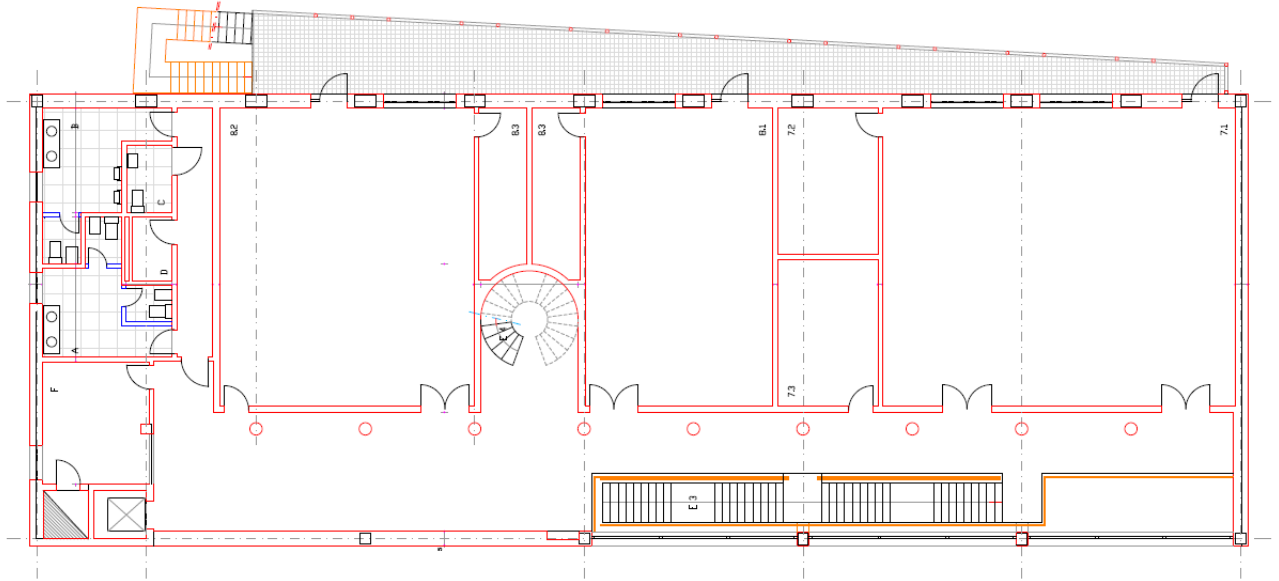


Figura 14. Planta 2º Andar, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.

Legenda:

A – I.S. Feminino (13,61m²)

B – I.S. Masculino (12,93m²)

C – I.S. Deficientes (3,30m²)

D – Arrecadação / Arrumos (2,73m²)

F – Sala de Contínuos (14,20m²)

E3 – Escada

E4 – Escada

7.1 – Sala de Desenho (25 alunos 113,83m²)

7.2 – Arquivo (15,92m²)

7.3 – Arrecadação de material topografia (15,92m²)

8.1 – Sala de Aula (30 alunos, 60,61m²)

8.2 – Sala de aula (50 alunos, 81,98m²)

8.3 – Arrecadação de apoio (2x8,66m²)

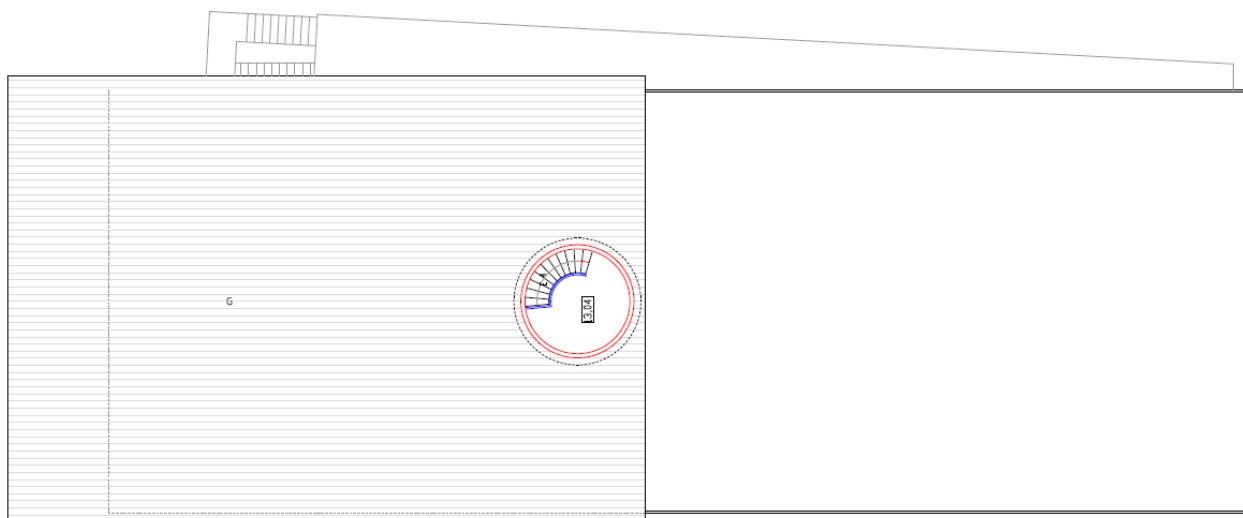


Figura 15 - Planta Cobertura, Edifício Eng. Civil, Campus Penha, Universidade do Algarve.

Legenda:

E4 – Escada

G – Estrutura metálica fixa de sombreamento

3.1.2. Envolventes

As envolventes do edifício são constituídas por paredes de alvenaria, de pano duplo, rebocadas em ambas as faces, no exterior com reboco tradicional, no interior com reboco estucado e pintadas. Têm a espessura de 44cm, construídas com blocos de leca de 50x20x20 e 50x20x15, sendo o último valor correspondente à espessura, com isolamento térmico por placas de *Wallmate* com a espessura de 3cm entre os dois panos de alvenaria. No interior as paredes divisórias são de alvenaria com pano simples rebocado em ambos os lados para paredes que sejam divisórias entre salas. Para as paredes comuns a corredores e salas o lado da sala é rebocado com estuque e o lado do corredor fica com o bloco à vista sendo apenas pintado. Estas paredes têm uma espessura de 23cm e são construídas com blocos de leca de 50x20x20.

A cobertura é composta por uma camada de forma em betão leve de espessura 8cm sobre a laje de betão armado para regularização e criação de pendentos, seguido de um primário betuminoso posteriormente uma membrada de Derbigum de 4mm, aplicando em cima placas de Roofmate de 5cm de espessura, finalizando com betonilha

com rede malhasol. Esta zona é parcialmente sombreada por uma estrutura metálica fixa.

Os elementos construtivos da edificação e suas características são descritos nas tabelas seguintes (descrição por camadas constituintes, de fora para dentro).

Tabela 1. Materiais constituintes das paredes exteriores.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Parede exterior	Reboco tradicional	0,030	1,300	1800	1000
	Bloco Leca 15	0,150	0,150	950	840
	Placa XPS Wallmate	0,030	0,037	25	1550
	Bloco Leca 20	0,200	0,200	950	840
	Reboco estucado	0,030	0,400	1000	840

Tabela 2. Materiais constituintes da cobertura.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Cobertura	Betonilha regularização	0,100	1,300	1800	1000
	Placa XPS Roofmate	0,050	0,037	25	1550
	Membrana asfáltica	0,004	0,230	1050	1460
	Primário betuminoso	0,001	0,170	1050	1460
	Betonilha leca	0,080	0,330	900	1000
	Laje betão armado	0,200	2,500	2400	1000

Tabela 3. Materiais constituintes das paredes interiores ligando salas e corredores.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Parede Interior Sala Corredor	Bloco Leca 20	0,200	0,200	950	840
	Reboco estucado	0,030	0,400	1000	840

Tabela 4. Materiais constituintes das paredes interiores ligando as salas.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Parede Interior salas	Reboco estucado	0,030	0,400	1000	840
	Bloco Leca 20	0,200	0,200	950	840
	Reboco estucado	0,030	0,400	1000	840

Tabela 5. Materiais constituintes dos pisos entre corredores.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Piso corredores	Reboco estucado	0,030	0,400	1000	840
	Laje betão armado	0,200	2,500	2400	1000
	Betonilha regularização	0,160	1,300	1800	1000
	Mosaico Silstone 60x60	0,010	0,690	1700	840

Tabela 6. Materiais constituintes dos pisos entre salas.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Piso salas	Gesso cartonado	0,010	0,250	875	840
	Laje betão armado	0,200	2,500	2400	1000
	Betonilha regularização	0,170	1,300	1800	1000
	Parquet industrial	0,020	0,180	657,5	1340

Tabela 7. Materiais constituintes do piso térreo nos corredores.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Piso térreo corredores	Laje betão armado	0,200	2,500	2400	1000
	Betonilha regularização	0,190	1,300	1800	1000
	Mosaico silstone 60x60	0,010	0,690	1700	840

Tabela 8. Materiais constituintes do piso térreo nas salas.

Elemento	Material	Espessura [m]	Condutividade térmica [W/m-K]	Massa específica [kg/m ³]	Calor específico [J/kg-K]
Piso térreo salas	Laje betão armado	0,200	2,500	2400	1000
	Betonilha regularização	0,180	1,300	1800	1000
	Parquet Industrial	0,020	0,180	657,5	1340

3.1.3. Clima característico

De acordo com a Climate-data.org, (2018), o clima em Faro é quente e temperado, com verões menos chuvosos do que invernos. Na escala de Koppen e Geiger, é classificado como Csa (clima mediterrânico de verões quentes), e possui 17,2°C de temperatura média e variação de 11,6°C das temperaturas durante o ano. Na figura 16 é possível observar os principais dados climáticos para os meses do ano.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	11.9	12.6	13.8	15.2	17.5	20.6	23.3	23.5	21.9	18.9	15.1	12.6
Temperatura mínima (°C)	7.8	8.5	9.3	10.8	13	15.9	18	18.2	17.1	14.5	11	8.6
Temperatura máxima (°C)	16	16.7	18.3	19.7	22.1	25.4	28.6	28.8	26.8	23.3	19.3	16.7
Temperatura média (°F)	53.4	54.7	56.8	59.4	63.5	69.1	73.9	74.3	71.4	66.0	59.2	54.7
Temperatura mínima (°F)	46.0	47.3	48.7	51.4	55.4	60.6	64.4	64.8	62.8	58.1	51.8	47.5
Temperatura máxima (°F)	60.8	62.1	64.9	67.5	71.8	77.7	83.5	83.8	80.2	73.9	66.7	62.1
Chuva (mm)	87	58	50	36	24	12	1	1	15	58	75	84

Figura 16. Dados climáticos mensais referentes a localidade de Faro. (Fonte: Climate-data.org, 2018)

3.2. Modelo computacional

As ferramentas computacionais para simulação são desenvolvidas com o intuito de facilitar a análise e a avaliação em projeto quanto ao comportamento energético, térmico, acústico de iluminação, entre outros. Estas têm vindo a tornar-se mais importantes para um melhor projeto. No entanto, o recurso ainda é pouco utilizado pelos profissionais devido à complexidade dos fenómenos envolvendo o comportamento térmico dos edifícios, que implica uma grande quantidade de dados de entrada na simulação, o que requer conhecimentos multidisciplinares por parte dos utilizadores. Mesmo com várias dificuldades de utilização, as simulações têm sido uma grande mais-valia nas investigações sobre comportamento térmico e energético.

Para as simulações computacionais efetuadas na presente dissertação, utilizou-se o software *EnergyPlus*. Este programa foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, com o objetivo principal de estimar as trocas térmicas, níveis de iluminação, aquecimento e arrefecimento, ventilação natural, utilização de água, sistemas fotovoltaicos, índices de conforto térmico, entre outros. É possível adaptar o programa a diferentes climas, a partir de arquivos climáticos com dados horários. Como resultado, obtém-se uma vasta gama de dados calculados, tais como temperaturas interiores, temperaturas superficiais, ganhos internos de calor, trocas de ar e consumos energéticos.

O arquivo climático utilizado para a modelação do edifício pode ser encontrado na base de dados de arquivos climáticos em formato próprio para a simulação (epw – EnergyPlus Weather Data File). Esta base de dados é fornecida pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos no site do programa *EnergyPlus*, sendo utilizado o específico para a cidade de Faro.

3.2.1. Modelo referência

O modelo de referência é o modelo base que efetivamente representa a edificação. As zonas térmicas foram definidas de acordo com a finalidade do espaço e exposição solar, isto é, por andares e separando as salas (fachada principal orientada a noroeste) do corredor (fachada principal orientada a sudeste). Para o efeito de modelação da edificação, delimitaram-se 4 zonas térmicas, cada uma representando um dos seguintes ambientes: corredores e escada 1, salas do rés-do-chão 2, salas do 1º andar 3, salas do 2º andar 4. As zonas térmicas são descritas pelas tabelas 9 e 10 que se seguem, sendo as mesmas especificadas quanto à sua área e pé direito.

Tabela 9. Áreas e pé direito das zonas térmicas definidas.

Piso	Zona térmica	Área [m ²]	Pé direito médio [m ²]
Rés-do-chão	Corredor (zona 1)	155	3
	Salas (zona 2)	384	3
1º andar	Corredor (zona 1)	155	3
	Salas (zona 3)	384	3
2º andar	corredor (zona 1)	155	3
	Salas (Zona 4)	384	3

Tabela 10. Áreas totais nas zonas térmicas definidas.

Área total zona térmica 1 [m ²]	465
Área total zona térmica 2 [m ²]	384
Área total zona térmica 3 [m ²]	384
Área total zona térmica 4 [m ²]	384

As figuras 17,18 e 19 seguintes representam as zonas térmicas descritas. O modelo é constituído por quatro diferentes zonas térmicas, sendo a zona térmica do corredor (Zona térmica 1 ilustrada nas figuras) pertencente a todos os pisos, uma vez que se constitui em um espaço aberto.

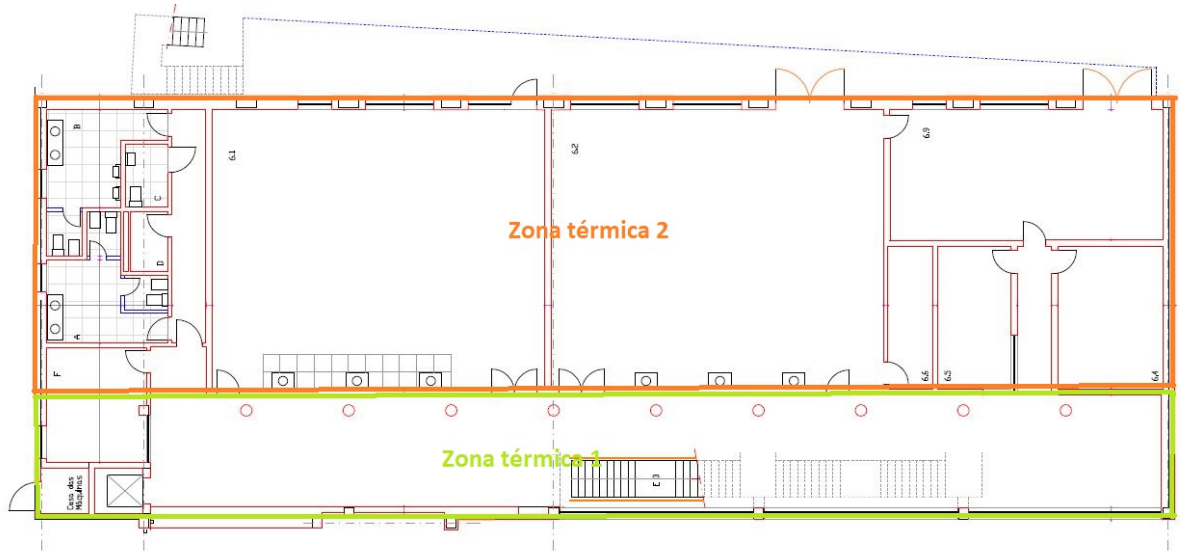


Figura 17. Zonas térmicas do Rés-do-chão.

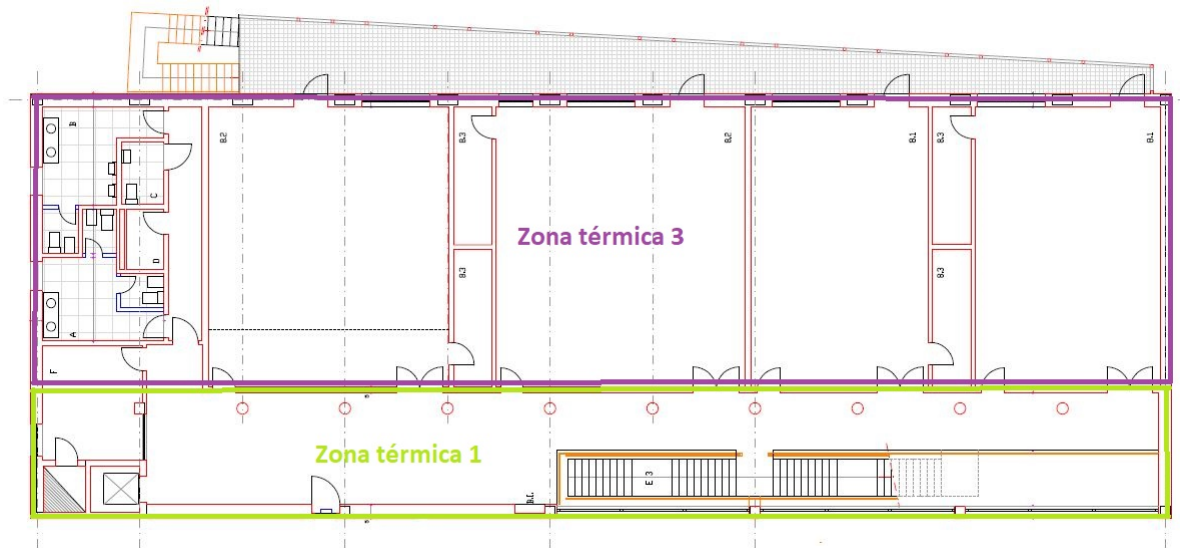


Figura 18 - Zonas térmicas 1º andar.

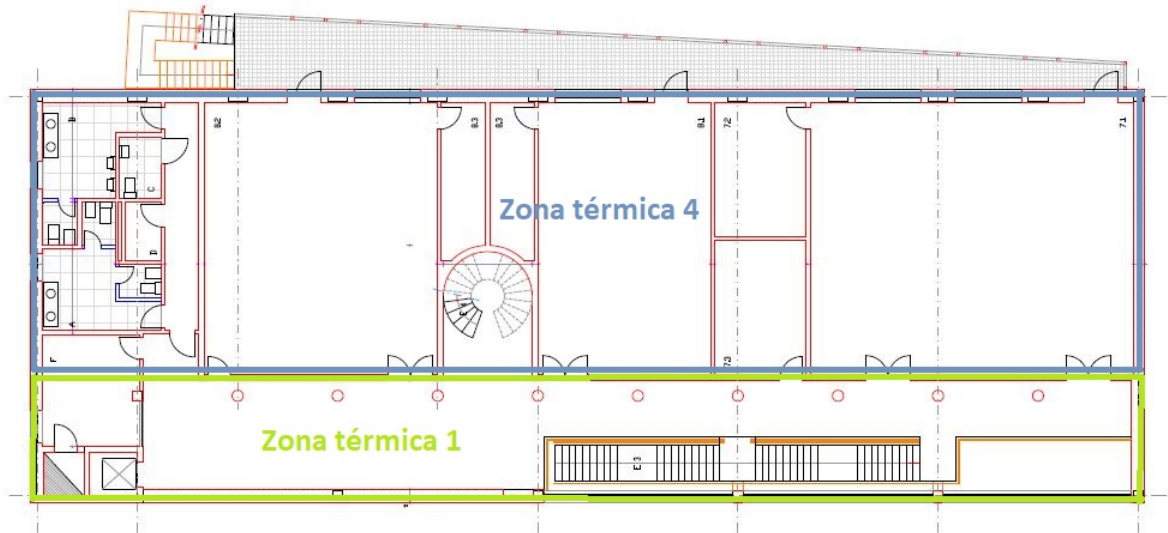


Figura 19 - Zonas térmicas 2º andar.

A figura 20 e figura 21 apresentam imagens reais do edifício. Na figura 22 e figura 23 é possível observar a geometria em 3D do modelo, desenvolvida no software *SketchUp* com recurso ao Plug-in *OpenStudio*, que permite que a geometria (incluindo todas as superfícies determinadas) seja exportada em pontos de coordenadas para o software *EnergyPlus*.



Figura 20. Imagem fachada principal do Departamento de Engenharia Civil.



