



RICARDO MANUEL ESPADA CORDEIRO
Licenciado em Ciências da Engenharia

ESTUDO DE REABILITAÇÃO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO UNIFAMILIAR

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL
Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2024



ESTUDO DE REABILITAÇÃO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO UNIFAMILIAR

RICARDO MANUEL ESPADA CORDEIRO

Licenciado em Ciências da Engenharia

Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei,
Professor associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Professora Doutora Maria da Graça Reis e Silva de Oliveira Neves,
Professora Associada com Agregação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Arguente: Professor Doutor Guilherme Barreto Arez Coelho,
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei,
Professor Associado da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Estudo de reabilitação da envolvente de um edifício unifamiliar

Copyright © Ricardo Manuel Espada Cordeiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Daniel Aelenei por todo o apoio e transmissão de conhecimento na elaboração desta dissertação.

Aos meus colegas João, Pedro e Alexandre, e a todos os outros cujo nome não mencionei, mas que nem por isso foram menos importantes, pelo companheirismo e cumplicidade nos estudos. Um agradecimento especial ao David, à Bruna e à Inês, por tudo o que anteriormente foi dito e, sobretudo, pela amizade desde sempre demonstrada.

Aos meus avós, pais, tios e namorada pelo apoio incondicional desde o primeiro ao último momento.

RESUMO

Com o aumento da necessidade de mais habitação em Portugal surge, também, a necessidade de reabilitar edifícios e não apenas apostar em construção nova. Não só pelo facto da ocupação urbana ser cada vez mais escassa, como também pelos gastos que pode implicar comparativamente à reabilitação. Esta procura, aliada à vontade de criar melhores condições de conforto dentro das habitações, leva a que se estudem quais as melhores soluções para reabilitar um edifício. Existem várias formas de reabilitação, entre elas a substituição de vãos envidraçados com melhor comportamento térmico, o acréscimo de isolamento térmico em toda a envolvente opaca, ou até mesmo a substituição de sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias por outros mais eficientes e com recurso a energias renováveis.

Nesse sentido, pretendeu-se através desta dissertação fazer uma análise com várias soluções construtivas, associadas a um caso de estudo, e perceber qual delas apresentava melhores resultados. Para tal, recorreu-se ao programa *Energyplus*, que permite simular temperaturas interiores e ganhos pelos vãos envidraçados, e às folhas de cálculo regulamentares para calcular as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Os resultados obtidos apontam no sentido de que algumas soluções, principalmente as que contemplam isolamento térmico com maior espessura, funcionam bem no período de inverno. Por outro lado, verificou-se que no período de verão estas mesmas soluções podem penalizar o comportamento térmico do edifício.

Palavas chave: *EnergyPlus*, Reabilitação, Necessidades energéticas, Vãos envidraçados, Conforto térmico

ABSTRACT

With the increase of necessities of more habitation in Portugal, there is also the need to rehabilitate buildings and not only invest in new construction. Not just because the fact that the urban occupation is more and more scarce, as well as the expenses that may involve comparatively to rehabilitation. This demand, allied to the will of creation better comfort conditions within homes, leads to studies which are the best solutions for rehabilitating a building. There are some ways to rehabilitate, including the replacement of glazed openings with better thermal features, the addition of thermal insulation throughout the opaque zone, or even by changing the water heating system for one with more efficient and using renewable energies.

In that perspective, it was intended, through this dissertation, to make an analysis with some constructive solutions, associated with a case study, and understand which of theme reveals better results. For that it was used the EnergyPlus program, to simulate interior temperatures and gains through the windows, and for other side, with the help of the reglementary calculation sheet, we've calculated the necessities of cooling and heating. Some of these results transmitted the idea that some solutions, especially those that include thicker thermal insulation, work well in the winter period, but in the summer period could have difficult to comply the regulation.

Keywords: EnergyPlus, Rehabilitation, Energy Needs, Windows, Thermal Comfort

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contexto	1
1.2	Motivação e objectivos	1
1.3	Estrutura do trabalho.....	2
2	ENQUADRAMENTO	5
2.1	Evolução da regulamentação térmica	5
2.2	Parque habitacional edificado	7
2.2.1	Evolução dos sistemas construtivos.....	8
2.3	Desempenho energético de edifícios residenciais	11
2.3.1	Coeficiente de transmissão térmica.....	12
2.3.2	Transferência de calor	14
2.3.3	Elementos de sombreamento	15
2.4	Conforto térmico.....	17
2.5	Reabilitação de edifícios.....	20
3	METODOLOGIA E SIMULAÇÃO ENERGÉTICA.....	23
3.1	Caso de estudo	23
3.2	Soluções construtivas e melhorias propostas	25
3.3	Utilização das ferramentas Energyplus e Window 8.0	29
3.3.1	Parâmetros da simulação.....	30
3.3.2	Localização e clima.....	34