Figura 21. Fachadas lateral e traseira do Departamento de Engenharia Civil.

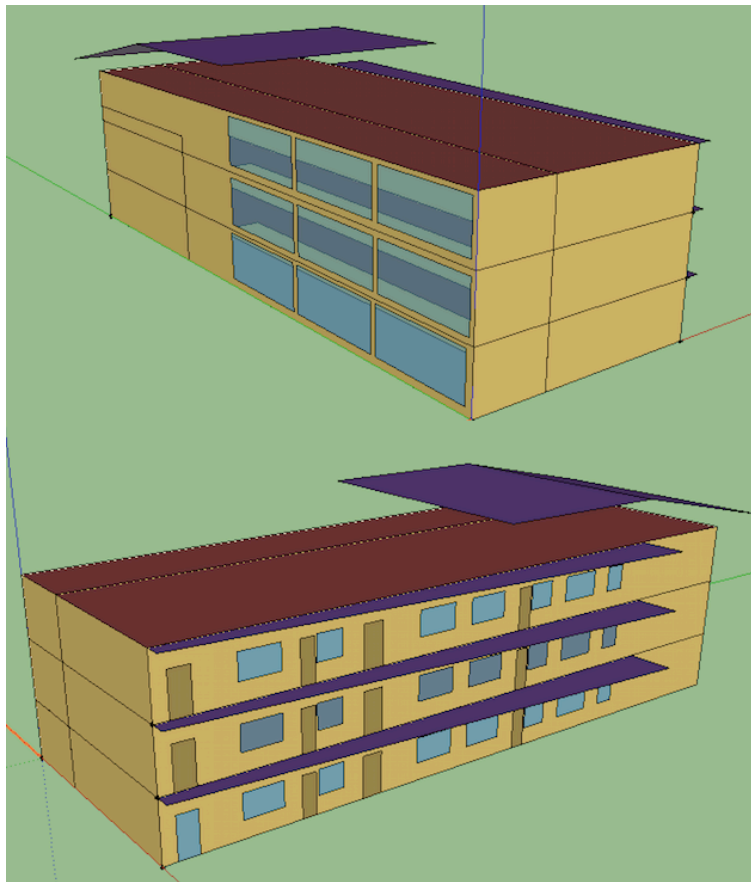


Figura 22. Fachadas frontal e traseira do Departamento de Engenharia Civil (3D).

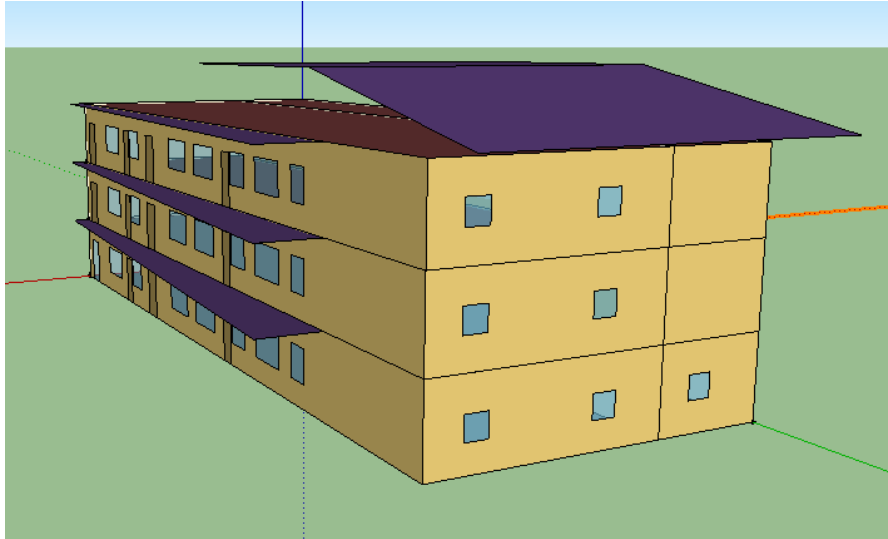


Figura 23. Fachada lateral e traseira do Departamento de Engenharia Civil (3D).

Os ganhos internos deste edifício resumem-se a iluminação e ocupação. A utilização de equipamentos de AVAC não é considerada no âmbito desta dissertação, uma vez que pode ser bastante variável ao longo do ano letivo e corresponde a uma grande parcela das cargas térmicas internas. A ocupação é considerada total e parcial, em dois modelos paralelos (tabela 11), tendo em conta os padrões para os horários habituais de atividades letivas (figura 24).

Tabela 11. Número de ocupantes para as simulações.

Nº de ocupantes	Rés-do-chão	1º Andar	2º Andar
Ocupação total	50	160	105
Ocupação parcial	25	80	53

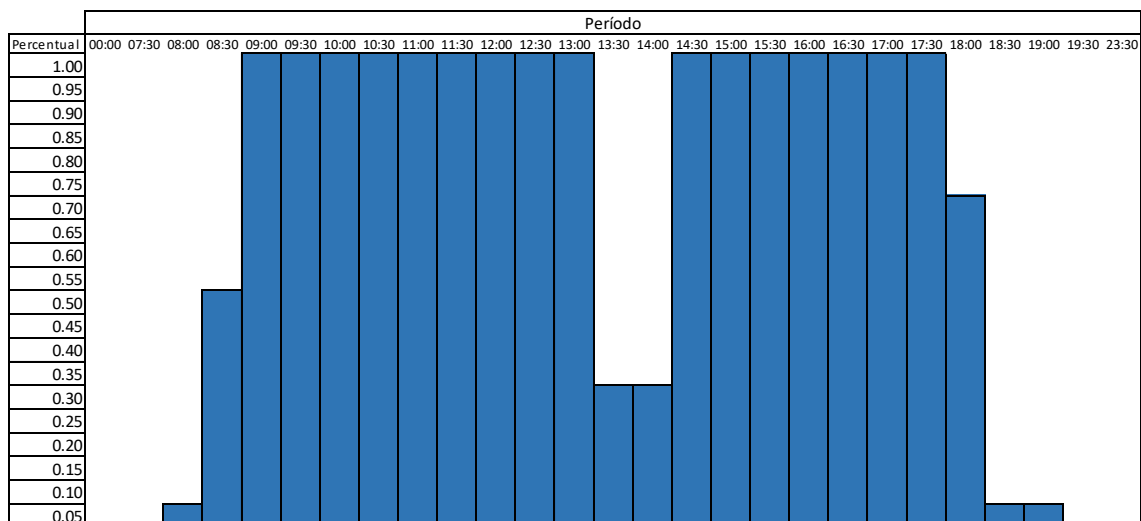


Figura 24. Padrões de ocupação das instalações.

A potência utilizada para a iluminação e o seu respetivo tipo são descritos nas tabelas 12 e 13, cujos dados foram fornecidos pela gestão e manutenção do edifício.

Tabela 12. Caracterização e potência da iluminação nas zonas térmicas definidas.

Piso	Zona térmica	Potência [W]	Tipo de iluminação
Rés-do-chão	Corredor (zona 1)	504	Fluorescente
	Salas (zona 2)	4742	Fluorescente
1º andar	Corredor (zona 1)	504	Fluorescente
	Salas (zona 3)	4742	Fluorescente
2º andar	corredor (zona 1)	504	Fluorescente
	Salas (Zona 4)	4742	Fluorescente

Tabela 13. Potências totais de iluminação nas zonas térmicas definidas.

Potência total zona térmica 1 [W]	1512
Potência total zona térmica 2 [W]	4742
Potência total zona térmica 3 [W]	4742
Potência total zona térmica 4 [W]	4742

Os valores de renovação de ar utilizados no modelo foram de encontro aos valores impostos pelo regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS). Considerou-se, para efeito do cálculo da infiltração mínima necessária, uma área de 406,81 m², pé direito de 3,6m e volume de 1464,52 m³ para as zonas térmicas rés-do-chão, 1º Piso e 2º Piso. Considerando uma infiltração mínima de 0,6 ACH (trocas de ar por hora) e o volume das zonas térmicas, tem-se uma infiltração mínima de 0,244 m³/s (0,6 ACH calculado, superior a 0,24 m³/s).

Tabela 14. Valores de trocas de ar.

Nº de ocupantes	m ³ /ocupante.hora	Total (m ³ /hora)	Total (m ³ /s)	Valor utilizado (m ³ /s)
50	24	1200	0,33	0,33
160	24	3840	1,06	1,07
105	24	2520	0,70	0,70
25	24	600	0,16	0,24
80	24	1920	0,53	0,53
52	24	1248	0,34	0,35

3.2.2. Modelos alternativos

Após o desenvolvimento do modelo base (modelo referência), que reflete a edificação nas suas reais condições como acima descrito, foram propostos dois modelos alternativos. Os modelos alternativos visam proporcionar resultados para que seja avaliado o impacto de diferentes estratégias no desempenho térmico da edificação em estudo.

Os modelos alternativos são, em primeiro lugar, a consideração de sombreamento inteligente nos envidraçados das zonas térmicas correspondentes às salas de aula e, em segundo, uma cobertura verde em todo o edifício em estudo. As características utilizadas para os diferentes parâmetros de simulação, de cada modelo, são apresentadas a seguir.

3.2.2.1. Modelo alternativo – Sombreamento inteligente

O modelo alternativo de sombreamento considera “estores inteligentes” nas zonas térmicas correspondentes às salas de aula. Os estores inteligentes possuem um esquema de funcionamento ON/OFF, isto é, ou encontram-se completamente fechados ou completamente abertos.

O objeto que, no *Energyplus*, especifica as características dos estores é chamado “*WindowMaterial:Blind*”. Este objeto especifica as propriedades de um estore que consiste em diversos elementos planos, igualmente espaçados. Estes têm propriedades de transmissão e reflexão da radiação solar que dependem fortemente do ângulo das lâminas e do ângulo de incidência da radiação solar. Existe um conjunto de dados de referência do *EnergyPlus* para “*WindowMaterial: Blind*” que contém propriedades de persianas genéricas. Existe a possibilidade de simulação de persianas interiores, exteriores ou entre as camadas de vidro. No modelo apresentado, são utilizadas persianas exteriores. O plano dos estores é admitido como paralelo ao vidro, e quando recolhido, assume-se que não cobre o envidraçado. Efeitos solares e térmicos das cordas, fitas ou bastões de apoio dos estores são ignorados, assim como a curvatura de cada segmento do estore. O método utilizado para atribuir o estore à janela é descrito a seguir, de acordo com (EnergyPlus, 2018):

1. Definir a construção da janela sem o estore, a chamada construção “nua”.

2. Seguidamente escolher construção nua na Superfície de "*Fenestration:Detailed*" para a janela.
3. Definir o "*WindowMaterial:Blind*".
4. Definir uma outra construção, chamada de "construção sombreada", que inclui o "*WindowMaterial: Blind*".
5. Definir um "*WindowProperty: ShadingControl*" para a janela na qual se faz referência à construção sombreada e se especifica como o estore é controlado.

De forma a providenciar um maior entendimento dos parâmetros que compõem a definição dos estores, é possível encontrar uma descrição detalhada dos mesmos no *Input and Output Reference Guide* (EnergyPlus, 2018).

O *setpoint* utilizado para a ativação dos estores é definido em função da temperatura do ar interior da zona térmica. Quando a sala se encontra com uma temperatura superior a 22°C, as persianas são assumidas como fechadas, ficando abertas se a temperatura da zona térmica for inferior a 22°C. Dentro desta alternativa, duas situações diferentes são simuladas, tendo como parâmetro alterado a ocupação do edifício, sendo esta a ocupação total e a ocupação parcial (metade da ocupação).

Os estores utilizados possuem as seguintes características:

Tabela 15. Input utilizado para a modelação dos estores.

Blind material	
Name	Blind with high reflectivity slats
Slat orientation	Horizontal
Slat width (m)	0,025
Slat separation (m)	0,01875
Slat thickness (m)	0,001
Slat angle (deg)	45
Slat conductivity (W/m-K)	0,9
Slat beam solar transmittance	0
Front side slat beam solar reflectance	0,8
Back side slat beam solar reflectance	0,8
Slat diffuse solar transmittance	0
Front side slat diffuse solar reflectance	0,8
Back side slat diffuse solar reflectance	0,8
Slat beam visible transmittance	0
Front side slat beam visible reflectance	0,8
Back side slat beam visible reflectance	0,8
Slat diffuse visible transmittance	0
Front side slat diffuse visible reflectance	0,8
Back side slat diffuse visible reflectance	0,8
Slat infrared hemispherical transmittance	0
Front side slat infrared hemispherical emissivity	0,9
Back side slat infrared hemispherical emissivity	0,9
Blind to glass distance (m)	0,05
Blind top opening multiplier	0,5
Blind bottom opening multiplier	0,5
Blind left side opening multiplier	0,5
Blind right side opening multiplier	0,5
Minimum slat angle (deg)	No variation
Maximum slat angle (deg)	No variation

Tabela 16. Método de controlo utilizado para os estores.

Shading control	
Name	Blind
Shading type	Exterior Blind
Construction with shading name	Envidraçados_blind
Shading control type	On if High Zone Air Temperature
Schedule name	Not aplicable
Setpoint (deg °C)	22
Shading control is scheduled	No
Glare control is active	No
Shading device material name	Blind with high reflectivity slats
Type of slat angle control for blinds	Fixed slat angle

3.2.2.2. Modelo alternativo – Cobertura verde

O modelo alternativo de coberturas verdes implementa esta solução na cobertura da edificação, em toda a sua área. O modulo para simulação das coberturas verdes permite que seja especificada a camada externa de uma cobertura por meio do objeto de entrada “*Material: RoofVegetation*”, simulando os processos de transferências de calor envolvidos neste tipo de cobertura. O modelo leva em consideração, de acordo com (EnergyPlus, 2018):

- Troca radiativa de onda longa e onda curta dentro da copa da planta;
- Efeitos da copa das plantas na transferência de calor por convecção;
- Evapotranspiração do solo e plantas;
- Condução de calor e armazenamento na camada de solo.

Além disto, há ainda o equilíbrio de humidade, simplificado, que permite a precipitação, a irrigação e o transporte de humidade entre duas camadas de solo (zona superior e raiz) também sejam considerados. É necessário que os intervalos de simulação sejam iguais ou superiores a 20 por hora, dada a complexidade dos fenómenos. De forma a proporcionar maior entendimento sobre os fatores levados em consideração durante as simulações, os parâmetros de input são brevemente descritos a seguir - informação adicional pode ser encontrada no *Engineering Reference Guide* (EnergyPlus, 2018).

- Altura das plantas: campo limitado a valores no intervalo de 0,005 e 1m, tendo como padrão 0,2m;

- Índice da área foliar: área projetada da folha por unidade de área da superfície do solo. Este campo é adimensional e está limitado a valores no intervalo de 0,001 e 5,0. O padrão é 1,0. Atualmente, a fração de cobertura vegetal é calculada diretamente do IAF (Índice de Área Foliar) usando uma relação empírica.
- Refletividade das folhas: fração da radiação solar incidente que é refletida pelas superfícies foliares individuais. A radiação solar inclui o espectro visível, bem como os comprimentos de onda infravermelho e ultravioleta. Os valores para este campo devem estar entre 0,05 e 0,5. O padrão é 0,22. Valores típicos são 0,18 a 0,25.
- Emissividade da folha: razão entre a radiação térmica emitida pelas superfícies foliares e a emitida por um corpo preto ideal na mesma temperatura. Este parâmetro é usado ao calcular a troca radiante de comprimento de onda longo nas superfícies das folhas. Os valores para este campo devem estar entre 0,8 e 1,0 (com 1,0 representando as condições de "corpo negro"). O padrão é .95.
- Resistência Estomática Mínima: resistência das plantas ao transporte de humidade. Tem unidades de s/m. Plantas com baixos valores de resistência estomática resultarão em maiores taxas de evapotranspiração do que plantas com alta resistência. Os valores para este campo devem estar no intervalo de 50,0 a 300,0. O padrão é 180.
- Rugosidade: rugosidade relativa de uma determinada camada de material. Este parâmetro influencia os coeficientes de convecção, mais especificamente o coeficiente de convecção exterior. Espera-se uma palavra-chave neste campo com as opções "VeryRough", "Rough", "MediumRough", "MediumSmooth", "Smooth" e "VerySmooth" na ordem das opções mais rugosa para a mais lisa. O padrão é "MediumRough".
- Espessura: espessura da camada de material em metros. Esta deve ser a dimensão da camada na direção perpendicular ao caminho principal de condução de calor. Profundidades de 0,10m (4 polegadas) e 0,15m (6 polegadas) são comuns. O padrão, se este campo for deixado em branco, é 0,1. O máximo é 0,7 m. Deve ser maior que 0,05 m.
- Condutividade do Solo Seco: condutividade térmica da camada de material. Solos típicos têm valores de 0,3 a 0,5. Mínimo é 0,2. O padrão é 0,35 e o máximo é 1,5.

- Densidade do Solo Seco: Solos típicos variam de 400 a 1000 (secos a húmidos). O mínimo é 300, o máximo é 2000 e o padrão, se o campo for deixado em branco, for 1100.
- Calor Específico do Solo Seco: representa o calor específico da camada de material em unidades de J / (kg-K).
- Absorção Térmica: representa a fração da radiação de comprimento de onda longo incidente que é absorvida pelo material. Este parâmetro é usado ao calcular a troca radiante de longo comprimento de onda entre várias superfícies e afeta os balanços térmicos da superfície (tanto interna quanto externa, conforme apropriado). Para troca radiante, a emissividade térmica e a emissão térmica são iguais à absorção térmica. Os valores para este campo devem estar entre 0,0 e 1,0 (com 1,0 representando as condições de “corpo negro”). Valores típicos são de 0,9 a 0,98.
- Absorção Solar: representa a fração da radiação solar incidente que é absorvida pelo material. A radiação solar inclui o espectro visível, bem como os comprimentos de onda infravermelho e ultravioleta. Este parâmetro é usado ao calcular a quantidade de radiação solar incidente absorvida por várias superfícies e afeta os balanços térmicos da superfície (tanto interna quanto externa, conforme apropriado). Se os dados de refletância solar (ou refletividade) estiverem disponíveis, a absorptância será igual a 1,0 menos a refletância (para materiais opacos). Os valores para este campo devem estar entre 0,0 e 1,0. Valores típicos são de 0,6 a 0,85.
- Absorção Visível: representa a fração da radiação de comprimento de onda visível incidente que é absorvida pelo material. A radiação de comprimento de onda visível é ligeiramente diferente da radiação solar, na medida em que a banda visível de comprimentos de onda é muito mais estreita, enquanto a radiação solar inclui o espectro visível, bem como os comprimentos de onda ultravioleta e infravermelha. Este parâmetro é usado ao calcular a quantidade de radiação visível incidente absorvida por várias superfícies e afeta os balanços térmicos de superfície (tanto internos quanto externos, conforme apropriado), bem como os cálculos de luz natural. Se os dados visíveis de refletância (ou refletividade) estiverem disponíveis, a absorptância será igual a 1,0 menos a refletância (para materiais opacos). Os valores para este campo devem estar entre 0,5 e 1,0.

- Saturação: conteúdo de humidade volumétrica da camada de solo (teor de humidade de saturação na camada de solo). O teor máximo de humidade é normalmente menor que 0,5. Intervalo é [0,1 a 0,5] com o padrão sendo 0,3.
- Teor de humidade volumétrica residual da camada de solo: O padrão é 0,01, o intervalo é [0,01 a 0,1].
- Conteúdo inicial de humidade volumétrica da camada de solo: teor de humidade inicial da camada de solo. Intervalo é (0,05 a 0,5) com o padrão sendo 0,1.

O tipo de cobertura verde utilizado é extensivo, conforme descrito anteriormente. Optou-se por este tipo de vegetação pois a cobertura do edifício não é habitualmente frequentada por ocupantes, além de requerer menos esforços com irrigação, cuidados e gerar uma carga menor na estrutura já existente – que não foi primeiramente projetada para receber as cargas suplementares de uma cobertura verde. Dentro desta alternativa, duas diferentes situações são simuladas, tendo como parâmetro alterado a ocupação do edifício, primeiro a ocupação total e depois a ocupação parcial (metade da ocupação).

O modelo de cobertura verde desenvolvido possui os seguintes parâmetros:

Tabela 17. Input utilizado para a modelação das coberturas verdes.

Material: Roof vegetation	
Name	Green roof
Height of plants (m)	0,2
Leaf area index	2
Leaf reflectivity	0,22
Leaf emissivity	0,95
Minimum stomatal resistance	180
Soil layer name	Green roof soil
Roughness	Medium rough
Thickness (m)	0,15
Conductivity of dry soil (W/m-K)	0,35
Density of dry soil (kg/m ³)	1100
Specific heat of dry soil (J/kg-K)	1200
Thermal absorptance	
Solar absorptance	
Visible absorptance	
Saturation volumetric moisture content of the soil layer	0,3
Residual volumetric moisture content of the soil layer	0,01
Initial volumetric moisture content of the soil layer	0,1
Moisture diffusion calculation method	Advanced

4. Análise de resultados

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos nas simulações computacionais realizadas para o modelo referência e modelos alternativos. Os resultados são avaliados em termos de frequências de horas em que se verifica cada valor da temperatura do ar interior das zonas consideradas, ao longo do ano e, de seguida, comparados com o referido intervalo de temperatura de conforto. São ainda apresentadas as variações de temperatura ao longo de três dias representativos para a estação mais quente e três dias representativos para a estação mais fria.

4.1. Modelo referência (base)

4.1.1. Ocupação total

Tendo em conta as soluções construtivas existentes no edifício em estudo, com a sua ocupação total, os resultados obtidos para as zonas térmicas em que o edifício foi segmentado são apresentados a seguir. A tabela 17 apresenta o número de horas em que a temperatura do ar de cada zona térmica se encontra abaixo, dentro, ou acima do intervalo de temperaturas de conforto pré-definido (entre 15°C e 25°C).

As temperaturas extremas verificadas no ano típico para as quatro zonas térmicas consideradas são as seguintes:

- Corredor: máxima 30,73°C – mínima 12,49°C.
- Rés-do-chão: máxima 28,73°C – mínima 16,91°C.
- 1ºPiso: máxima 33,08°C – mínima 18,16°C.
- 2ºPiso: máxima 33,15°C – mínima 17,76°C.

Tabela 18. Nº de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício - caso base 100% ocupação.

	Exterior	Corredor	Rés-do-chão	1º Piso	2º Piso
Horas abaixo de 15°C	2263	137	0	0	0
Horas entre 15°C e 25°C	5729	6472	6980	4189	4241
Horas acima de 25°C	768	2151	1780	4571	4519
Total	8760	8760	8760	8760	8760

A figura 25 apresenta a frequência anual de temperaturas para as diferentes zonas térmicas.

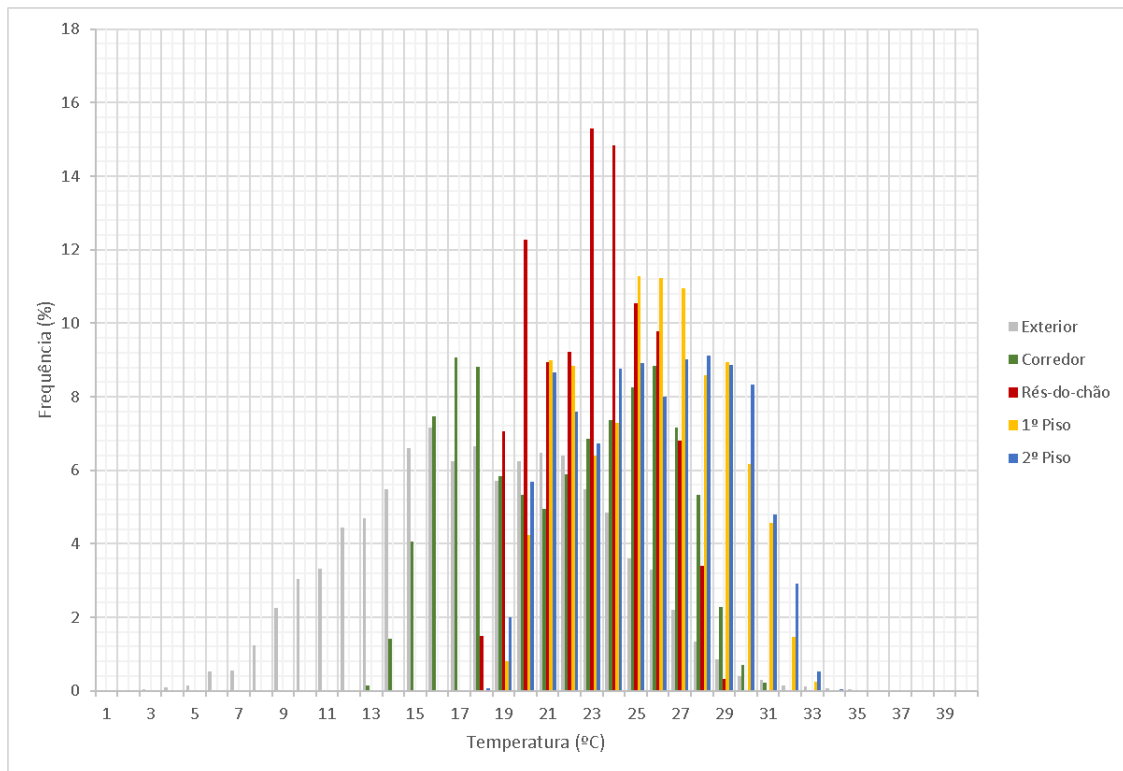


Figura 25. Frequência anual de ocorrência de temperaturas – caso base 100% ocupação.

O corredor, com resultados apresentados na figura 22, é a única zona térmica que apresenta temperaturas inferiores a 15°C ao longo do ano, mesmo orientado a sul e com grande proporção de envidraçados. Os envidraçados, apesar de facilitarem os ganhos solares durante as horas de incidência direta de radiação solar, são também responsáveis por perdas mais acentuadas devido a baixa massa térmica e sobretudo devido aos elevados coeficientes de transmissão. Quando a temperatura exterior é inferior à interior, o fluxo de calor condutivo é maior do interior do edifício para o exterior. Além disso, o corredor não conta com ganhos internos de ocupação, nas simulações realizadas. Os ganhos internos por ocupação correspondem a uma importante carga térmica. As restantes zonas térmicas não apresentam temperaturas abaixo de 15 graus ao longo do ano, considerando as condições simuladas, a manutenção da taxa de ocupação e também a infiltração de ar. Todavia, todas as zonas apresentam valores consideráveis de horas acima de 25°C. Quando as temperaturas nas zonas interiores excedem os valores máximos do intervalo de conforto, o conforto térmico dos ocupantes tende a ser mantido por outras formas, tal como a utilização de sistemas, genericamente

ditos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) que consomem mais energia. A ventilação natural não controlada, por exemplo, pode representar outro tipo de desconforto, como é o caso de quando a abertura das janelas promove um grande fluxo de ar, a temperaturas significativamente afastadas das que se verificam no interior, sobretudo se forem inferiores.

O rés-do-chão é a zona térmica com menos horas acima da temperatura máxima de conforto, comparado com as outras zonas térmicas (Figura 22). O resultado deve-se não só a esta estar em contacto com o solo, que mantém pouca variação de temperatura ao longo do ano, como por possuir uma ocupação menor que as outras duas zonas térmicas superiores. No entanto possui, também cerca de 25% das temperaturas horárias anuais acima da temperatura superior de conforto.

O primeiro piso também não possui temperaturas abaixo da temperatura mínima de conforto, porém encontra-se quase metade das horas do ano com temperaturas acima do limite superior de conforto. A zona térmica do primeiro piso é uma zona intermédia, contando na sua parte superior com uma zona térmica com comportamento similar em termos de ocupação, e com uma zona térmica inferior com temperaturas mais conducentes ao conforto térmico. É de notar que a variação de temperatura em relação ao rés-do-chão se dá não só pelas características intrínsecas que favorecem temperaturas mais amenas no rés-do-chão, como é o caso do contacto com o solo, mas também pelo fato de possuir uma ocupação relativamente maior.

A zona térmica correspondente ao segundo piso possui, como é possível observar na figura 22, mais da metade das horas anuais acima da temperatura máxima do intervalo de conforto. Tal resultado deve-se à influência dos maiores ganhos solares na cobertura, apesar do elemento de sombreamento parcial da mesma

Tendo em conta os resultados apresentados, é possível verificar que o edifício tem um bom comportamento térmico pois o maior número horas por ano encontra-se dentro de valores de relativo conforto (entre 15°C e 25°C). No exterior há um grande número de horas abaixo dos 15°C e no interior do edifício não vamos ter nenhuma das zonas térmicas com temperaturas de 15° ou abaixo durante todo o ano, exceto o corredor com 175 horas abaixo da temperatura mínima de conforto. No entanto o edifício sobreaquece nos meses mais quentes do ano, verificando-se um grande número de horas acima dos 25°C e mesmo acima dos 29°C. Também é possível constatar que as zonas térmicas com maior número de horas com temperatura mais elevada são as salas do 2º andar e as salas do 1º andar.

Para ser mais perceptível o comportamento da edificação ao longo do dia foi escolhido um período de 3 dias numa das alturas mais quentes do ano (entre 14/07 e 16/07) e um período de 3 dias numa das alturas mais frias do ano (entre 14/01 e 16/01). Tais dias foram escolhidos pois representam, de acordo com o arquivo climático utilizado, os “*design day*” (dias referência normalmente utilizados para projetos de AVAC,). Os resultados serão apresentados de seguida (figura 26).

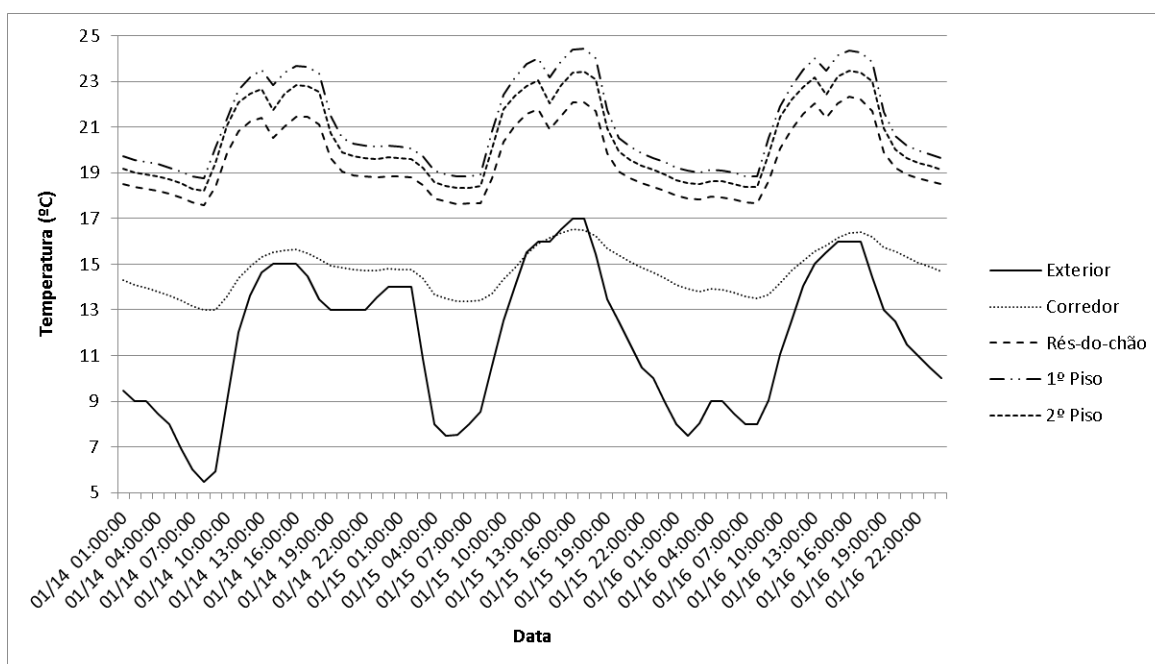


Figura 26. Gráfico de variação de temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – caso base 100% ocupação.

A partir desta análise é possível verificar mais uma vez que o edifício tem um bom desempenho térmico, durante o período das 72 horas ficando o mesmo na sua maioria dentro do intervalo de relativo conforto (entre 15°C e 25°C) (Figura 27). Mas com esta análise o mais perceptível é o efeito da ocupação, sendo possível ver que as zonas com ocupação estão cerca de 5°C acima da zona do corredor. Também é visível que no corredor a temperatura se mantém com pequena variação, enquanto que nas salas é possível ver que a maior variação da temperatura coincide com os períodos de ocupação.

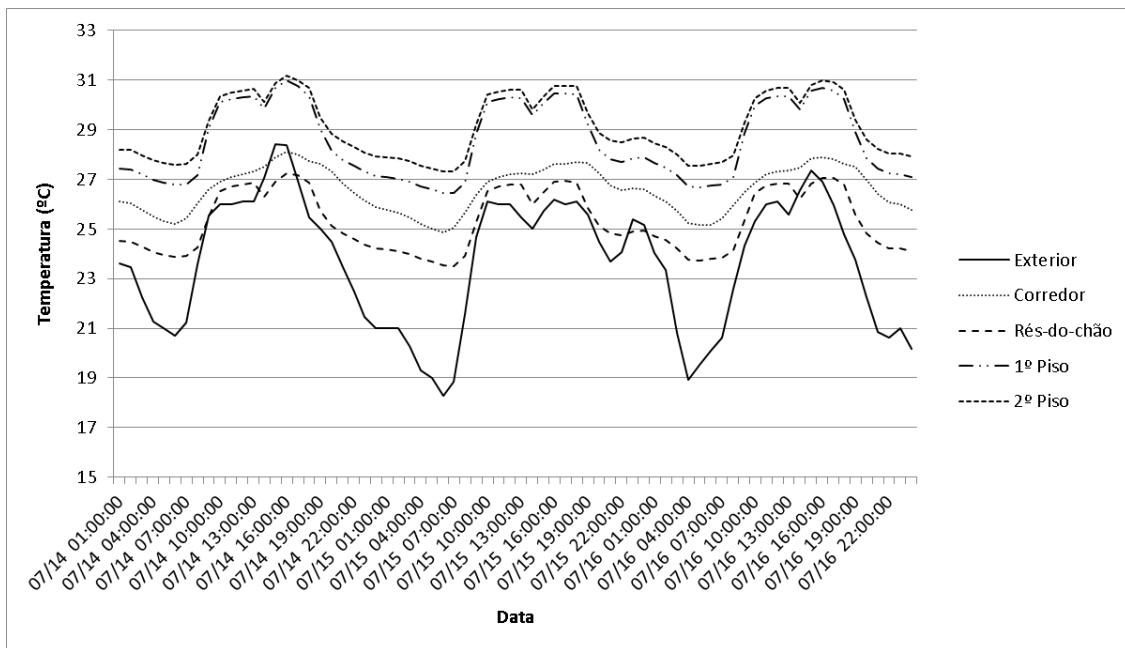


Figura 27. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – caso base 100% ocupação.

Tendo em conta estes resultados verifica-se que no período em que as temperaturas exteriores são mais elevadas existe um grande número das horas em que a temperatura no interior se encontra acima da zona de conforto referida; só na zona térmica do rés-do-chão são 37 horas e no corredor apenas 4 horas dentro do intervalo de 15°C a 25°C. Quanto ao comportamento do edifício a temperatura interior mantém-se relativamente constante ao longo do tempo, tendo uma pequena variação correspondendo aos períodos de ocupação, neste período não sendo tão perceptível como para o período de temperaturas mais baixas.

4.1.2. Ocupação parcial

Depois de efetuada a simulação da edificação, tendo em conta as soluções construtivas existentes no edifício em estudo e este com metade da sua ocupação total, obtemos os seguintes resultados (tabela 18).

Considerando todas as temperaturas horárias anuais:

- Corredor: máxima 30,64°C – mínima 12,31°C.
- Rés-do-chão: máxima 28,09°C – mínima 16,36°C.
- 1ºPiso: máxima 32,24°C – mínima 17,11°C.
- 2ºPiso: máxima 32,44°C – mínima 16,68°C.

Tabela 19. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – caso base 50% ocupação.

	Exterior	Corredor	Rés-do-chão	1º Piso	2º Piso
Horas abaixo de 15°C	2263	172	0	0	0
Horas entre 15°C e 25°C	5729	6526	7589	5226	4984
Horas acima de 25°C	768	2062	1171	3534	3776
Total	8760	8760	8760	8760	8760

Com esta análise é possível verificar que mais uma vez, há um desempenho térmico relativamente bom por parte do edifício, sendo as maiores lacunas para temperaturas mais altas. A partir desta análise também é possível constatar que o padrão de utilização não terá grande influência no desempenho térmico do mesmo. Os resultados do diagrama de frequência das temperaturas são apresentados pela figura 28.

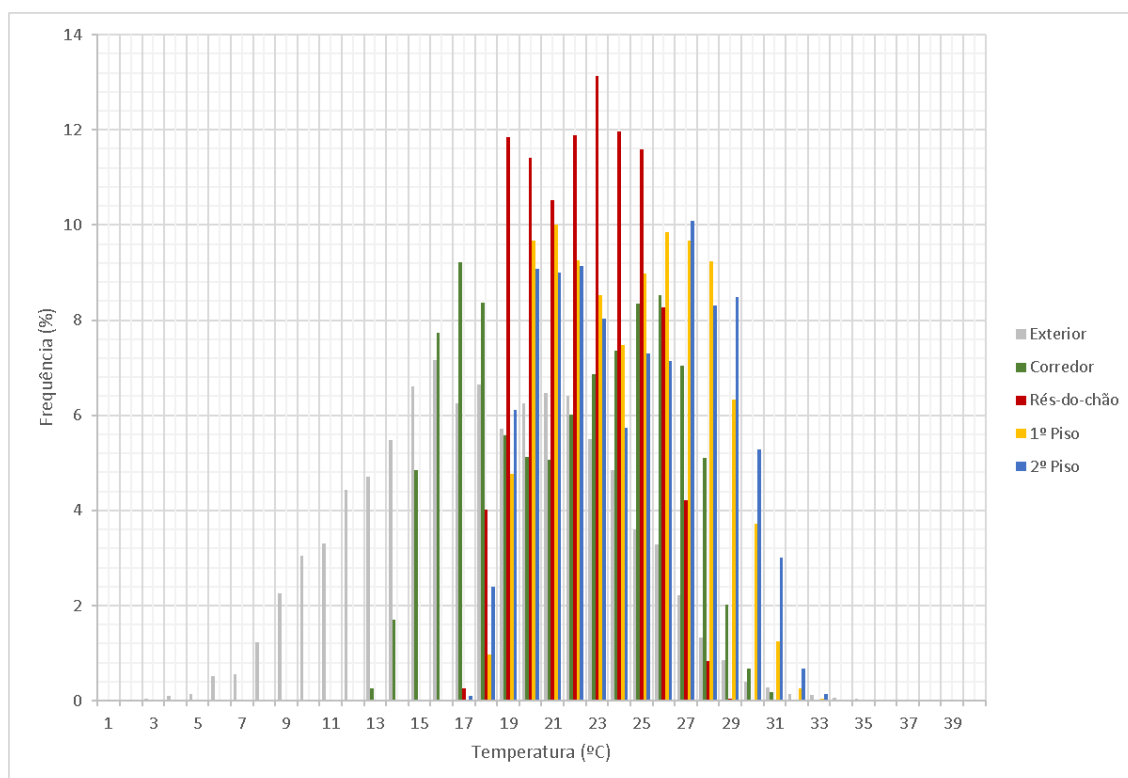


Figura 28. Frequência anual percentual de ocorrência de temperaturas – caso base 50% ocupação.

Tal como no caso anterior, também foi feita uma análise para um período de 3 dias com temperaturas mais baixas e mais altas, tentando assim analisar melhor o desempenho do edifício ao longo do dia (figura 29 e figura 30).