3.3.3	Horários	35
3.3.4	Elementos construtivos das superfícies opacas.....	36
3.3.5	Superfícies térmicas	39
3.3.6	Ganhos Internos	43
3.3.7	Ventilação	44
3.3.8	Relatório da simulação.....	45
3.3.9	Utilização do programa Window 8.0	46
4	DEMONSTRAÇÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	48
4.1	Simulação sem elementos fixos de sombreamento	48
4.1.1	Simulação com orientação solar inicial.....	48
4.1.2	Simulação com orientação solar modificada - rotação 45°.....	62
4.2	Simulação com elementos fixos de sombreamento.....	75
5	CÁLCULO E ANÁLISE DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS.....	89
5.1	Introdução.....	89
5.1.1	Necessidades de energia de aquecimento	89
5.1.2	Necessidades de energia de arrefecimento.....	90
5.1.3	Necessidades de energia primária	90
5.2	Demonstração e comparação de resultados	92
5.2.1	Necessidades nominais anuais de energia útil, com orientação solar inicial.....	92
5.2.2	Necessidades nominais anuais de energia útil, com orientação solar modificada – rotação 45°	94
6	CONCLUSÕES.....	99
A	ANEXOS.....	103
A.1	FICHAS TÉCNICAS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	103
A.2	PORMENORES CONSTRUTIVOS.....	105
A.3	COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Número de fogos construídos em obras de construção novas e em intervenções de reabilitação, 1991-202.....	8
Figura 2.2 - Estrutura de uma moradia com pilares e vigas em betão armado	9
Figura 2.3 - Pormenor de isolamento térmico em pilares	9
Figura 2.4 - Parede simples revestida com ETICS.....	10
Figura 2.5 - Parede em alvenaria de pedra.....	11
Figura 2.6 - Trajectória do sol nos períodos de Inverno e Verão.....	15
Figura 2.7 - Dimensionamento de pala horizontal	16
Figura 2.8 - Índice de PPD em função de PMV	19
Figura 2.9 - Valores recomendados da temperatura operativa de conforto em função da temperatura média mensal, ASHRAE 55.....	20
Figura 3.1 - Planta do piso 0	23
Figura 3.2 - Planta do piso 1	24
Figura 3.3 - Planta de implantação	24
Figura 3.4 - Alçado principal	25
Figura 3.5 - Alçado posterior.....	25
Figura 3.6 - Pormenor construtivo da solução inicial	25
Figura 3.7 - Organograma de funcionamento do programa Energyplus	30
Figura 3.8 - Interface do programa Energyplus.....	30
Figura 3.9 - Parâmetros da simulação Parâmetros do edifício	32
Figura 3.10 - Definição da posição solar face a sombras.....	33
Figura 3.11 - Algoritmo de transferência de calor: interior exterior	33
Figura 3.12 - Algoritmo de transferência de calor Intervalo de tempo da simulação	34
Figura 3.13 - Temperaturas abaixo do solo Período da simulação.....	35

Figura 3.14 - Tipo de funcionamento de uma actividade Horário de uma actividade	36
Figura 3.15 - Características dos materiais	37
Figura 3.16 - Resistência térmica da caixa-de-ar	37
Figura 3.17 - Características dos elementos de proteção móveis Propriedades dos vãos envidraçados	38
Figura 3.18 - Elementos entre os vidros	38
Figura 3.19 - Definição das soluções construtivas	39
Figura 3.20 - Critérios de elaboração da geometria Definição do número de zonas do edifício	40
Figura 3.21 - Características das zonas opacas	41
Figura 3.22 - Características das zonas envidraçadas	42
Figura 3.23 - Características de funcionamento dos elementos de proteção móveis Definição das propriedades das caixilharias	42
Figura 3.24 - Características das paredes interiores	43
Figura 3.25 - Ganhos internos	44
Figura 3.26 - Taxa de ventilação	44
Figura 3.27 - Formato do ficheiro da simulação Tipo de ficheiro gráfico	45
Figura 3.28 - Variáveis executadas pelo programa	46
Figura 3.29 - Biblioteca do programa	47
Figura 3.30 - Interface do programa onde é calculado o U do vão envidraçado	47
Figura 4.1 - Representação 3D do caso de estudo, com orientação geográfica inicial	48
Figura 4.2 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 1)	49
Figura 4.3 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 1)	50
Figura 4.4 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 1)	51
Figura 4.5 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 1)	51
Figura 4.6 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 1)	53
Figura 4.7 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 1)	53
Figura 4.8 - Taxa total de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 1)	54
Figura 4.9 - Taxa total de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 1)	55
Figura 4.10 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 6)	56

Figura 4.11 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 6)	57
Figura 4.12 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 6)	58
Figura 4.13 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 6)	58
Figura 4.14 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 6)	59
Figura 4.15 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 6)	60
Figura 4.16 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 6)	61
Figura 4.17 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 6)	61
Figura 4.18 - Orientação solar modificada - rotação 45°	62
Figura 4.19 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)	63
Figura 4.20 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)	63
Figura 4.21 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)	64
Figura 4.22 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)	65
Figura 4.23 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)	66
Figura 4.24 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)	67
Figura 4.25 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)	68
Figura 4.26 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)	68
Figura 4.27 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6)	70
Figura 4.28 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 6)	70
Figura 4.29 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6)	71

Figura 4.30 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 6).....	72
Figura 4.31 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6)	73
Figura 4.32- Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 6)	73
Figura 4.33 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6).....	74
Figura 4.34 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 6).....	75
Figura 4.35 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1).....	77
Figura 4.36 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1).....	77
Figura 4.37 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)	78
Figura 4.38 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)	78
Figura 4.39 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1).....	80
Figura 4.40 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1).....	80
Figura 4.41 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)	81
Figura 4.42 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)	81
Figura 4.43 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6).....	83
Figura 4.44 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6).....	83
Figura 4.45 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)	84
Figura 4.46 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)	84