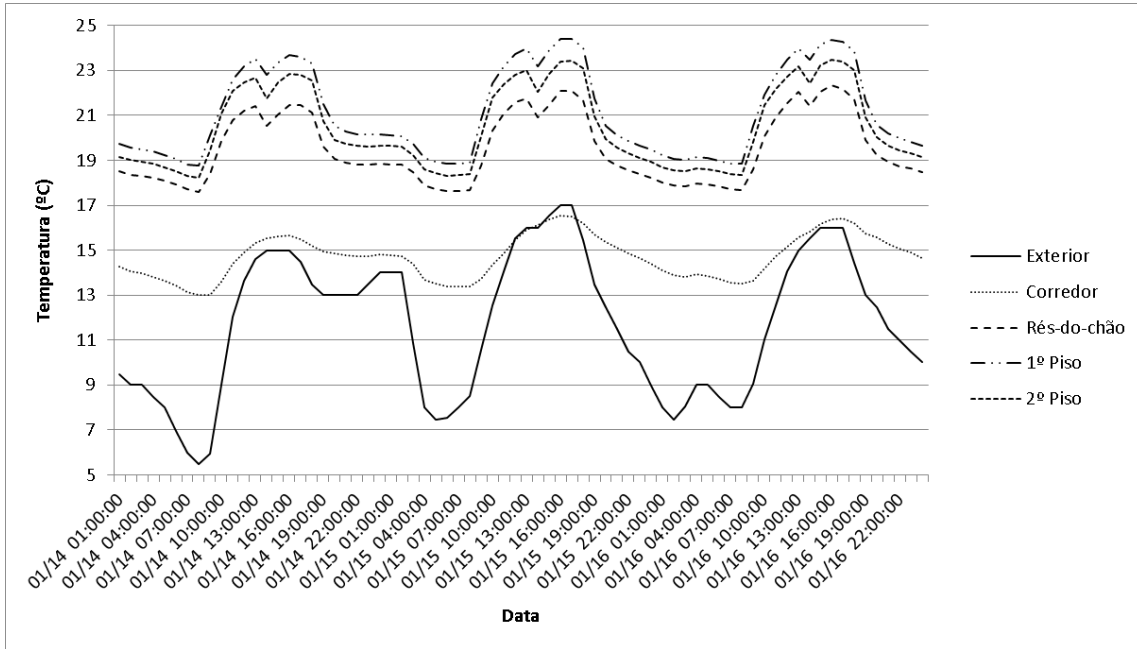


Figura 29. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – caso base 50% ocupação.

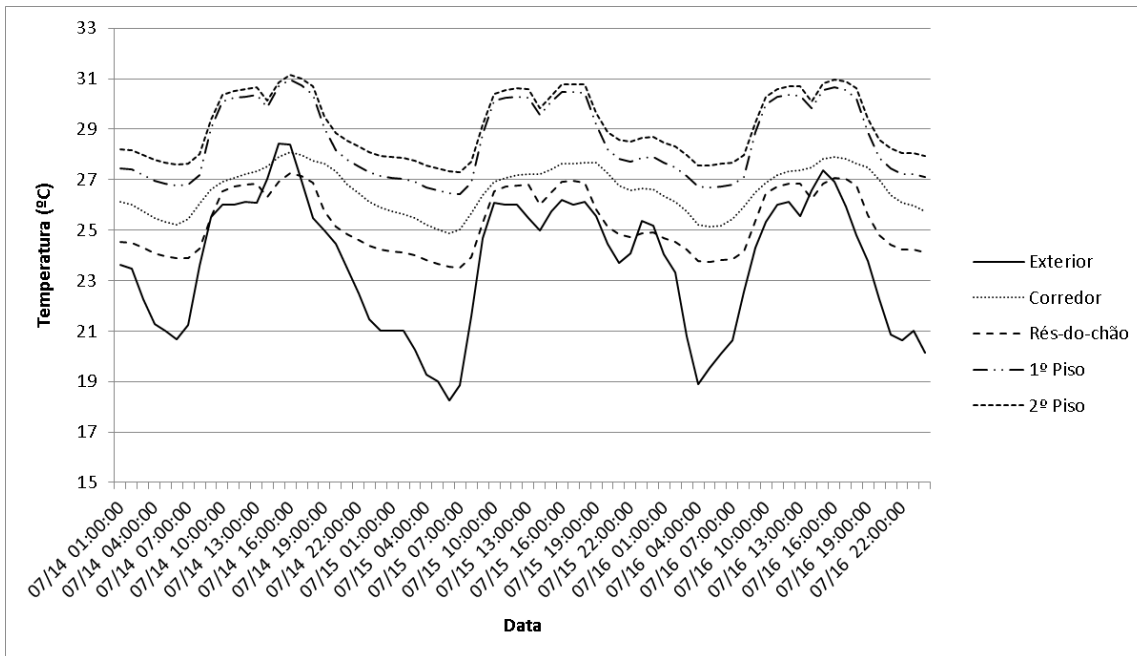


Figura 30. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – caso base 50% ocupação.

Mais uma vez comprova-se o bom desempenho térmico da edificação para valores de temperatura mais baixos, sendo possível verificar que a mesma não sofre grandes variações de temperatura mesmo com as variações exteriores. Dando indicação de um bom isolamento térmico não apresentando grandes perdas. Nesta análise também é bem visível os efeitos da ocupação, com as zonas ocupadas estando cerca de 5°C acima das outras e são notórios os picos de ocupação no gráfico (Figura 27).

4.2. Modelo alternativo – Coberturas verdes (CV)

4.2.1. Ocupação total

Considerando as soluções construtivas existentes no edifício em estudo, acrescido de uma cobertura verde com as características anteriormente descritas, e este com a sua total ocupação, os resultados obtidos para as zonas térmicas em que o edifício foi dividido são apresentados a seguir. A tabela 19 apresenta o número de horas em que cada zona térmica se encontra abaixo, dentro, ou acima da temperatura de conforto definida, sendo as maiores lacunas para temperaturas mais altas.

Considerando todas as temperaturas horárias anuais:

- Corredor: máxima 30,73°C – mínima 12,49°C.
- Rés-do-chão: máxima 28,73°C – mínima 16,91°C.
- 1ºPiso: máxima 33,08°C – mínima 18,16°C.
- 2ºPiso: máxima 33,15°C – mínima 17,76°C.

Os resultados do diagrama de frequência das temperaturas são apresentados pela figura 31.

Tabela 20. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – cobertura verde 100% ocupação.

	Exterior	Corredor	Rés-do-chão	1º Piso	2º Piso
Horas abaixo de 15°C	2263	53	0	0	0
Horas entre 15°C e 25°C	5729	6588	6981	4057	4019
Horas acima de 25°C	768	2119	1779	4703	4741
Total	8760	8760	8760	8760	8760

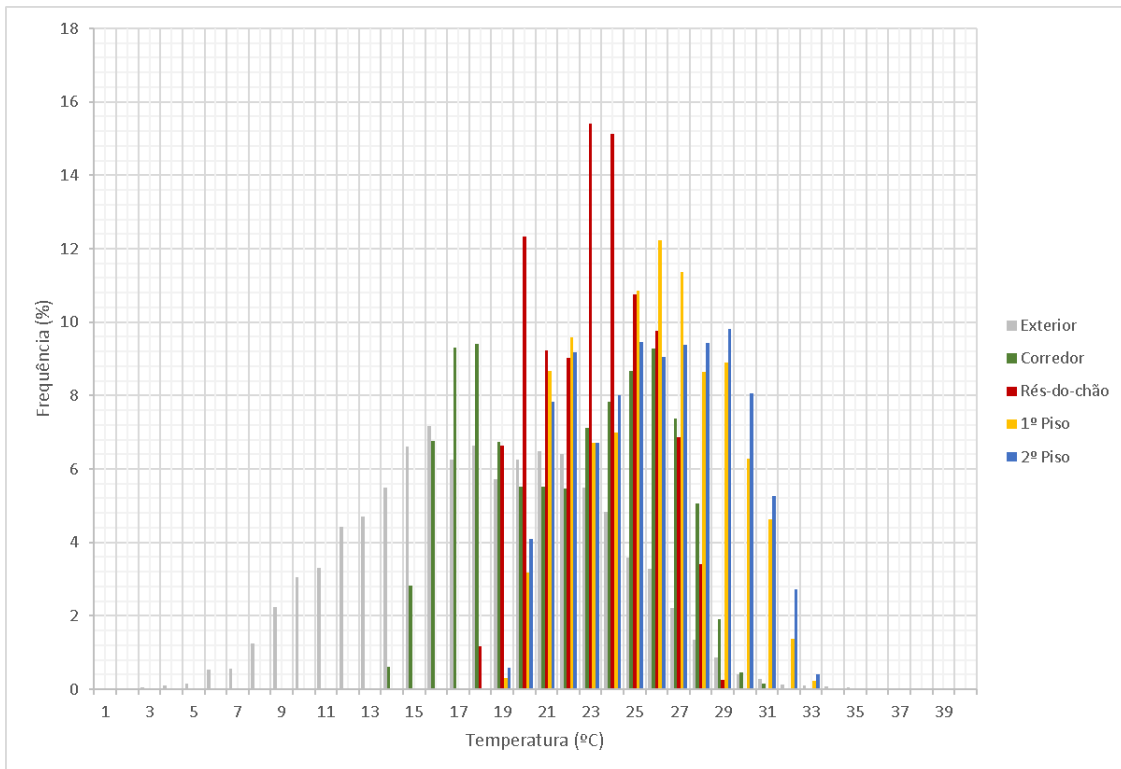


Figura 31. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - cobertura verde 100% ocupação.

De forma a proporcionar uma melhor apreciação da flutuação das temperaturas, também foi feita uma análise para um período de 3 dias com temperaturas mais baixas e mais altas, tentando assim analisar melhor o desempenho do edifício ao longo do dia (Figura 29 e Figura 30).

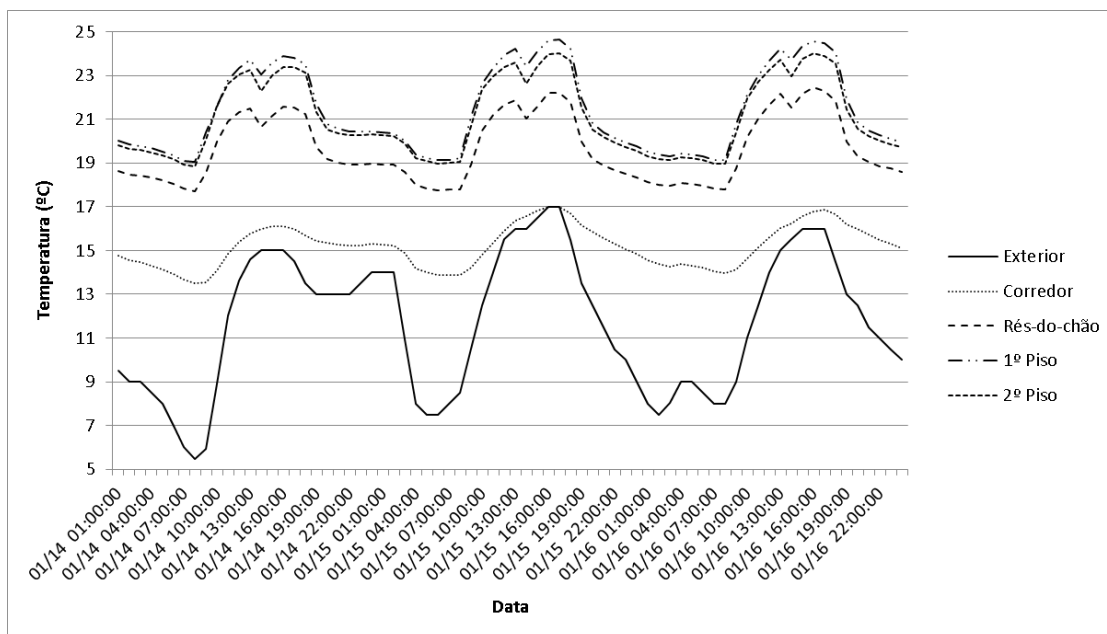


Figura 32. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – cobertura verde 100% ocupação

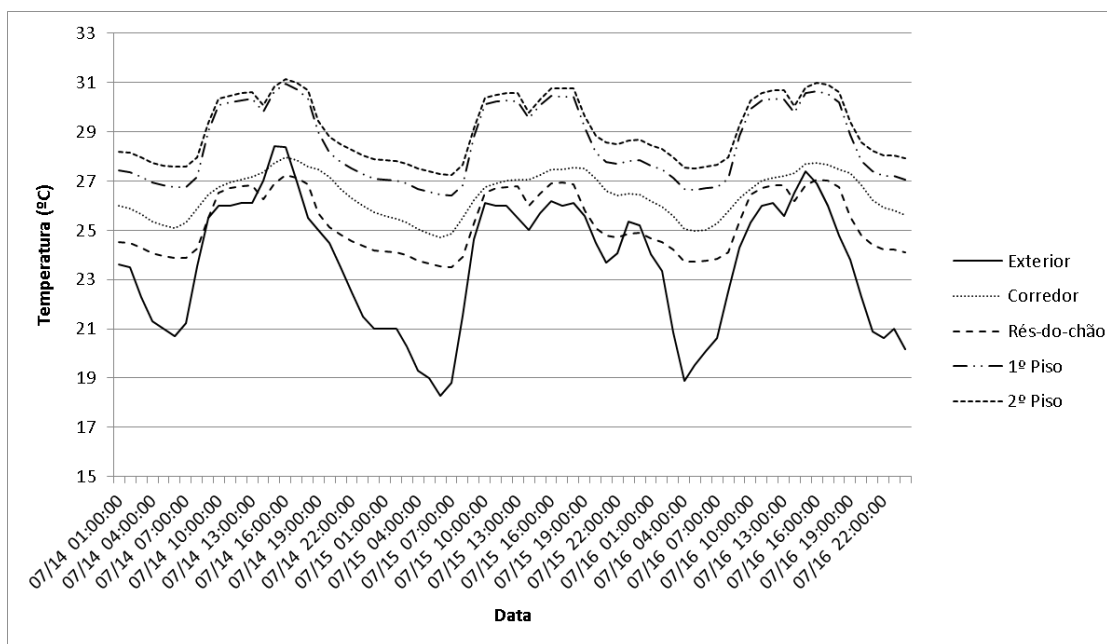


Figura 33. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – cobertura verde 100% ocupação.

4.2.2. Ocupação parcial

A tabela 20 apresenta o número de horas em que cada zona térmica se encontra abaixo, dentro, ou acima da temperatura de conforto definida. É possível verificar que, assim

como nas situações anteriores, a maior lacuna em relação ao desconforto dos ocupantes encontra-se no sobreaquecimento do edifício, estando uma grande parte das temperaturas anuais acima dos 25°C.

Considerando todas as temperaturas horárias anuais:

- Corredor: máxima 30,73°C – mínima 12,49°C.
- Rés-do-chão: máxima 28,73°C – mínima 16,91°C.
- 1ºPiso: máxima 33,08°C – mínima 18,16°C.
- 2ºPiso: máxima 33,15°C – mínima 17,76°C.

A tabela 21 e figura 34 apresentam a distribuição anual das frequências das temperaturas para cada zona térmica.

Tabela 21. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – cobertura verde 50% ocupação.

	Exterior	Corredor	Rés-do-chão	1º Piso	2º Piso
Horas abaixo de 15°C	2263	87	0	0	0
Horas entre 15°C e 25°C	5729	6635	7589	5163	4814
Horas acima de 25°C	768	2038	1171	3597	3946
Total	8760	8760	8760	8760	8760

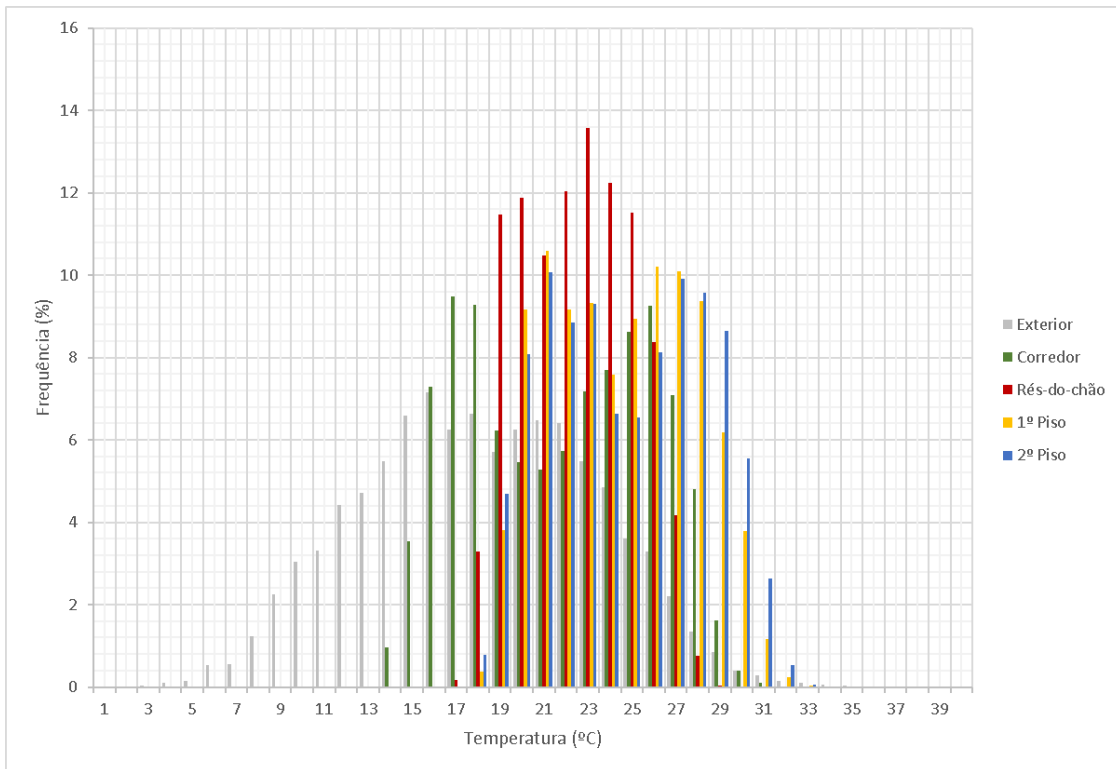


Figura 34. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - cobertura verde 50% ocupação.

A figura 35 apresenta os resultados das flutuações de temperatura e frequência de ocorrência, respetivamente, para os dias representativos de janeiro. A figura 36 apresenta os mesmos resultados, porém para os dias representativos de julho.

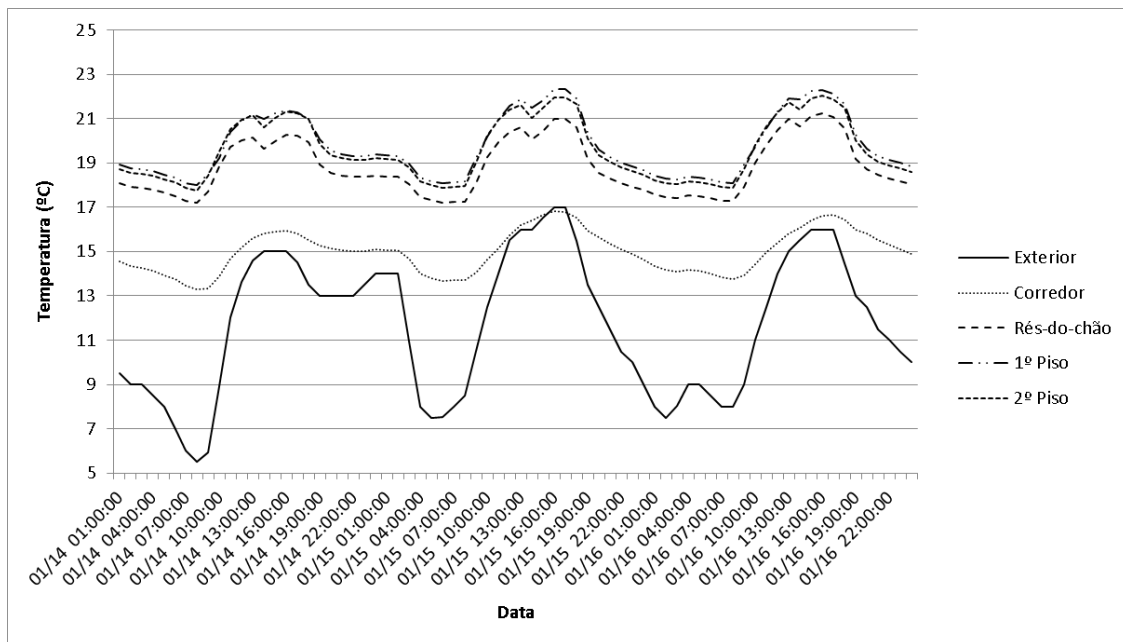


Figura 35. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – cobertura verde 50% ocupação.

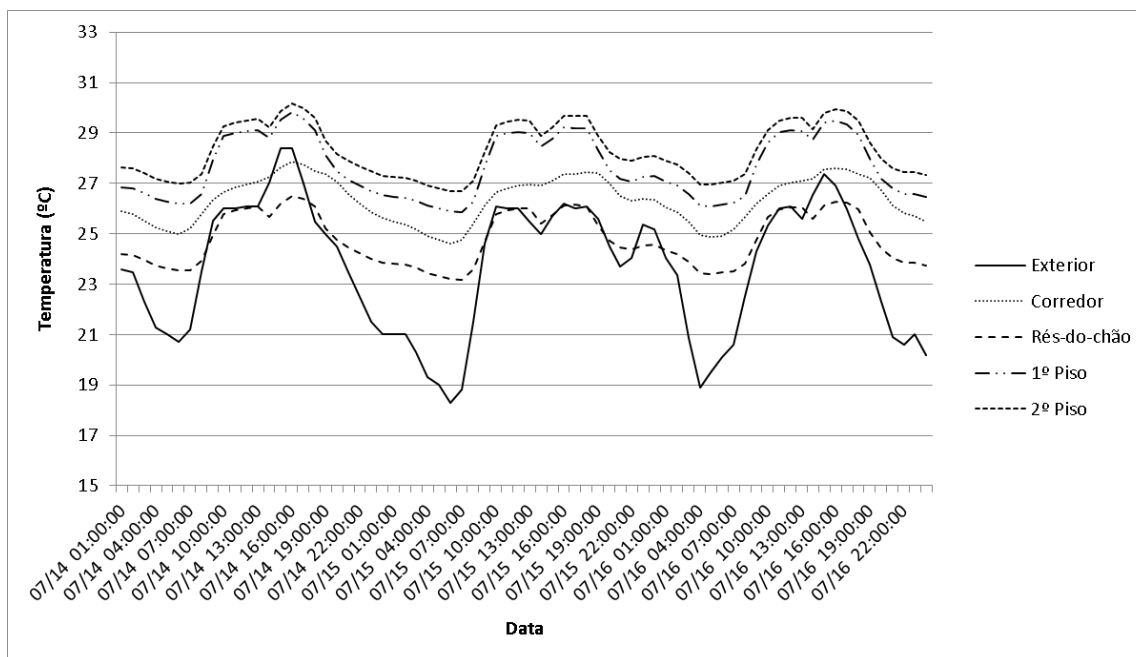


Figura 36. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – cobertura verde 50% ocupação.

4.3. Modelo alternativo – Sombreamento Inteligente (S)

4.3.1. Ocupação total

Considerando as soluções construtivas existentes no edifício em estudo, acrescido de sombreamento inteligente em função da temperatura interior, instalado nas janelas das zonas térmicas ocupadas e com as características anteriormente descritas, e este com a sua total ocupação, os resultados obtidos para as zonas térmicas em que o edifício foi segmentado são apresentados a seguir.

Considerando todas as temperaturas horárias anuais:

- Corredor: máxima 30,73°C – mínima 12,49°C.
- Rés-do-chão: máxima 28,73°C – mínima 16,91°C.
- 1ºPiso: máxima 33,08°C – mínima 18,16°C.
- 2ºPiso: máxima 33,15°C – mínima 17,76°C.

A tabela 22 apresenta o número de horas em que cada zona térmica se encontra abaixo, dentro, ou acima da temperatura de conforto definida. É possível observar que para todas as zonas térmicas, as temperaturas estão sobretudo localizadas na gama intermediária, entre 15°C e 25°C, ainda que em uma grande parte das horas anuais as

temperaturas sejam superiores ao limite de conforto térmico, causando um sobreaquecimento do edifício. É possível verificar os resultados obtidos, considerando a frequência de ocorrência das temperaturas, na figura 37.

Tabela 22. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – sombreamento 100% ocupação.

	Exterior	Corredor	Rés-do-chão	1º Piso	2º Piso
Horas abaixo de 15°C	2263	166	0	0	0
Horas entre 15°C e 25°C	5729	6495	7352	4707	4683
Horas acima de 25°C	768	2099	1408	4053	4077
Total	8760	8760	8760	8760	8760

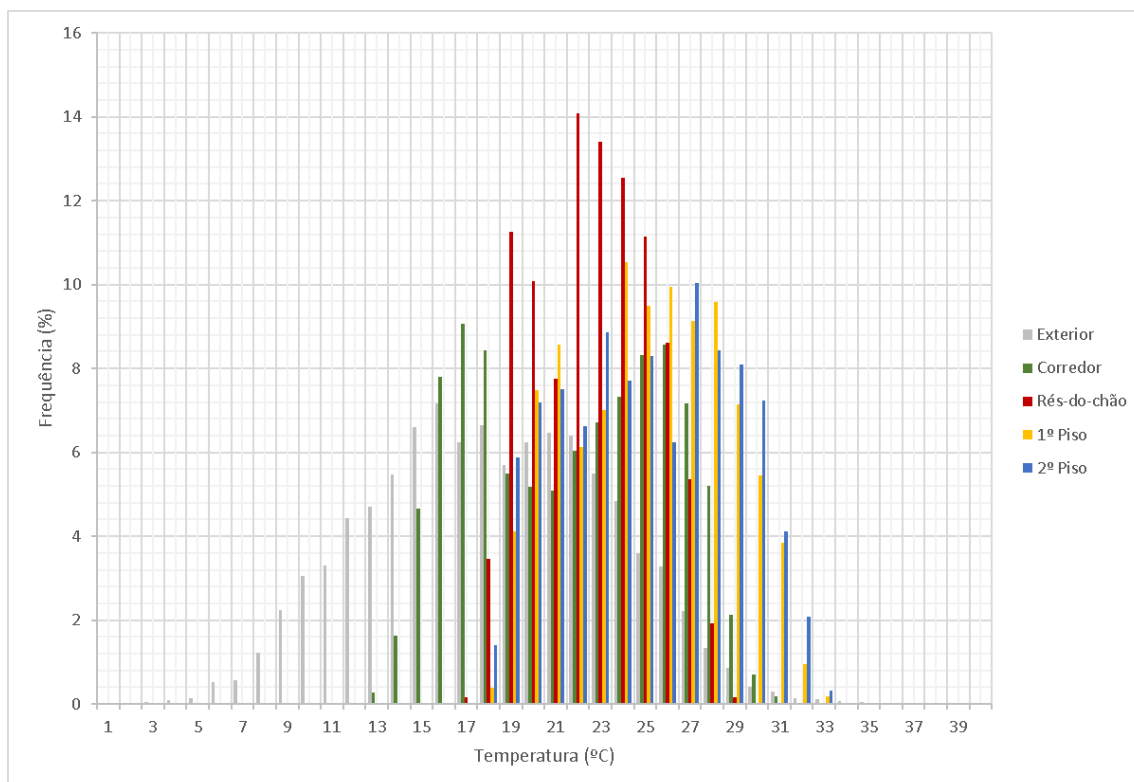


Figura 37. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - sombreamento e 100% ocupação.

A figura 38 apresenta os resultados para os dias representativos da estação de arrefecimento, ao passo que a figura 39 apresenta os resultados para os dias representativos de aquecimento.

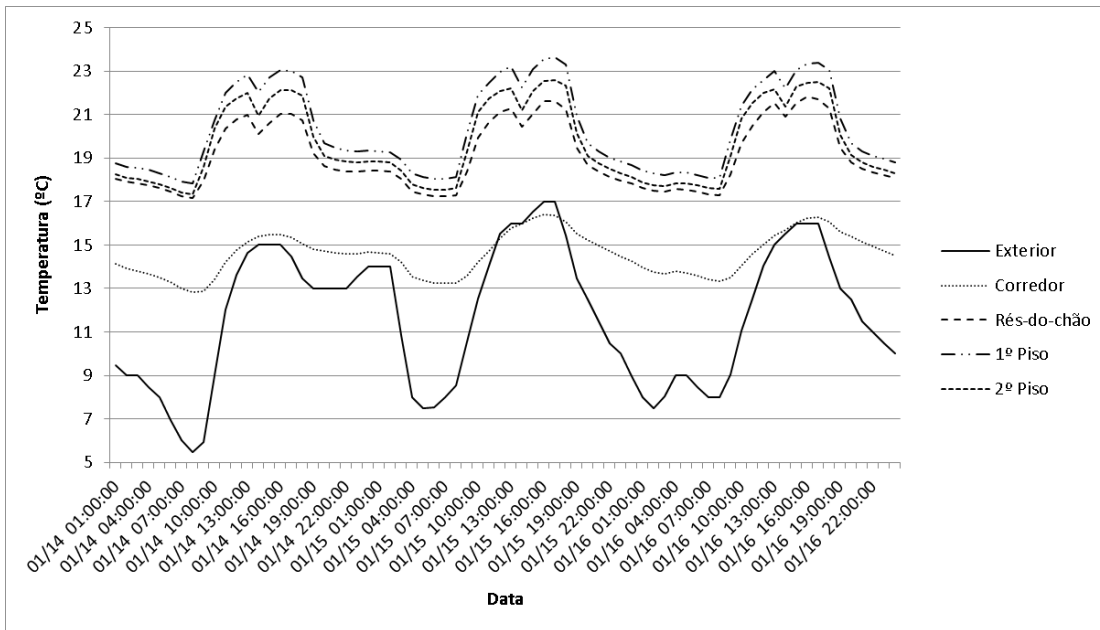


Figura 38. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – Sombreamento 100% ocupação.

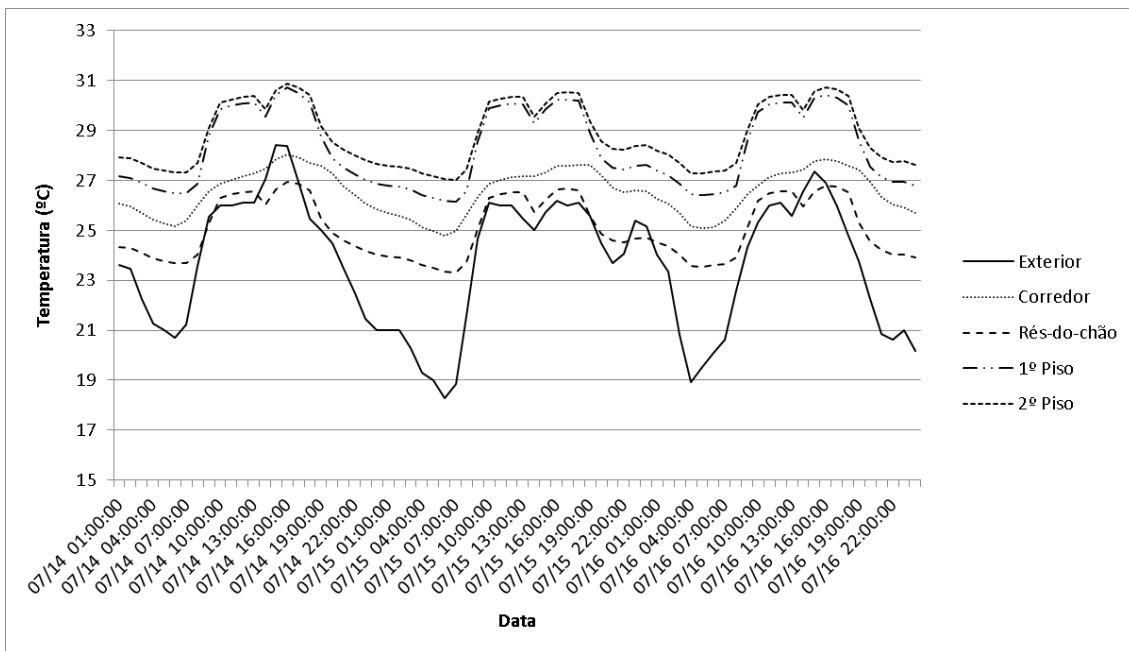


Figura 39. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde o dia 14 de julho a 16 de julho – sombreamento 100% ocupação.

4.3.2. Ocupação parcial

Assim como nos modelos anteriores, são apresentados na tabela 23 os resultados para o modelo de coberturas verdes com ocupação parcial. Neste modelo, é menor o número de horas de sobreaquecimento, aumento do número de horas na gama de conforto, em comparação ao modelo com ocupação total, assinalando o impacto dos ganhos internos.

Considerando todas as temperaturas horárias anuais:

- Corredor: máxima 30,73°C – mínima 12,49°C.
- Rés-do-chão: máxima 28,73°C – mínima 16,91°C.
- 1ºPiso: máxima 33,08°C – mínima 18,16°C.
- 2ºPiso: máxima 33,15°C – mínima 17,76°C.

Os resultados detalhados para cada zona térmica são apresentados na figura 40.

Tabela 23. Número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – sombreamento 50% ocupação.

	Exterior	Corredor	Rés-do-chão	1º Piso	2º Piso
Horas abaixo de 15°C	2263	184	0	0	0
Horas entre 15°C e 25°C	5729	6558	7907	5588	5248
Horas acima de 25°C	768	2018	853	3172	3512
Total	8760	8760	8760	8760	8760

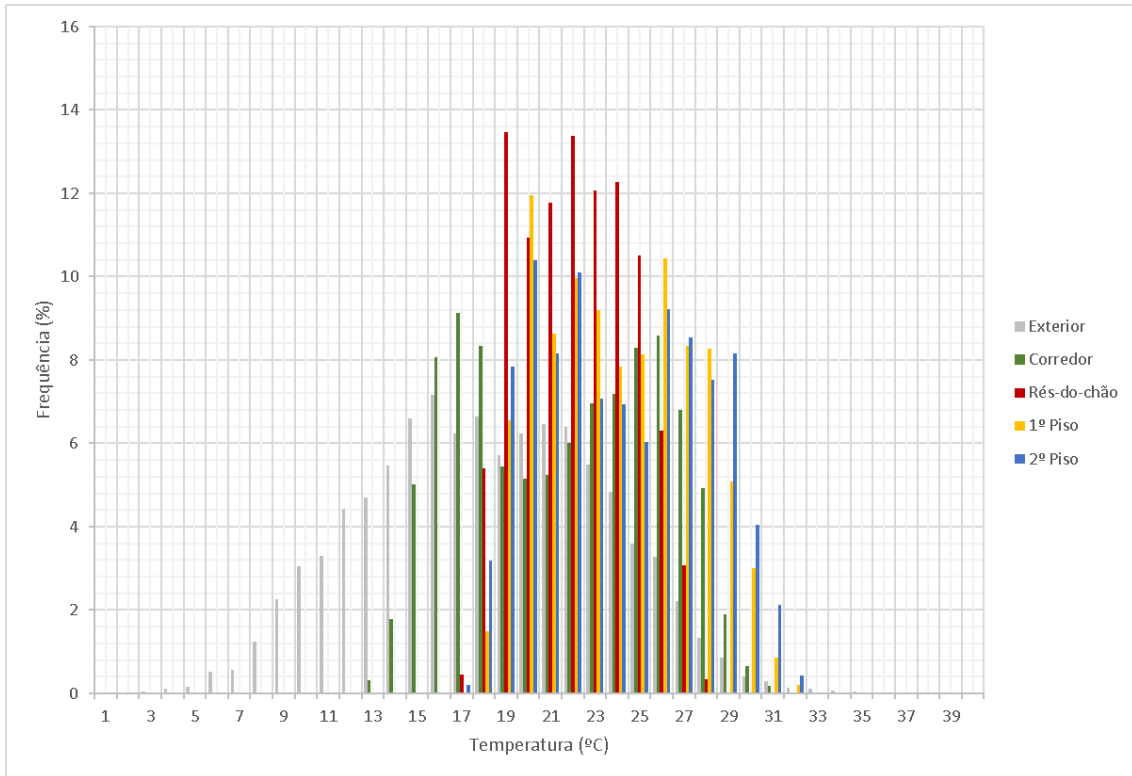


Figura 40. Frequência anual de ocorrência percentual das temperaturas - sombreamento 50% ocupação.

Em conformidade com os resultados apresentados nas seções anteriores, a figura 41 apresenta os resultados para a flutuação de temperaturas das diversas zonas para os dias representativos de janeiro. A figura 42, por sua vez, apresenta os resultados para os dias representativos de julho.

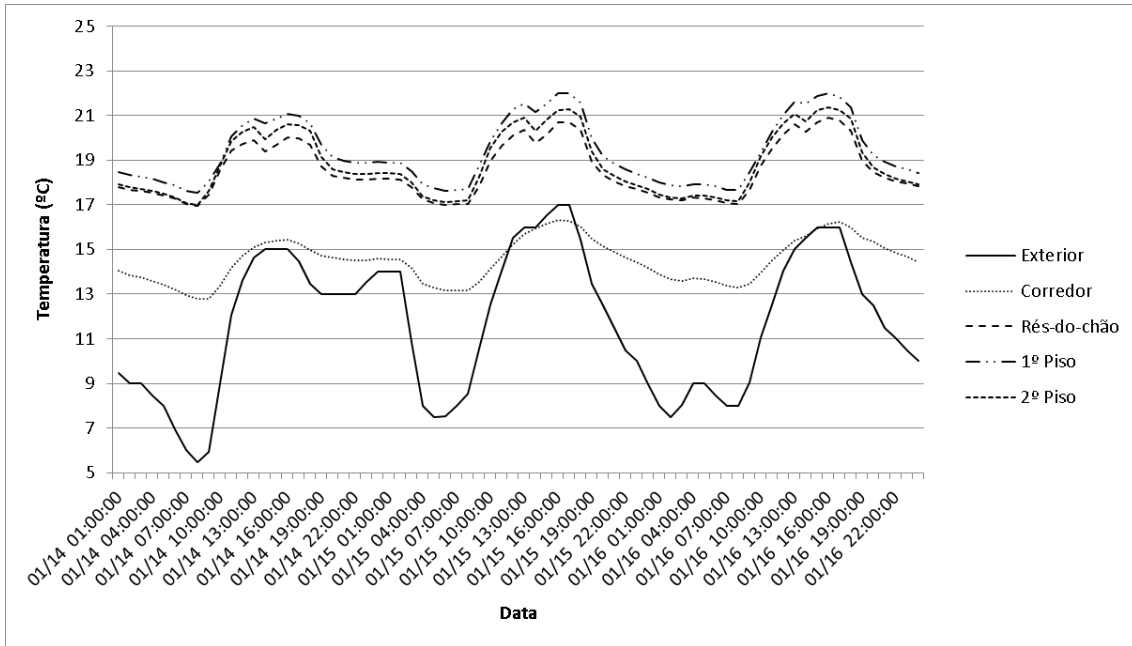


Figura 41. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de janeiro a 16 de janeiro – sombreamento 50% ocupação.

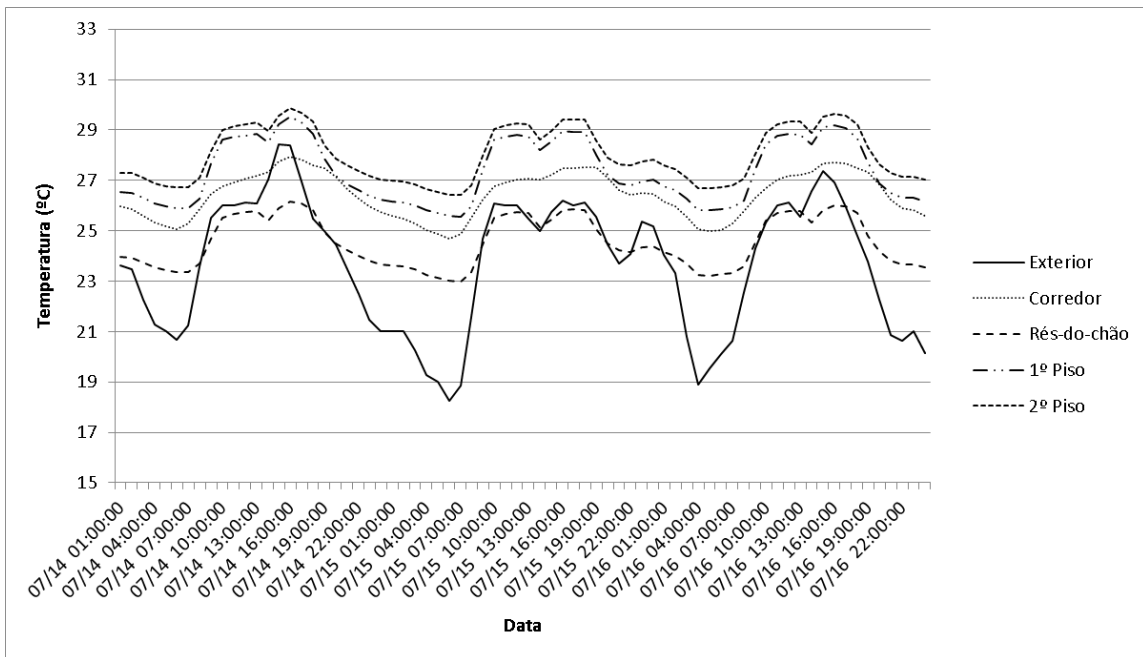


Figura 42. Gráfico de variação da temperatura no interior e exterior do edifício desde dia 14 de julho a 16 de julho – sombreamento 50% ocupação.

4.4. Análise comparativa

Com a análise comparativa tem-se como objetivo proporcionar uma percepção mais clara das diferenças observadas através dos resultados obtidos com a simulação de cada modelo alternativo (cobertura verde e sombreamento), relativamente ao modelo base. A análise é feita, primeiro para a ocupação total e depois para a ocupação parcial. Os resultados ilustrativos da flutuação das temperaturas são apresentados a seguir para todas as zonas térmicas definidas nos modelos.