Figura 4.47 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6).....	86
Figura 4.48 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6).....	86
Figura 4.49 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)	87
Figura 4.50 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)	87
Figura 6.1 - Vão envidraçado 1	103
Figura 1.2 - Vão envidraçado 2	104
Figura 1.3 - Vão envidraçado 3	104
Figura 1.4 - Pormenor construtivo da zona corrente, com a solução construtiva inicial	105
Figura 1.5 - Pormenor construtivo da zona corrente, numa situação tipo de melhoria	106
Figura 1.6 - Pormenor construtivo de uma parede interior	106
Figura 1.7 - Pormenor construtivo da cobertura, com a solução construtiva inicial	106
Figura 1.8 - Pormenor construtivo da cobertura, numa situação tipo de melhoria.....	106
Figura 1.9 - Solução construtiva 1.1.1.....	107
Figura 1.10 - Solução construtiva 1.1.2	107
Figura 1.11 - Solução construtiva 1.1.3	108
Figura 1.12 - Solução construtiva 1.1.4	108
Figura 1.13 - Solução construtiva 1.1.5	109

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Coeficientes de transmissão térmica máximos ao longo dos anos.....	7
Tabela 2.2 - Valores de resistências térmicas superficiais R_{se} e R_{si}	12
Tabela 2.3 - Coeficientes de transmissão térmica máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação - Portugal Continental, $U_{máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	13
Tabela 2.4 - Coeficiente de transmissão térmica máximos dos elementos da envolvente envidraçada dos edifícios de habitação - Portugal Continental, $U_{w,max}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	13
Tabela 2.5 - Valores de metabolismo por tipo de actividade.....	18
Tabela 2.6 - Escala de sensações ASHRAE	19
Tabela 3.1 - Quadro resumo das soluções construtivas	27
Tabela 3.2 - Soluções de vãos envidraçados.....	29
Tabela 4.1 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro (solução 1).....	52
Tabela 4.2 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Junho (solução 1).....	55
Tabela 4.3 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro (solução 6).....	59
Tabela 4.4 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Junho (solução 6).....	62
Tabela 4.5 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada (solução 1)	65
Tabela 4.6 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada (solução 1)	69
Tabela 4.7 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada (solução 6)	72
Tabela 4.8 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada (solução 6)	75
Tabela 4.9 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada e com palas (solução 1)	79

Tabela 4.10 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada e com palas (solução 1)	82
Tabela 4.11 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada e com palas (solução 6)	85
Tabela 4.12 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada e com palas (solução 6)	88
Tabela 5.1 - Necessidades de energia útil de aquecimento, sem estores e sem elementos fixos de sombreamento	92
Tabela 5.2 - Necessidades de energia útil de aquecimento, com estores e sem elementos fixos de sombreamento	92
Tabela 5.3 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, sem estores e sem elementos fixos de sombreamento	93
Tabela 5.4 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, com estores e sem elementos fixos de sombreamento	93
Tabela 5.5 - Necessidades de energia primária, sem estores e sem elementos fixos de sombreamento	94
Tabela 5.6 - Necessidades de energia primária, com estores e sem elementos fixos de sombreamento	94
Tabela 5.7 - Necessidades de energia útil de aquecimento, sem estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	95
Tabela 5.8 - Necessidades de energia útil de aquecimento, com estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	95
Tabela 5.9 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, sem estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	95
Tabela 5.10 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, com estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	95
Tabela 5.11 - Necessidades de energia primária, sem estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	96
Tabela 5.12 - Necessidades de energia primária, com estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	96
Tabela 5.13 - Necessidades de energia útil de aquecimento, sem estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	96
Tabela 5.14 - Necessidades de energia útil de aquecimento, com estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	97

Tabela 5.15 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, sem estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	97
Tabela 5.16 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, com estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	97
Tabela 5.17 - Necessidades de energia primária, sem estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	98
Tabela 5.18 - Necessidades de energia primária, com estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada	98

SIGLAS

AQS	Águas Quentes Sanitárias
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
E	Este
EPS	Poliestireno Expandido Moldado
ETICS	External Thermal Insulation Composite Systems
ICB	Aglomerado de cortiça expandida
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
N	Norte
NE	Nordeste
NW	Noroeste
N_i	Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$)
N_{ic}	Necessidades de energia útil para aquecimento ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$)
N_t	Valor máximo das necessidades de energia primária ($\text{kWhEP/m}^2\cdot\text{ano}$)
N_{tc}	Necessidades globais de energia primária ($\text{kWhEP/m}^2\cdot\text{ano}$)
N_v	Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$)
N_{vc}	Necessidades de energia útil para arrefecimento ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$)
PTP	Ponte Térmica Plana
PVC	Policloreto de Vinila
RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios
S	Sul
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
XPS	Poliestireno Expandido Extrudido
Zc	Zona corrente

INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

O consumo energético tem vindo a ser, cada vez mais, uma preocupação do mundo em geral e, particularmente, do sector da construção. Referimo-nos quer ao consumo para a sua concepção e/ou destruição, quer ao utilizado para a manutenção de condições de conforto no interior das habitações. Nesta dissertação será feita uma análise relativa a esta última problemática. Para isso, e de forma a reduzir o consumo energético dentro dos edifícios, foram criadas diretivas que estabelecem, entre outros critérios, os limites das necessidades energéticas, tanto para edifícios de habitação como para edifícios de comércio e serviços [1].

1.2 Motivação e objectivos

Este tema aborda aspectos importantes no mundo da engenharia e também da construção. Por um lado, importa perceber como é que podemos ter mais conforto térmico nas nossas habitações e por outro lado quais os gastos energéticos inerentes a isso.

Existem várias formas de reduzir esse consumo energético utilizado para criar condições de conforto. Estas podem ser, a substituição de vãos envidraçados, acréscimo de isolamento térmico, quer seja pelo exterior ou interior, utilização de elementos de sombreamento horizontais ou verticais, ou até a optimização da utilização de elementos de proteção móveis, como os estores. Estas alterações, em conjugação, podem ter um impacto significativo nas necessidades energéticas de uma habitação. Outro factor que também pode influenciar as necessidades energéticas é a orientação solar do edifício. Uma orientação diferente permite obter mais ganhos solares, nomeadamente através dos vãos envidraçados, o que pode ser benéfico no inverno, mas prejudicial no verão [2].

Com a presente dissertação pretende-se realizar um estudo de desempenho energético de uma moradia unifamiliar sujeita a uma reabilitação, avaliando se as necessidades cumprem o regulamento em vigor e, simultaneamente, fazer uma análise crítica aos resultados da simulação energética realizada através da ferramenta *Energyplus* [3]. Em primeiro lugar é feita uma análise das soluções construtivas adoptadas, isto é, aquelas que realmente foram utilizadas e, posteriormente, com as diferentes melhorias propostas. Essas melhorias passam pela adição de isolamento térmico, substituição de vãos envidraçados, ou ainda pela optimização da utilização dos elementos de protecção móveis.

1.3 Estrutura do trabalho

A estrutura desta dissertação irá passar pela escolha de um caso de estudo, afim de poder avaliar alguns parâmetros energéticos. Nessa avaliação será tida em conta, primeiramente, a solução construtiva base do edifício e, posteriormente, as diferentes soluções com incrementos de melhorias a nível da envolvente do mesmo.

A estrutura do trabalho divide-se então da seguinte forma:

No primeiro capítulo é feita uma breve descrição do contexto e objectivos do trabalho. No capítulo seguinte é feito um enquadramento a nível da regulamentação térmica, do parque habitacional e de temáticas como o desempenho energético de edifícios, conforto térmico ou a reabilitação de edifícios.

O terceiro capítulo é sobre a escolha de um caso de estudo e a simulação energética através no programa de cálculo *Energyplus* [3]. Define-se a solução inicial e as diferentes soluções de melhorias. Da simulação retiram-se valores de ganhos e perdas de calor a nível da envolvente exterior, e temperaturas interiores. Esses valores são posteriormente analisados e comparados entre as diferentes soluções. Para além das soluções de melhorias, serão também feitas simulações a nível da implantação geográfica relativamente ao Norte e alterações ao funcionamento dos elementos de sombreamento.

De seguida com recurso a uma folha de cálculo disponibilizada na UC de Edificações e que tem como base o REH, é feito o cálculo das necessidades energéticas. De seguida é feita uma comparação entre as diferentes soluções construtivas, no que respeita às necessidades de verão e de inverno, fazendo-se em simultâneo a verificação do cumprimento do regulamento em vigor.

No último capítulo são tiradas as devidas conclusões sobre estas diferentes simulações energéticas. Neste caso estes resultados obtidos com o *EnergyPlus* não são comparáveis com

os das necessidades energéticas pois representam variáveis diferentes, mas ainda assim são demonstrativos do comportamento energético do edifício e podem ser analisados em conjunto.

ENQUADRAMENTO

2.1 Evolução da regulamentação térmica

Ao longo das últimas décadas tem havido uma preocupação acrescida com as condições de conforto, salubridade e higiene dentro das habitações. Dessa forma surgiu em 1990, com a aprovação do Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro [4], a primeira regulamentação térmica dos edifícios, com a publicação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios "RCCTE". Este instrumento legal teve também como missão a preocupação com as condições de qualidade da construção de um modo geral. Os principais aspectos deste regulamento foram, sobretudo, relacionados com o incremento de isolamento térmico em zonas opacas, com a metodologia do cálculo de necessidades nominais de arrefecimento (N_{ic}) e de aquecimento (N_{vc}), e com a imposição de um valor máximo para o factor solar dos vãos envidraçados [4].

Anos mais tarde, em 2006, surgiu o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, [5] que representou uma melhoria à versão anterior e trouxe exigências majoradas a nível do conforto térmico. Ao contrário do que acontecia anteriormente, em que a utilização de equipamentos de climatização praticamente não existia, esta prática tornou-se bastante comum, aumentando assim os níveis de consumo energético, tanto em edifícios residenciais como em edifícios de serviços. Nesta fase surge também a Directiva Europeia n.º 2002/91/CE que impõe, entre outros aspectos, exigências em termos de Necessidades de Energia para Preparação de Águas Sanitárias (N_{ac}) e as Necessidades Globais de Energia Primária (N_{tc}). Além disso, passa a haver uma maior exigência para as temperaturas de conforto, sendo as temperaturas de referência de 18° e 25°, nas estações de aquecimento e arrefecimento, respectivamente. Este regulamento introduz ainda a certificação energética, obrigando a que os técnicos responsáveis pela verificação regulamentar sejam reconhecidos como peritos qualificados [6]. Ainda neste

âmbito, e com base na Directiva anteriormente referida, surgiram também o Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, que se designa por Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), e o Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que se designa por Regulamento dos Sistemas Energéticos e Climatização de Edifícios (RSECE). Todos estes instrumentos foram importantes para que a eficiência energética fosse um tema cada vez mais premente [6].