4.4.1. Ocupação total

Iniciando a análise pela flutuação de temperaturas do corredor (Figura 43), é possível observar que a cobertura verde aumenta a temperatura, ao passo que o sombreamento diminui. Na figura 44 é possível observar que a cobertura verde levemente reduz a temperatura do corredor. Na figura 45 e figura 46, é possível notar que a cobertura verde não causa reduções substanciais de temperatura, ao passo que o sombreamento reduz a temperatura em ambos os dias quentes e frios.

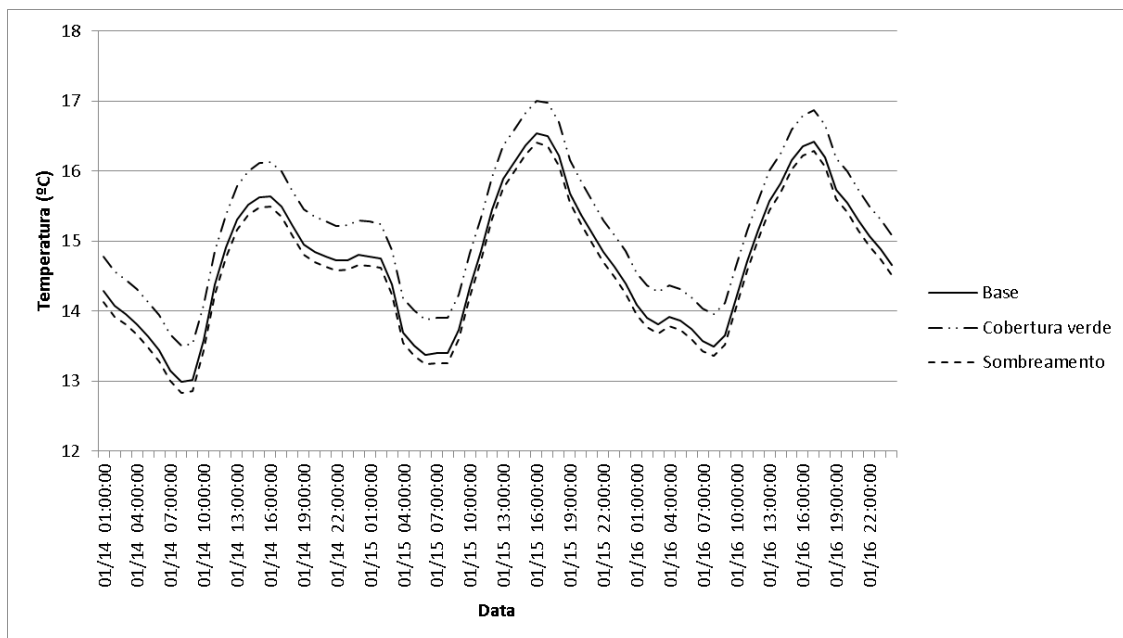


Figura 43. Análise comparativa – Corredor de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.

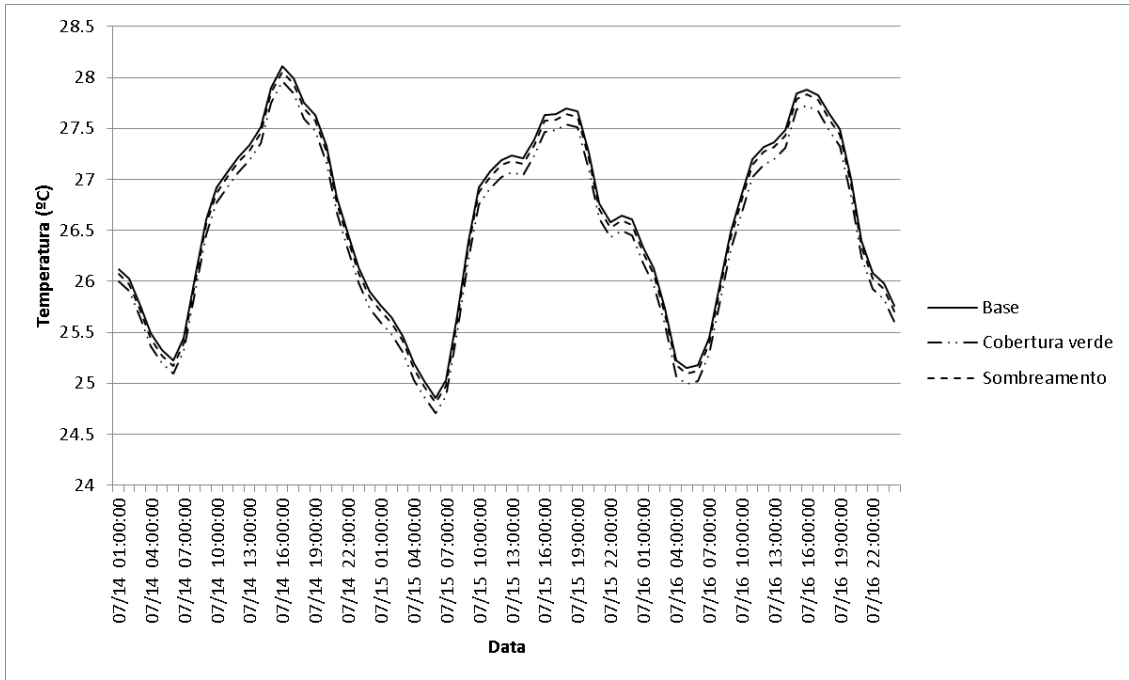


Figura 44. Análise comparativa – Corredor de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.

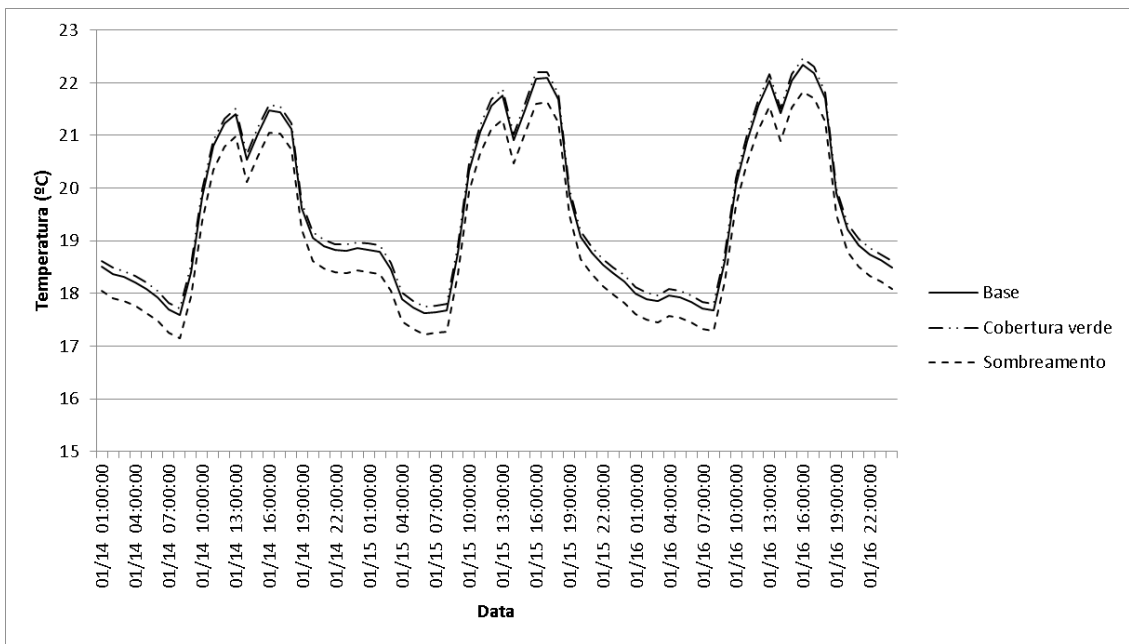


Figura 45. Análise comparativa – Rés-do-chão de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.

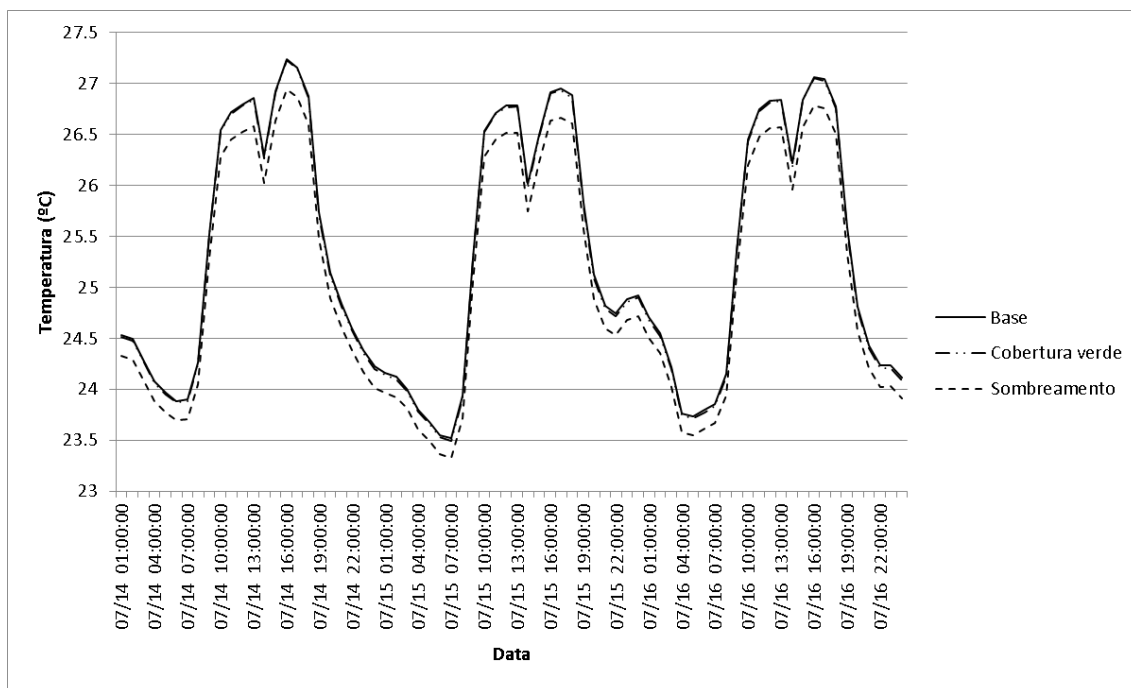


Figura 46. Análise comparativa –Rês-do-chão de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.

A tabela 24 apresenta os resultados comparativos para o corredor, e a tabela 25 apresenta os resultados comparativos para o rés-do-chão., ambas em frequência da variação da temperatura para diversos intervalos.

Tabela 24. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – corredor 100% ocupação.

Modo: Ocupação total	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	Corredor	%	Corredor	%	Corredor	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	137	1.56	53	0.61	166	1.89
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	6472	73.88	6588	75.21	6495	74.14
Horas acima de 25°C	768	8.77	2151	24.55	2119	24.19	2099	23.96
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

Tabela 25. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – Rés-do-chão 100% ocupação.

Modo: Ocupação total	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	Rés-do-chão	%	Rés-do-chão	%	Rés-do-chão	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	6980	79.68	6981	79.69	7352	83.93
Horas acima de 25°C	768	8.77	1780	20.32	1779	20.31	1408	16.07
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

Considerando o 1º Piso, é possível observar, analisando a figura 47 e a figura 48, que para os dias mais frios o sombreamento causa a maior redução das temperaturas internas. A cobertura verde não apresenta significativa diferença em relação ao caso base, sendo até pontualmente responsável por temperaturas mais elevadas. As temperaturas encontram-se, em todos os casos, dentro do intervalo de conforto assumido no âmbito desta dissertação.

Nos dias quentes de verão, durante o período diurno não há grande variação de temperaturas em relação aos modelos estudados. Contudo, durante o período noturno as persianas são responsáveis por maior retenção de calor no interior das zonas térmicas. As temperaturas são, em todos os casos, superiores aos limites de conforto pré-estabelecidos no âmbito desta dissertação.

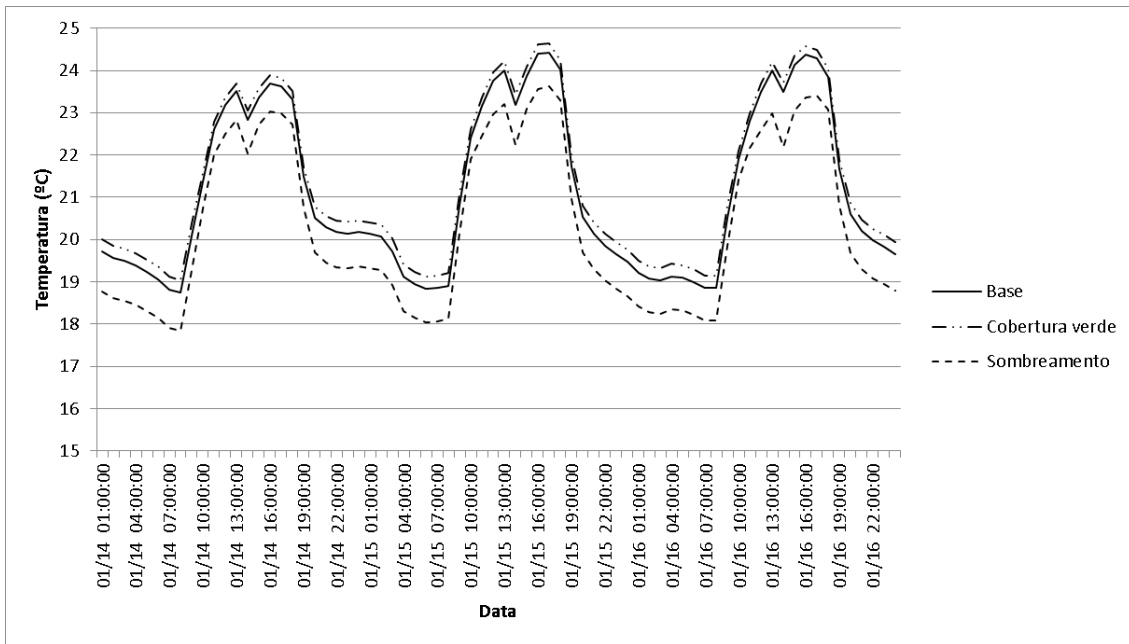


Figura 47. Análise comparativa – 1º Piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.

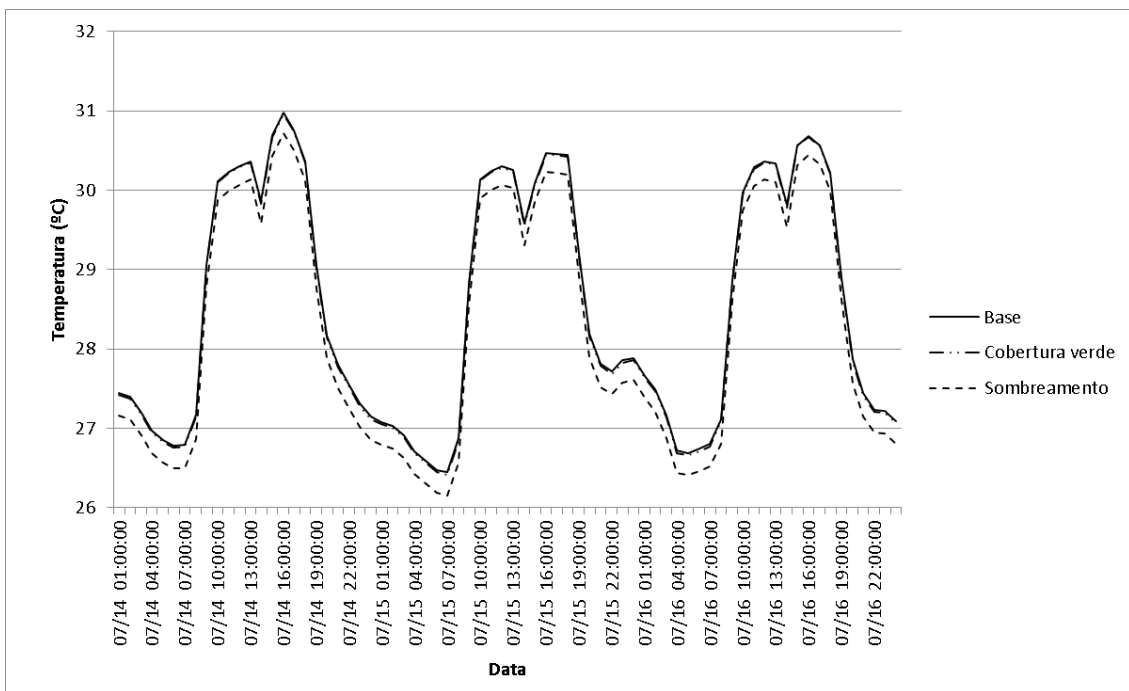


Figura 48. Análise comparativa – 1º Piso de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.

A diferença de temperatura entre os modelos é mais clara (Figura 49), contudo, na zona térmica do 2º Piso, que é mais exposta tanto à radiação solar quanto às perdas e ganhos térmicos por possuir a maior parte da envolvente em contacto com o exterior. Nesta zona térmica, a cobertura verde apresenta, para os dias representativos de inverno, temperaturas mais elevadas do que o caso base e também do que o modelo de

sombreamento. O modelo com sombreamento continua a ser aquele em que se observam as temperaturas mais baixas. Na figura 50, representando os dias de julho, é possível notar que não há diferenças consideráveis entre os modelos estudados.

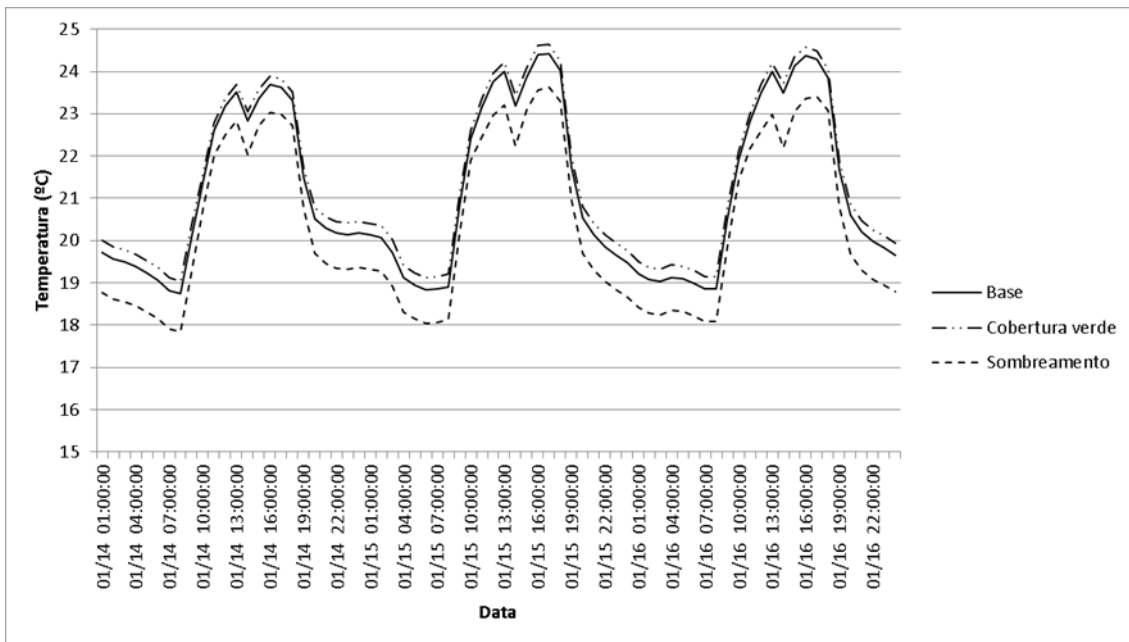


Figura 49. Análise comparativa – 2º piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 100% ocupação.