Seguiu-se a publicação da Directiva n.º 2010/31/EU, a 19 de Maio de 2010, que posteriormente originou o Decreto-Lei n.º 118/2013 [7], de 30 de Novembro de 2013. Este decreto fomenta a melhoria do desempenho energético de edifícios através do Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE) que, por sua vez, reúne o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). A diferenciação entre edifícios de habitação e edifícios de comércio e serviços ficou assim mais clara. Isto proporcionou uma maior facilidade no tratamento de processos, ao mesmo tempo que deu mais ênfase àquilo que é mais relevante para o desempenho energético em cada um dos casos. Também a promoção das energias renováveis se manteve como aposta forte. Outro aspecto importante deste regulamento foi a questão do pré-certificado e do certificado SCE, que passaram a ser obrigatórios em processos urbanísticos [7].

Com a entrada do Decreto-Lei n.º 251/2015 [8], de 25 de Novembro, os requisitos energéticos passavam a ser obrigatórios não apenas para novos edifícios, mas também para edifícios existentes e sujeitos a grandes intervenções, e ainda edifícios sujeitos a intervenções nas zonas opacas ou vãos envidraçados. Com recurso a diversas portarias, foram feitas algumas mudanças, sendo a principal a diminuição dos coeficientes de transmissão térmica para poder aumentar a resistência térmica dos edifícios [8].

Actualmente está em vigor o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 [9], de 7 de Dezembro, que “Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Directiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Directiva (UE) 2019/944”. Sendo que a Portaria n.º 138-I/2021 [9], de 1 de Julho, é que está encarregue de regulamentar os requisitos mínimos de desempenho energético acerca da envolvente dos edifícios e a sua aplicação de acordo com o tipo de edifício [9].

Na tabela seguinte tem-se o resumo dos coeficientes de transmissão térmica estipulados na legislação anteriormente referida.

Tabela 2.1 - Coeficientes de transmissão térmica máximos ao longo dos anos

$U_{w,max}[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$					
			Zona climática		
			I1	I2	I3
RCCTE(DL 40/90)	Zona corrente da envolvente	Horizontal	1,25	1	0,9
		Vertical	1,8	1,6	1,45
	Vãos envidraçados	-	-	-	-
RCCTE (DL 80/2006)	Zona corrente da envolvente	Horizontal	1,25	1	0,9
		Vertical	1,8	1,6	1,45
	Vãos envidraçados	-	4,3	3,3	3,3
REH (DL 118/2013)	Zona corrente da envolvente	Horizontal	1,25	1	0,9
		Vertical	1,75	1,6	1,45
	Vãos envidraçados	-	-	-	-
REH 2016 (DL 251/2015)	Zona corrente da envolvente	Horizontal	0,4	0,35	0,3
		Vertical	0,5	0,4	0,35
	Vãos envidraçados	-	2,8	2,4	2,2
REH (DL 101-D/2020)	Zona corrente da envolvente	Horizontal	0,4	0,35	0,3
		Vertical	0,5	0,4	0,35
	Vãos envidraçados	-	2,8	2,4	2,2

2.2 Parque habitacional edificado

A construção em Portugal sofreu nesta última década um decréscimo significativo relativamente ao igual período anterior. Estatísticas do INE demonstram que, em 2021 houve 19 616 fogos provenientes de construção nova e 3 906 provenientes de intervenções de reabilitação. Como se pode ver na figura 2.1, a reabilitação manteve-se mais ou menos no mesmo patamar apesar da queda da construção nova. Isto significa que cada vez mais a reabilitação deve ser uma aposta na construção

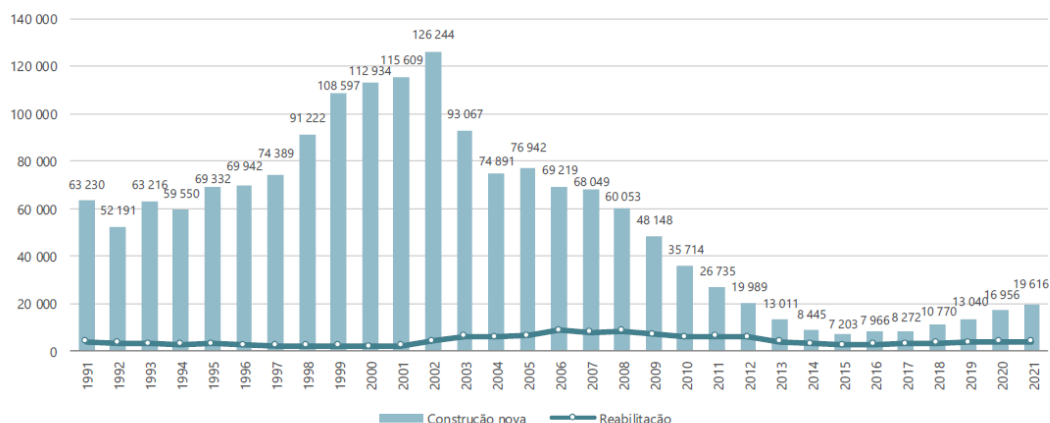


Figura 2.1 - Número de fogos construídos em obras de construção novas e em intervenções de reabilitação, 1991-2021 (Fonte: INE, Estatísticas das obras concluídas e Anuário Estatístico de Portugal)

2.2.1 Evolução dos sistemas construtivos

2.2.1.1 Edifícios dos últimos 40 anos

Os sistemas construtivos têm tido uma evolução grande nos últimos anos. Comumente assistimos a uma designação de uma era antes do betão armado e outra após o betão armado. Este marco na história da construção veio revolucionar a forma de construir e as suas técnicas associadas.

As construções edificadas nos últimos 30/40 anos são maioritariamente em estrutura reticulada de betão armado e paredes em alvenaria de tijolo furado ou, em alguns casos, em blocos de betão leve. Na figura 2.2 temos um exemplo desse tipo de construção. Estas paredes podem ser duplas ou simples, com ou sem isolamento térmico. No caso de paredes duplas existe a hipótese de o isolamento ocupar parcialmente a caixa-de-ar, ou a mesma ser totalmente ocupada pelo isolamento e, nesse caso, a sua denominação é de parede de pano duplo. É comum observar-se situações onde não existe caleira entre os dois panos, e consequentemente não existe a caixa-de-ar. Nestes casos de parede de pano duplo não existe esse corte hídrico, pelo que pode ser uma desvantagem em relação à parede dupla. Ainda neste modelo construtivo deve ser garantido o isolamento térmico das zonas de ponte térmica, tal como se pode observar na figura 2.3. No caso de parede simples a solução maioritariamente preconizada é através do revestimento térmico pelo exterior, do tipo ETICS, tal como exemplifica a figura 2.4. Ainda como alternativa poderá recorrer-se a um sistema de fachada ventilada, que consiste na aplicação de um revestimento exterior, independente da parede de suporte, e que cria uma lâmina de ar entre o isolamento térmico e o próprio revestimento [10].



Figura 2.2 - Estrutura de uma moradia com pilares e vigas em betão armado



Figura 2.3 - Pormenor de isolamento térmico em pilares



Figura 2.4 - Parede simples revestida com ETICS

2.2.1.2 Edifícios com mais de 40 anos

Os edifícios com mais de 40 anos podem ser divididos da seguinte forma:

A época dos edifícios com paredes monolíticas de betão armado ou, ainda antes disso, construções com estrutura em betão armado e paredes resistentes em alvenaria de tijolo maciço. Um pouco mais atrás apareceram os edifícios de placa, que ficaram assim conhecidos pelo facto da estrutura ser assente em paredes resistentes, mas já com lajes em betão armado.

Antes dessa época apareciam os edifícios com paredes resistentes constituídas essencialmente por alvenaria de pedra, que estavam presentes, por exemplo, em edifícios do tipo Gaioleiros. Na figura 2.5 tem-se um exemplo deste tipo de edifícios com base em alvenaria de pedra. Estas paredes vieram dar lugar às paredes de taipa, ou de adobe. No que diz respeito a pavimentos e coberturas, em qualquer uma destas tipologias de construção, estes eram construídos em alvenaria (arcos ou abóbadas) ou em madeira no caso de coberturas inclinadas. O revestimento era à base de rebocos de ligantes inorgânicos, que depois eram pintados ou caiados [10].



Figura 2.5 - Parede em alvenaria de pedra

2.3 Desempenho energético de edifícios residenciais

O desempenho energético de edifícios residenciais é um conceito cada vez mais premente no mundo da construção. Como já foi visto anteriormente, a regulamentação térmica tem avançado nesse sentido. O conceito de edifícios NZEB (Nearly Zero Energy Building), tem estado em voga nos últimos anos. Este tem por base uma solução construtiva que permita uma menor necessidade de recorrer a aparelhos de climatização e onde a energia utilizada recorra sobretudo a fontes de energia renováveis, como painéis solares térmicos para aquecimento de AQS, bombas de calor para climatização e painéis fotovoltaicos para a produção de energia eléctrica. Todas estas abordagens têm como principal objectivo a contribuição para uma redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera [11].

Posteriormente a este conceito foi lançada a DDEE (Directiva Desempenho Energético dos Edifícios), que tem como objetivo a descarbonização total do parque edificado até 2050. Esta directiva estabelece que edifícios residenciais e não residenciais sejam tratados de forma diferente. No caso de edifícios residenciais, cada Estado-Membro irá adoptar o seu respectivo plano para a redução de energia primária. Esse plano determina quais os edifícios visados e que medidas devem ser tomadas, sendo que deve ser assegurada uma redução de 55 % do consumo médio de energia primária através da renovação de edifícios com pior desempenho. Já no caso dos edifícios não residenciais, esta directiva traça como meta a renovação de 26%

de edifícios com pior desempenho até 2030. Neste caso, os Estados-Membros, poderão deixar fora desta equação edifícios históricos ou casas de segunda habitação.

A directiva estabelece ainda que todos os novos edifícios públicos residenciais e não residenciais deverão ter, a partir de 1 de Janeiro de 2028, zero emissões provenientes de combustíveis fósseis. Enquanto a meta para outros novos edifícios será de 1 de Janeiro de 2030, havendo a possibilidade de isenções concretas [13].

2.3.1 Coeficiente de transmissão térmica

O conceito de coeficiente de transmissão térmica é conhecido como "a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária do elemento, por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa" [4].

Este coeficiente pode ser calculado tanto para elementos opacos como para vãos envidraçados.

No caso de elementos opacos, o cálculo baseia-se na norma europeia EN ISO 6946, sendo o valor de U calculado através da seguinte fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \text{ (W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (2.1)$$

Em que:

R_j - Resistência térmica da camada j ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)

R_{si} - Resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)

R_{se} - Resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)

Na tabela 2.2 estão ilustrados os valores de R_{se} e R_{si} .

Tabela 2.2 - Valores de resistências térmicas superficiais R_{se} e R_{si}

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica [$\text{m}^2 \cdot \text{C/W}$]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

No caso dos vãos envidraçados, o coeficiente U_w depende dos seus elementos, nomeadamente vidro e caixilho, assim como a própria geometria e tipologia do vão. Este valor pode ser consultado através das normas europeias EN ISO 10077-1 e EN ISO 10077-2, ou através

dos fabricantes desde que determinados através de cálculos ou ensaios laboratoriais de acordo com as normas em vigor [2].