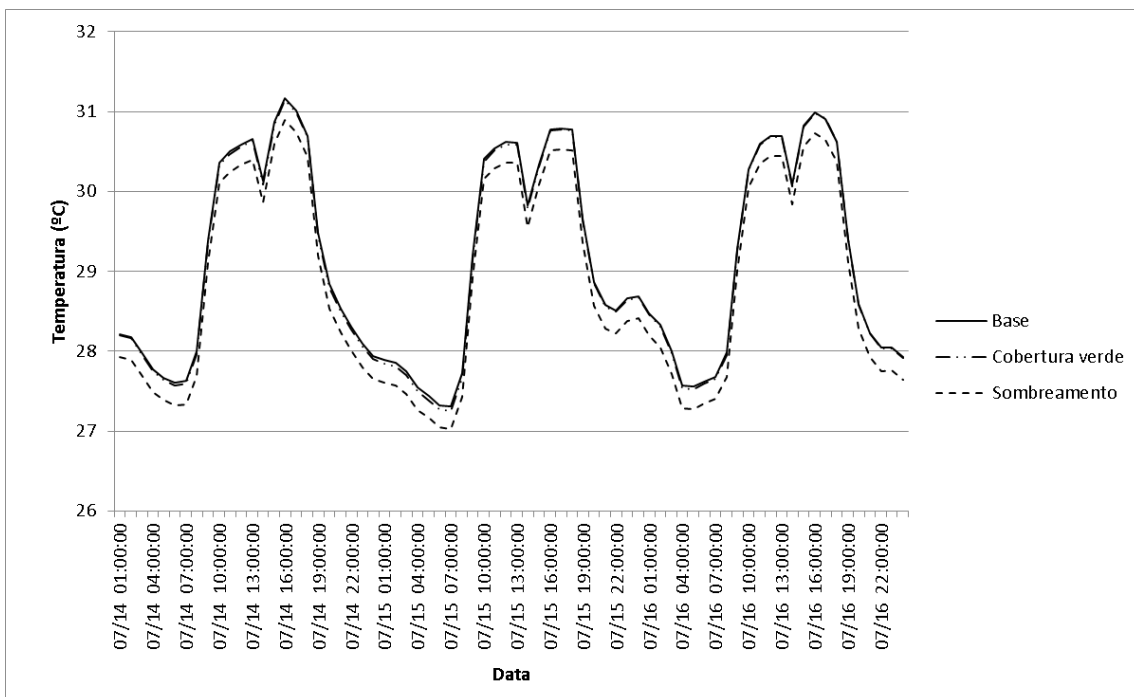


Figura 50. Análise comparativa – 2º piso de 14 de julho a 16 de julho – 100% ocupação.

Em termos de frequências de temperaturas anuais, a tabela 26 apresenta os resultados comparativos para o 1º Piso, e a tabela 27 apresenta os resultados comparativos para o 2º Piso.

Tabela 26. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 1º piso 100% ocupação.

Modo: Ocupação total	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	1º Piso	%	1º Piso	%	1º Piso	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	4189	47.82	4057	46.31	4707	53.73
Horas acima de 25°C	768	8.77	4571	52.18	4703	53.69	4053	46.27
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

Tabela 27. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 2º piso 100% ocupação.

Modo: Ocupação total	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	2º Piso	%	2º Piso	%	2º Piso	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	4241	48.41	4019	45.88	4683	53.46
Horas acima de 25°C	768	8.77	4519	51.59	4741	54.12	4077	46.54
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

4.4.2. Ocupação parcial

Na análise comparativa para a ocupação parcial, é possível notar a influência dos ganhos internos no desempenho térmico das zonas.

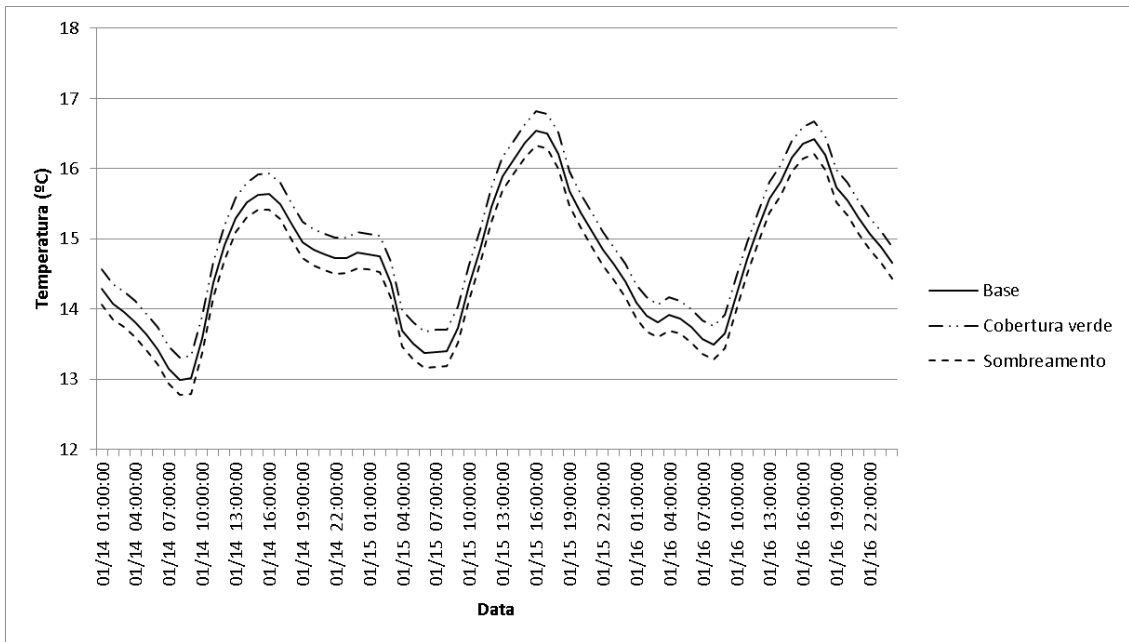


Figura 51. Análise comparativa – corredor de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.

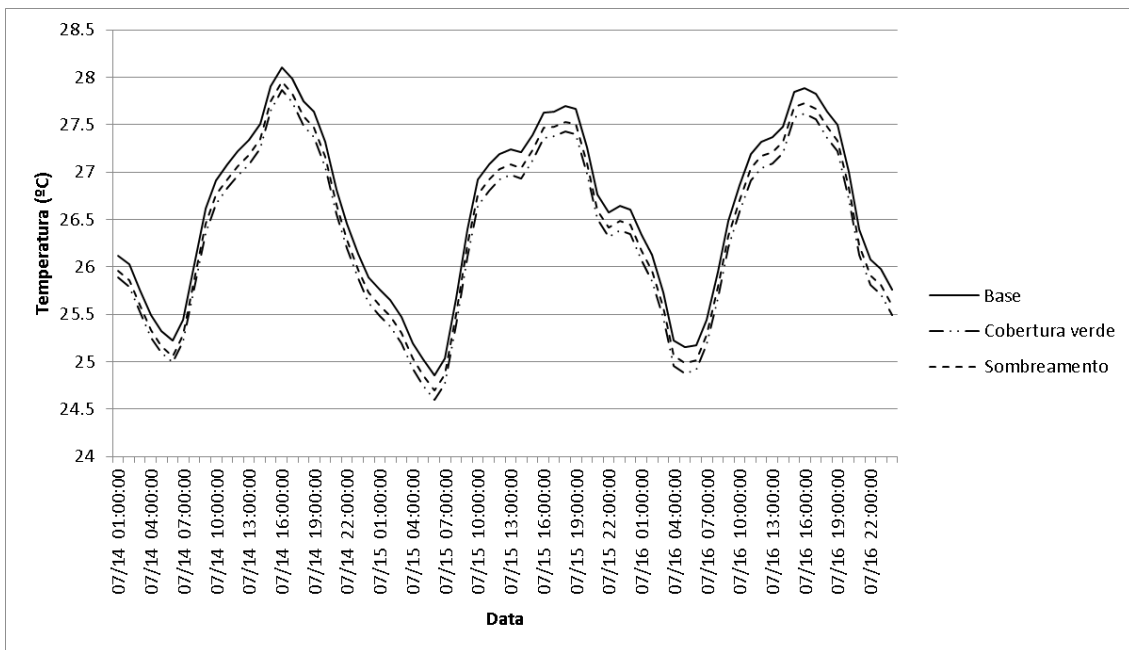


Figura 52. Análise comparativa – corredor de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.

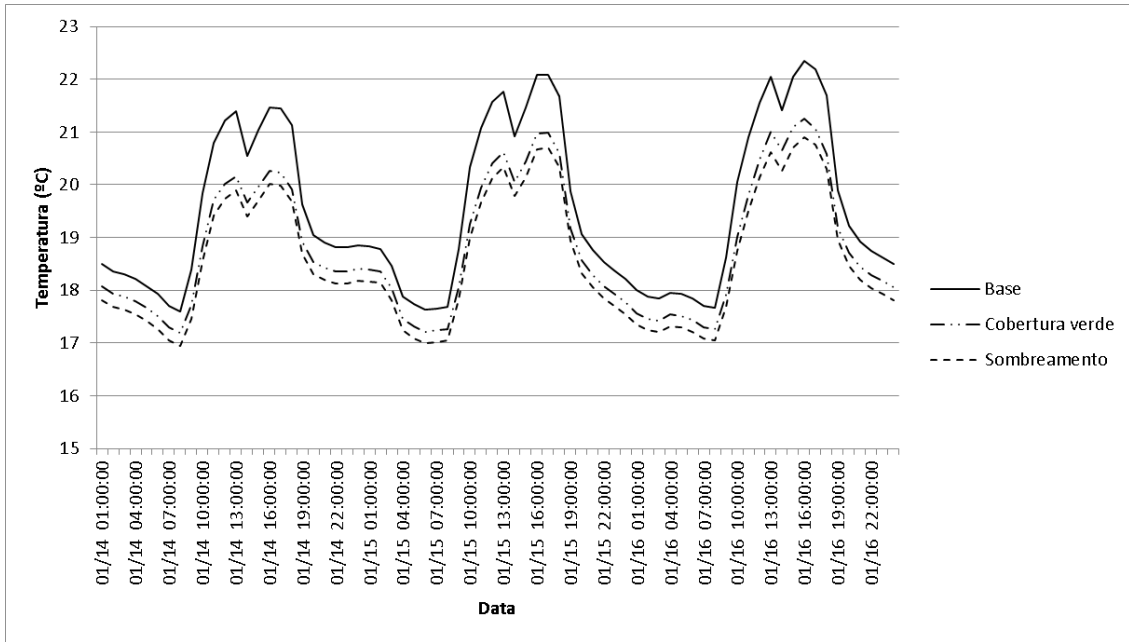


Figura 53. Análise comparativa – rés-do-chão de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.

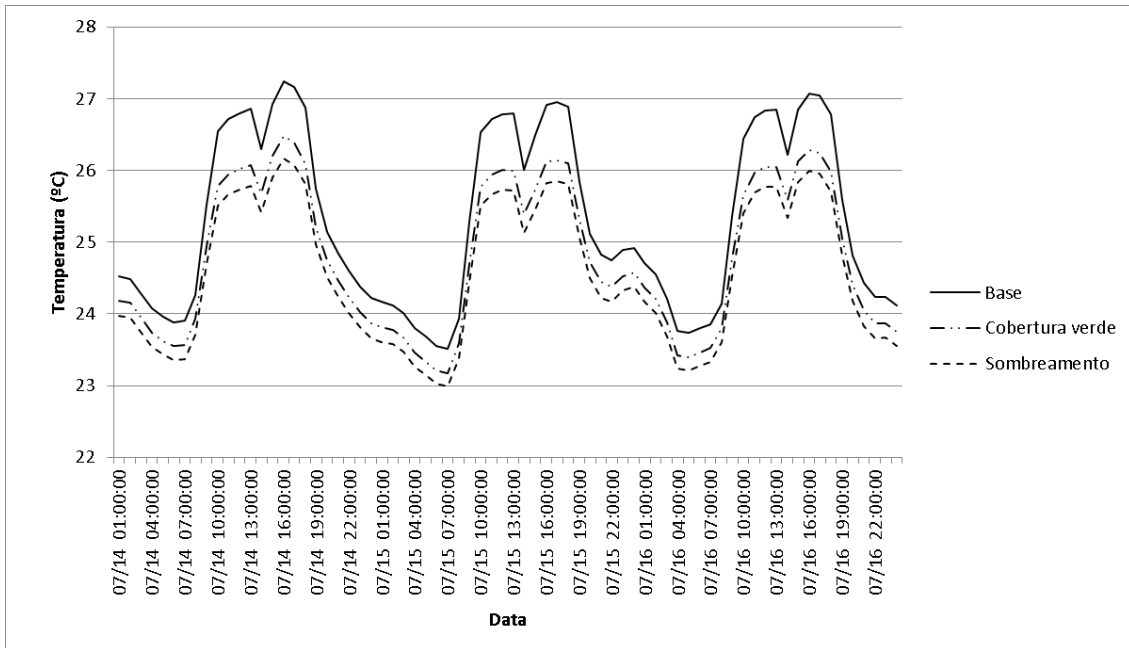


Figura 54. Análise comparativa –rés-do-chão de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.

Em termos de frequências de temperaturas anuais, a tabela 28 apresenta os resultados comparativos para o corredor, e a tabela 29 apresenta os resultados comparativos para o rés-do-chão.

Tabela 28. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – corredor 50% ocupação.

Modo: Ocupação 1/2	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	Corredor	%	Corredor	%	Corredor	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	172	1.96	87	0.99	184	2.10
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	6526	74.50	6635	75.74	6558	74.86
Horas acima de 25°C	768	8.77	2062	23.54	2038	23.26	2018	23.04
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

Tabela 29. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – rés-do-chão 50% ocupação.

Modo: Ocupação 1/2	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	Rés-do-chão	%	Rés-do-chão	%	Rés-do-chão	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	7589	86.63	7589	86.63	7907	90.26
Horas acima de 25°C	768	8.77	1171	13.37	1171	13.37	853	9.74
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

Para o 1º piso (Figura 55), o caso base possui temperaturas consideravelmente maiores que os modelos alternativos. As diferenças de temperatura entre o modelo com sombreamento e com cobertura verde são muito pequenas e praticamente insignificantes. É possível perceber, sobretudo, que a configuração da solução construtiva do caso base proporciona maiores ganhos durante os períodos diurnos (de exposição solar). Para os dias de verão (Figura 56), ambos os modelos alternativos proporcionam redução das temperaturas das zonas térmicas em relação ao caso base, não havendo grande diferença de temperatura entre os modelos alternativos.

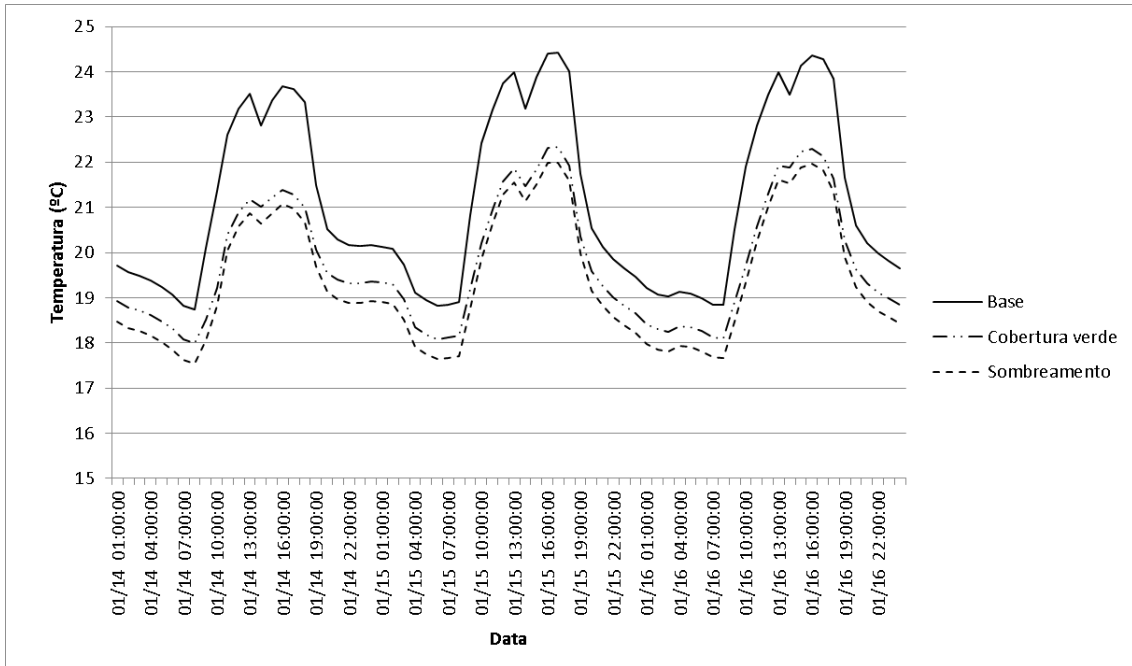


Figura 55. Análise comparativa – 1º piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.

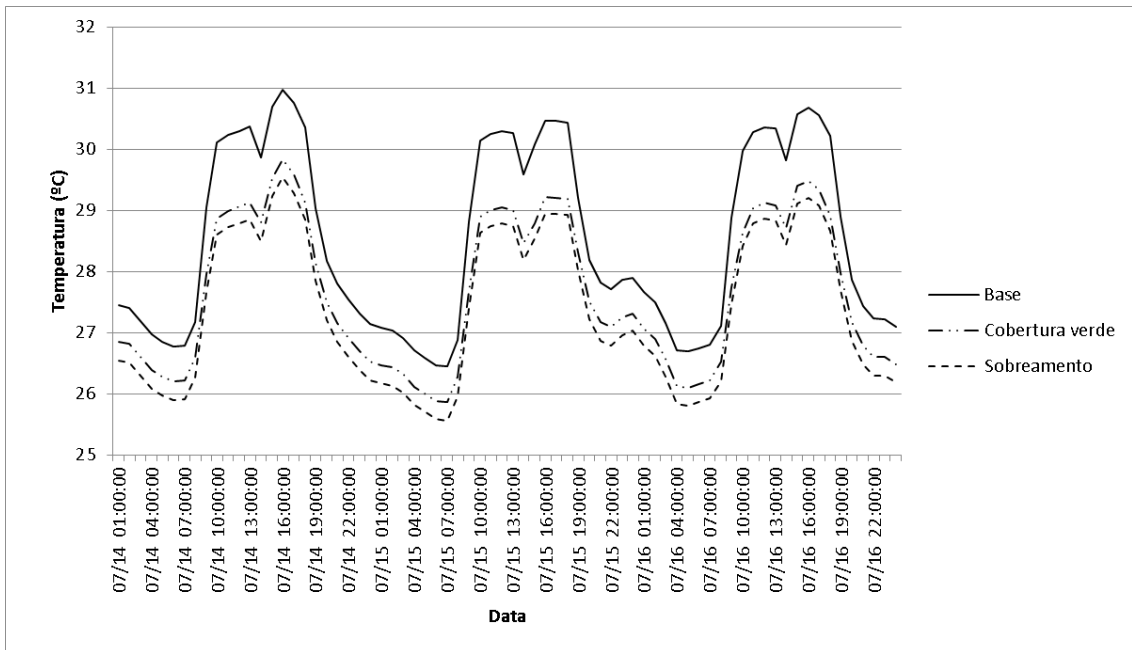


Figura 56. Análise comparativa – 1º piso de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.

Para a zona térmica do 2º piso, com a ocupação parcial, também é bastante perceptível o impacto dos modelos alternativos no período de inverno (Figura 57), sendo o caso base responsável pelas temperaturas mais altas, seguido pelo modelo com coberturas verdes e o modelo com sombreamento. Nos dias de verão (Figura 58), os modelos

alternativos também são responsáveis por redução de temperaturas no interior das zonas térmicas mencionadas. Não há, entretanto, diferenças consideráveis entre os modelos alternativos, no que toca à flutuação de temperatura para os dias representativos de julho.

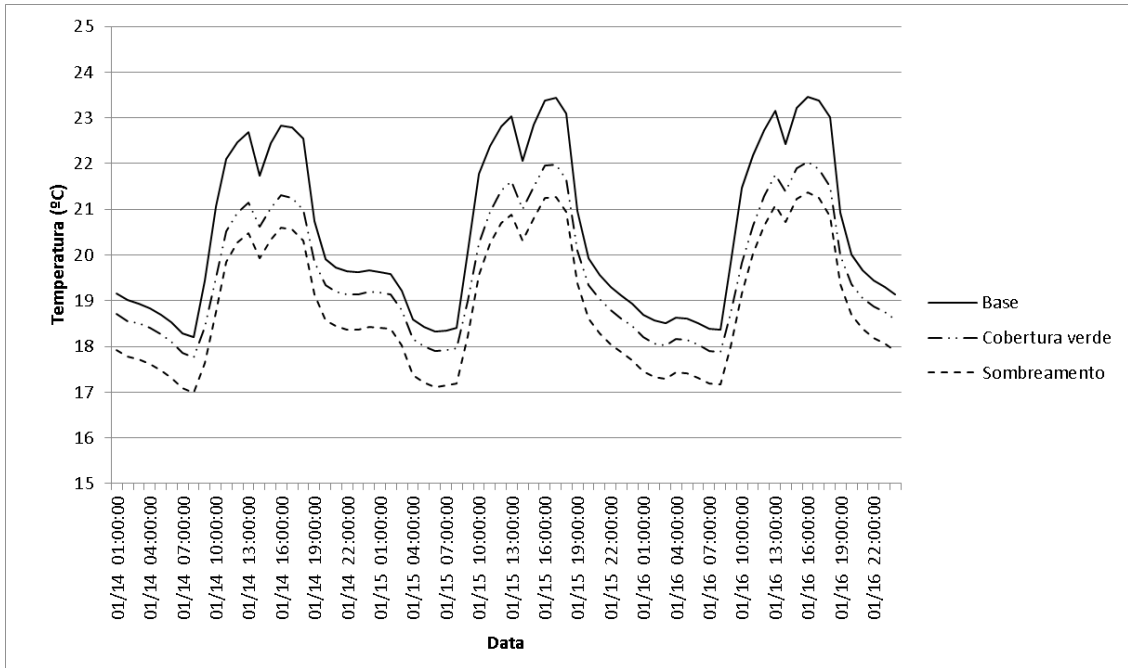


Figura 57. Análise comparativa – 2º piso de 14 de janeiro a 16 de janeiro – 50% ocupação.