Os valores a cumprir segundo a Portaria referida anteriormente estão nas tabelas abaixo (2.3 e 2.4).

Tabela 2.3 - Coeficientes de transmissão térmica máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação - Portugal Continental, $U_{máx}$ [W/(m².°C)]

Portugal Continental			Zona Climática		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	0,5	0,4	0,35
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	2	2	1,9
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	0,4	0,35	0,3
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	1,65	1,3	1,2
Zona de PTP	Verticais	Exterior	0,9		
		Interior com $b_{ztu} > 0,7$	1,75	1,6	1,45
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	2	2	1,9
	Horizontais	Exterior	0,9		
		Interior com $b_{ztu} > 0,7$	1,25	1	0,9
		Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	1,65	1,3	1,2

Tabela 2.4 - Coeficiente de transmissão térmica máximos dos elementos da envolvente envidraçada dos edifícios de habitação - Portugal Continental, $U_{w,max}$ [W/(m².°C)]

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental:			
Edifícios de habitação	2,8	2,4	2,2
Edifícios de comércio e serviços	3,3	3,3	3,3
Região Autónoma da Madeira:			
Edifícios de habitação	2,8	2,4	2,2
Edifícios de comércio e serviços	3,3	3,3	3,3
Região Autónoma dos Açores:			
Edifícios de habitação	2,9	2,6	2,4
Edifícios de comércio e serviços	3,3	3,3	3,3

2.3.2 Transferência de calor

A transferência de calor em edifícios pode ocorrer através de três formas. Por convecção, condução ou radiação. Para tal é necessário que exista uma diferença de temperatura entre duas zonas, onde o fluxo de calor irá ocorrer da zona de maior temperatura para a zona de menor temperatura.

A condução consiste na transferência de calor entre dois corpos sólidos ou fluídos. Essa troca implica que os corpos tenham temperaturas diferentes e, por consequência, um estado de agitação molecular diferente (maior quanto maior a temperatura). Neste caso a transferência de calor é feita por transmissão do corpo com maior temperatura para o corpo com menor, até que os dois fiquem em equilíbrio [13]. Para determinar as transferências de calor através de um corpo poderá recorrer-se à fórmula do fluxo de calor (q):

$$q = \frac{Q}{A} \quad (2.2)$$

onde Q é a quantidade de calor (em W) e A a área perpendicular ao sentido do fluxo através do qual ocorre a transmissão de calor (em m^2)

No caso da convecção pode afirmar-se que é um tipo de transferência de calor associado aos fluídos, pois assume a existência de movimentos. Neste caso a variação da temperatura das moléculas implica a alteração relativa do seu posicionamento. Um exemplo deste tipo de transferência de calor pode ser dado pelo caso de uma parede que se encontre a uma determinada temperatura, que seja mais alta do que a do ar ambiente. As camadas de ar que estão em contacto com a parede aumentam por condução, que por sua vez faz aumentar a temperatura das camadas adjacentes através da condução. No caso da convecção, o fluxo de calor entre uma superfície com temperatura T_1 e o ambiente com temperatura T_2 é dado pela lei de arrefecimento de Newton:

$$q_{conv} = h_c (T_1 - T_2) \quad (2.3)$$

em que h_c é a condutância térmica superficial por convecção. A condutância depende da natureza do fluido, da geometria da superfície e o tipo de movimento existente [13].

A transferência de calor através de radiação é um fenómeno um pouco mais complexo devido à possibilidade das inúmeras reflexões. No entanto, é possível afirmar que esta tem um comportamento em função das características do corpo que recebe a energia radiante. Se se tratar de um corpo opaco, parte da energia incidente é absorvida pelo corpo e refletida pela

superfície. No caso de se tratar de um corpo transparente, uma parte irá atravessá-lo e a restante será absorvida e refletida. [13].

2.3.3 Elementos de sombreamento

A altura do sol tem variações ao longo do ano, sendo que durante o período de Inverno o sol faz uma trajectória mais baixa e durante o verão tem um percurso mais alto (figura 2.6). Esta questão é importante aquando da escolha da orientação solar de uma habitação, nomeadamente dos vãos envidraçados, por forma a poder retirar o máximo proveito dos ganhos solares durante o Inverno e tentar atenuar esses ganhos na estação de arrefecimento.

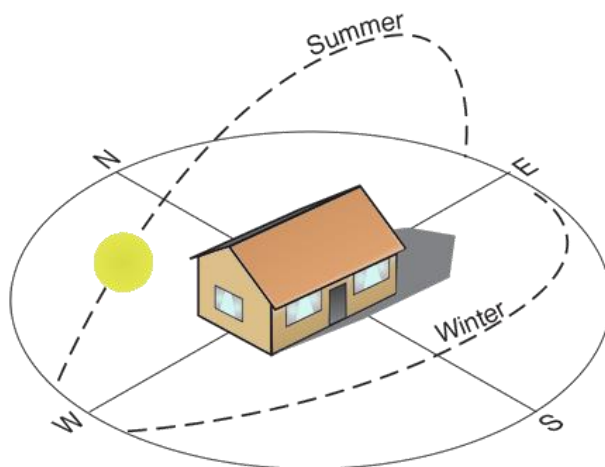


Figura 2.6 - Trajectória do sol nos períodos de Inverno e Verão [15]

A utilização de elementos de sombreamento horizontais (palas ou varandas) também pode ter influência nestes ganhos, pois ajuda a diminuição dos mesmos na estação de verão. Por norma estes elementos são mais utilizados no quadrante Sul, pois o quadrante Norte não tem incidência solar directa e os quadrantes Este e Oeste, apesar de terem incidência solar, a sua ação não justifica a implementação de palas.