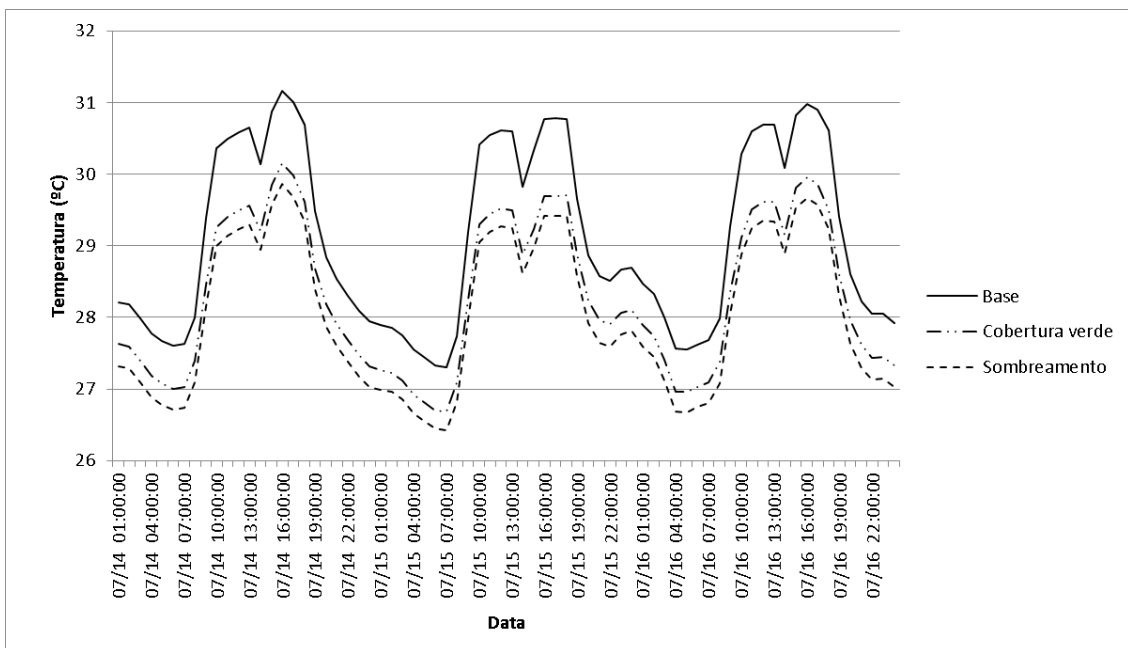


Figura 58. Análise comparativa – 2º piso de 14 de julho a 16 de julho – 50% ocupação.

Em termos de frequências de temperaturas anuais, a tabela 30 apresenta os resultados comparativos para o 1º Piso, e a tabela 31 apresenta os resultados comparativos para o 2º Piso.

Tabela 30. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 1º piso 50% ocupação.

Modo: Ocupação 1/2	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	1º Piso	%	1º Piso	%	1º Piso	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	4545	51.88	5163	58.94	5588	63.79
Horas acima de 25°C	768	8.77	4215	48.12	3597	41.06	3172	36.21
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

Tabela 31. Análise comparativa do número de horas a várias temperaturas no interior e exterior do edifício – 2º piso 50% ocupação.

Modo: Ocupação 1/2	Fixo		Base		Cobertura verde		Sombreamento	
	Exterior	%	2º Piso	%	2º Piso	%	2º Piso	%
Horas abaixo de 15°C	2263	25.83	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Horas entre 15°C e 25°C	5729	65.40	4984	56.89	4814	54.95	5248	59.91
Horas acima de 25°C	768	8.77	3776	43.11	3946	45.05	3512	40.09
Total	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00	8760	100.00

5. Conclusões

A presente dissertação trata do estudo do desempenho térmico de uma edificação da Universidade do Algarve, tendo adotado como caso de estudo o edifício de Engenharia Civil. Os objetivos propostos foram a realização de uma revisão bibliográfica, a caracterização do caso face aos objetivos, desenvolvimento dos modelos de simulação computacional para o edifício de referência e soluções alternativas. Considerando o contexto energético atual, o conteúdo proposto para a presente dissertação de mestrado é bastante pertinente, sobretudo quando se atenta para as elevadas emissões de gases de efeito estufa causadas pelo consumo de eletricidade proveniente de fontes não renováveis.

No Capítulo 1, o tema foi introduzido levando-se em conta os aspetos mais relevantes do problema atual enfrentado pelo sector das edificações em termos de eficiência energética, o consumo de recursos energéticos e emissões de gases de efeito estufa daí decorrentes. Também foram brevemente revistos aspetos relacionados com regulamentação nacional e europeia, bem como tratados internacionais, de cumprimento obrigatório, que procuram globalmente um futuro mais sustentável. A motivação, neste contexto, foi apresentada e justificou a necessidade de um estudo mais aprofundado das soluções construtivas dos edifícios. Em particular, tanto quanto nos foi possível saber não existem estudos específicos sobre o efeito de coberturas verdes em edificações no Algarve.

No Capítulo 2, a fundamentação teórica foi apresentada por meio de revisão bibliográfica, tendo sido apresentada uma resenha sobre a arquitetura bioclimática assim como uma descrição sucinta das principais soluções passivas para aquecimento e arrefecimento. Nesse capítulo foi realizada uma análise mais detalhada da constituição e do desempenho de coberturas verdes, sendo o mesmo finalizado com uma breve análise sobre as suas soluções construtivas.

No Capítulo 3 foi tratado o estudo de caso, primeiramente descrevendo-se a arquitetura e as soluções construtivas utilizadas na construção da edificação e depois o modelo de referência, tendo sido utilizado o arquivo climático fornecido pelo *software Energyplus* para a cidade de Faro. Tanto para a análise de desempenho energético do modelo de referência como para os alternativos, foi simulada a edificação com a ocupação total e parcial (50%). O facto da simulação ter sido feita com dois padrões de ocupação, torna as respetivas influências bem visíveis em todos os modelos.

As soluções passivas alternativas consideradas foram, uma cobertura verde extensiva com 0,2m de substrato, com vegetação rasteira e pequenos arbustos de pouca manutenção e outra um “sombreamento inteligente” por meio de persianas que estão totalmente abertas, ou totalmente fechadas, em função da temperatura interior da zona - quando a temperatura da zona térmica que estão inseridas ultrapassar os 22°, estas estão fechadas. Mesmo quando fechadas fazem um ângulo de 45° com a vertical o que permite a entrada de luz para o interior dos espaços das zonas térmicas correspondentes.

Em todos os modelos os valores de iluminação foram colocados de acordo com o que realmente existe no edifício, a ocupação foi obtida a partir dos valores de ocupação total de todas as salas existentes e os valores de trocas de ar foram utilizados os valores de regulamento (RECS).

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos nas simulações com o *software EnergyPlus*. Os principais resultados apontam para temperaturas dentro da zona de conforto durante os meses geralmente ditos “mais frios” e temperados e superiores durante os meses ditos “mais quentes”, na generalidade e para todas as zonas térmicas. O primeiro e o segundo piso são as zonas térmicas com as temperaturas mais elevadas, tanto nos “dias frios” como nos “dias quentes”, uma vez que apresentam maior ocupação que as outras zonas térmicas e o segundo piso possui maior área de envolventes exteriores.

No corredor, o modelo base apresenta 73,88% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta 75,21%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 74,14%. No rés-do-chão, o modelo base apresenta 79,68% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta 79,69%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 83,93%. No primeiro piso, o modelo base apresenta 47,82% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta 46,31%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 53,73%. No segundo piso, o modelo base apresenta 48,41% das horas anuais dentro das temperaturas de conforto, o modelo de cobertura verde apresenta 45,88%, ao passo que o modelo de sombreamento apresenta 53,46%. Os resultados obtidos ficaram um pouco abaixo do esperado visto o edifício ser relativamente recente (inaugurado em 2004) tendo sido já construído sobre indicações de regulamentação térmica. Acredita-se que as mesmas soluções num edifício mais antigo sortissem um maior resultado.

5.1. Desenvolvimentos futuros

Dados os resultados obtidos na presente dissertação, recomenda-se como desenvolvimentos futuros um estudo quanto à variação de diferentes parâmetros nas estratégias utilizadas, tendo como exemplo a utilização de diferentes *set-points* para a ativação de “sistemas inteligentes”, utilizando a domótica como ferramenta auxiliar. Recomenda-se ainda o estudo da aplicação de outras “estratégias inteligentes” de sombreamento no envidraçado do corredor, orientado a noroeste – situação esta que pode ser extrapolada para outras edificações no sul de Portugal, dada a grande exposição solar e a sua grande influência para o sobreaquecimento do espaço.

Além disso, são necessários mais estudos que tenham como base o clima característico da região do Algarve, que é consideravelmente diferente do clima de outras regiões portuguesas. A necessidade de se atingir edificações com balanço quase-zero de energia vai além dos limites impostos pela legislação atualmente em vigor. São ainda necessários estudos de estratégias que não só resultem em melhor desempenho térmico, mas que também tenham custos de implementação que possam ser realistas para grande parte da população, não só para as edificações públicas. Recomenda-se ainda o estudo dos balanços energéticos em caso de geração de energia solar no edifício aliada a estratégias como as aqui apresentadas – uma vez que a região sul do país é das mais ricas no que respeita à disponibilidade deste recurso.

6. Anexos

Os principais objectos utilizados como inputs no software EnergyPlus são apresentados neste anexo. A figura 59 apresenta a interface do software onde os dados são inseridos, referente a característica dos materiais. A figura 60 apresenta a interface para a caracterização dos elementos construtivos, e a figura 61 apresenta a interpretação das superfícies do desenho 3D em coordenadas.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Betonilha Leca	Betonilha regulariza	Bloco Leca 15	Bloco Leca 20	Gesso Cartonado	Laje Betão Armado	Membrana Asfáltica
Roughness		Rough	Rough	Rough	Rough	MediumRough	Rough	Rough
Thickness	m	0.08	0.16	0.15	0.2	0.01	0.2	0.004
Conductivity	W/m-K	0.33	1.3	0.46	0.46	0.25	2.5	0.23
Density	kg/m3	900	1800	950	950	875	2400	1050
Specific Heat	J/kg-K	1000	1000	840	840	840	1000	1460
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Visible Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Field	Units	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15
Name		Mosaico Silstone 6C	Parquet Industrial	Placa XPS Roofmat	Placa XPS Wallmat	Primario Betuminosc	Reboco Estucado	Reboco Tradicional	Tabuado pinho
Roughness		MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth	Rough	MediumRough	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0.01	0.02	0.05	0.03	0.001	0.03	0.03	0.02
Conductivity	W/m-K	0.69	0.18	0.037	0.037	0.17	0.4	13	0.18
Density	kg/m3	1700	657.5	25	25	1050	1000	1800	675.5
Specific Heat	J/kg-K	840	1340	1550	1550	1460	840	1000	1340
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Visible Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Figura 59. Interface para caracterização dos materiais.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Coberturas	Envidraçados	Parede Int. sala con	Parede Int. sala con	Parede Int. Salas	Paredes Exteriores	Piso corredores	Piso salas	Piso terreo corredor	Piso terreo Salas	Tecto corredores	Tecto salas
Outside Layer		Betonilha regulariza	Envidraçado	Bloco Leca 20	Reboco Estucado	Reboco Estucado	Reboco Tradicional	Reboco Estucado	Gesso Cartonado	Laje Betão Armado	Laje Betão Armado	Mosaico Silstone 6C	Parquet Industrial
Layer 2		Placa XPS Roofmat		Reboco Estucado	Bloco Leca 20	Bloco Leca 20	Bloco Leca 15	Laje Betão Armado	Laje Betão Armado	Betonilha regulariza	Betonilha regulariza	Betonilha regulariza	Betonilha regulariza
Layer 3		Membrana Asfáltica				Reboco Estucado	Placa XPS Wallmat	Betonilha regulariza	Betonilha regulariza	Mosaico Silstone 6C	Parquet Industrial	Laje Betão Armado	Laje Betão Armado
Layer 4		Primario Betuminosc					Bloco Leca 20	Mosaico Silstone 6C	Parquet Industrial			Reboco Estucado	Gesso Cartonado
Layer 5		Betonilha Leca					Reboco Estucado						
Layer 6		Laje Betão Armado											
Layer 7													
Layer 8													
Layer 9													
Layer 10													

Figura 60. Interface para caracterização dos elementos construtivos.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Surface 1	Surface 11	Surface 13	Surface 14	Surface 15	Surface 16
Surface Type		Floor	Wall	Floor	Wall	Wall	Wall
Construction Name		Piso terreo corredor	Paredes Exteriores	Piso corredores	Paredes Exteriores	Parede Int. sala con	Paredes Exteriores
Zone Name		Thermal Zone 13 TI	Thermal Zone 13 TI	Thermal Zone 13 TI	Thermal Zone 13 TI	Thermal Zone 13 TI	Thermal Zone 13 TI
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Surface	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object				Surface 6			
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground							
Number of Vertices							
Vertex 1 X-coordinate	m	4.73	0	4.73	4.73	4.73	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	0	-40.08	0	0	-40.08	-40.08
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	7.2	0	3.6	3.6	3.6
Vertex 2 X-coordinate	m	4.73	0	4.73	4.73	4.73	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	-40.08	-40.08	-40.08	0	-40.08	-40.08
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	3.6	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	0	4.73	0	0	4.73	4.73
Vertex 3 Y-coordinate	m	-40.08	-40.08	-40.08	0	0	-40.08
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	3.6	0	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0	4.73	0	0	4.73	4.73
Vertex 4 Y-coordinate	m	0	-40.08	0	0	0	-40.08
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	7.2	0	3.6	3.6	3.6
Vertex 5 X-coordinate	m						

Figura 61. Interface para caracterização das superfícies, em coordenadas.

Bibliografia

Agência Internacional de Energia (2012) *Energy technology perspectives 2012: pathways to a clean energy system*. OECD/IEA.

Agência Portuguesa do Ambiente (2012) 'Relatório do Estado do Ambiente 2011'. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Berardi, U. (2013) 'Clarifying the new interpretations of the concept of sustainable building', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier B.V., 8(2013), pp. 72–78. doi: 10.1016/j.scs.2013.01.008.

Berardi, U., GhaffarianHoseini, A. and GhaffarianHoseini, A. (2014) 'State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs', *Applied Energy*. Elsevier, 115, pp. 411–428.

Bot, K. (2015) 'Modelação computacional e validação de soluções solares passivas para a melhoria do conforto térmico de uma edificação pré-fabricada'. Universidade de Évora.

Castleton, H. F. *et al.* (2010) 'Green roofs; Building energy savings and the potential for retrofit', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 42(10), pp. 1582–1591. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.05.004.

Chel, A., Nayak, J. K. and Kaushik, G. (2008) 'Energy conservation in honey storage building using Trombe wall', *Energy and Buildings*. Elsevier, 40(9), pp. 1643–1650.

Climate-data.org (2018) *Clima - Faro*.

Diário da República n.º 159/2013 (2013) 'Decreto-Lei 118/2013'.

Emilsson, T. (2008) 'Vegetation development on extensive vegetated green roofs: influence of substrate composition, establishment method and species mix', *Ecological engineering*. Elsevier, 33(3–4), pp. 265–277.

Faruck, M. and Chatterjee, P. (2018) 'Air pollution detection using multisensor data fusion', in *Proceedings of the Workshop Program of the 19th International Conference on Distributed Computing and Networking*. ACM, p. 24.

Fragoso, R. (2013) 'O novo enquadramento legal do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)', *Encontro 2013 ADENE-Agências Regionais e Municipais de Energia*.

Frota, A. B. and Schiffer, S. R. (1995) *Manual de conforto térmico*. Studio Nobel.

Gaitani, N., Mihalakakou, G. and Santamouris, M. (2007) 'On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces',

- Building and Environment*. Elsevier, 42(1), pp. 317–324.
- Givoni, B. (1992) 'Comfort, climate analysis and building design guidelines', *Energy and buildings*. Elsevier, 18(1), pp. 11–23.
- Givoni, B. (1994) *Passive low energy cooling of buildings*. John Wiley & Sons.
- Gonçalves, H. (1997) Edifícios Solares Passivos em Portugal, INETI
- Gonçalves, H. and Graça, J. M. (2004) *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. DGGE/IP-3E.
- Jones, D. L., Hudson, J. and Ando, T. (1998) *Architecture and the environment: bioclimatic building design*. Laurence King London.
- Karachaliou, P., Santamouris, M. and Pangalou, H. (2016) 'Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens', *Energy and Buildings*. Elsevier B.V., 114, pp. 256–264. doi: 10.1016/j.enbuild.2015.04.055.
- Lacasta, N. S. and Barata, P. M. (1999) 'O protocolo de quioto sobre alterações climáticas: análise e perspectivas', *Programa: Clima e Eficiência Energética*, pp. 1–23.
- Lamberts, R., Dutra, L. and Pereira, F. O. R. (1997) *Eficiência energética na arquitetura*. PW Editores São Paulo, Brazil.
- Lamberts, R., Ghisi, E. and PAPST, A. L. (2000) 'Desempenho térmico de edificações', *Universidade Federal*.
- Lanham, A., Braz, R. and Gama, P. (2007) 'Arquitetura Bioclimática: Perspectivas de inovação e futuro'. IST Press.
- Li, X. and Wen, J. (2014) 'Review of building energy modeling for control and operation', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 37, pp. 517–537.
- Liu, K. K. Y. and Baskaran., B. A. (2004) *No Title, Green Roof Infrastructure - Technology Demonstration, Monitoring and Market Expansion Project*.
- Manzano-Agugliaro, F. et al. (2013) 'Scientific production of renewable energies worldwide: an overview', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 18, pp. 134–143.
- Moita, F. (1987) 'Energia solar passiva'. SI.
- Nagase, A. and Dunnett, N. (2010) 'Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity', *Landscape and urban planning*. Elsevier, 97(4), pp. 318–327.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. and Pout, C. (2008) 'A review on buildings energy

- consumption information', *Energy and buildings*. Elsevier, 40(3), pp. 394–398.
- Peri, G. *et al.* (2012) 'The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: Covering the gap', *Energy*. Elsevier, 48(1), pp. 406–414.
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C. and Braga, A. M. (2009) 'Térmica de edifícios', *Lisboa: Orion*.
- Shaikh, P. H. *et al.* (2014) 'A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 34, pp. 409–429.
- Silva, C. A. S. and Carreira, P. (2014) 'Green Sustainable Data Centres', in *Greening by IT*. Open University Netherlands.
- Sirgado, J. (2010) 'Análise do impacte dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios', *ISTL*.
- Spala, A. *et al.* (2008) 'On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece', *Renewable Energy*. Elsevier, 33(1), pp. 173–177.
- Tectonica Online (1993) *Green roof types*. Available at: http://www.tectonica-online.com/products/1993/panel_controlling_garden_irrigation_work_drainage_elements/.
- Vyas, G. S. and Jha, K. N. (2017) 'Benchmarking green building attributes to achieve cost effectiveness using a data envelopment analysis', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier B.V., 28, pp. 127–134. doi: 10.1016/j.scs.2016.08.028.
- Williams, N. S. G., Rayner, J. P. and Raynor, K. J. (2010) 'Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia', *Urban Forestry & Urban Greening*. Elsevier, 9(3), pp. 245–251.
- Wong, N. H. *et al.* (2003) 'The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore', *Energy and buildings*. Elsevier, 35(4), pp. 353–364.
- Yannas, S. and Maldonado, E. (1995) 'PASCOOL handbook-Designing for summer comfort', *Architectural Association Graduate School, Londres*.