Para o dimensionamento destes elementos será utilizada a seguinte metodologia. Considera-se que a pala é perpendicular à parede exterior do edifício, sendo que a parede tem azimute ϕ_p e o sol um azimute ϕ_s , então o azimute do sol em relação à parede é dado por $\Delta\phi = \phi_s - \phi_p$. A largura da pala z dá origem à expressão:

$$x = z \cdot \operatorname{tg} \Delta\phi \quad (2.4)$$

como o ângulo zenital do sol é Θ_s , tem-se que

$$y = z \frac{\cotg \Theta_s}{\cos \Delta\phi} \quad (2.5)$$

Com base nesta equação é possível retirar o valor de z [m], como mostra a figura 2.7.

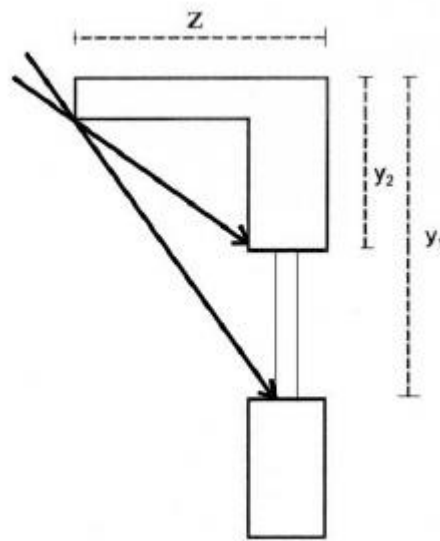


Figura 2.7 - Dimensionamento de pala horizontal [13]

Tendo isto em conta, considera-se que a altura máxima do sol ocorre ao meio dia, e então o valor do ângulo zenital é dado por:

$$\Theta_s = \lambda - \delta \quad (2.6)$$

Em que:

λ - Latitude do local [°]

δ - Declinação, ou seja, ângulo definido pelo plano que une o sol ao centro da terra com o equador [°]

O valor da declinação é dado pela equação seguinte:

$$\text{sen } \delta = -\text{sen } 23,45 \cdot \cos \frac{360 * (n + 10)}{365,25} \quad (2.7)$$

Em que:

360 - Valor de uma rotação completa em graus

365,25 - Duração de um ano em dias

n - Dia do ano (valor entre 1e 365)

23,45 - Valor da inclinação, em graus, em relação à normal do plano de movimento de translação que a terra faz em relação a um eixo

No caso de estudo, que adiante nos referiremos, far-se-ão simulações com vãos envidraçados em diferentes orientações.

2.4 Conforto térmico

O conceito de conforto térmico numa habitação está relacionado com diferentes variáveis. Entre elas temos a temperatura, a humidade relativa e a velocidade do ar. Mas, por outro lado, temos também as condições individuais de cada ser humano como, por exemplo, o sexo e a idade. E a acrescentar a isto ainda temos factores externos, tais como a resistência térmica associada à roupa, ou o tipo de actividade. Ou seja, em última análise, pode-se considerar que o conforto térmico tende a ser algo relativo, na medida em que existem diversos factores, nomeadamente condições fisiológicas e de ordem pessoal que interferem directamente com a noção de conforto térmico.

Estes factores estão relacionados com o metabolismo, que na verdade é um conjunto de reacções químicas desencadeadas pelo organismo com o intuito de restabelecer os seus níveis energéticos e manter a sua temperatura corporal [13].

Na tabela 2.4 são apresentados os valores correntes de metabolismo consoante as diferentes actividades. Estes valores permitem calcular a energia quando multiplicados pelo valor da área superficial de cada ser humano sem roupa. Para este cálculo é utilizada a expressão de Dubois (estabelecida em 1916)

$$A = 0,202m^{0,425}h^{0,725} \quad (2.8)$$

Em que m é a massa do corpo em kg e h a altura, do ser humano, em metros

Tabela 2.5 - Valores de metabolismo por tipo de actividade [13]

	W/m ²	met*
Repouso		
Dormir	40,0	0,7
Reclinado	45,0	0,8
Sentado	60,0	1,0
De pé (sem movimento)	70,0	1,2
Marcha		
0,9 m/s (3,2 km/h)	115,0	2,0
1,3 m/s (4,8 km/h)	150,0	2,6
1,8 m/s (6,4 km/h)	220,0	3,8
Actividade em escritório		
Leitura	55,0	1,0
Escrita	60,0	1,0
Trabalho em computador	65,0	1,1
Arquivar (sentado)	70,0	1,2
Arquivar (de pé)	80,0	1,4
Andar	100,0	1,7
Arrumações	120,0	2,1
Outras Actividades		
Cozinhar	95-115	1,6-2,0
Limpeza doméstica	115-200	2,0-3,4
Trabalho c/máquinas leves	115-140	2,0-2,4
Trabalho c/máquinas pesadas	235,0	4,0
Dança	140-255	2,4-4,4
Exercício físico	175-235	3,0-4,0

*1 met = 52,8 W/m²

Ainda que seja complexo estimar as condições de conforto térmico num determinado ambiente, existem métodos empíricos que o permitem fazer. Um dos métodos mais utilizados é o conceito de *voto médio estimado* (PMV- *Predicted Mean Vote*, no original inglês) associado à *percentagem estimada de pessoas desconfortáveis* (PPD- *Predicted Percent of Dissatisfied people*, no original inglês).

O conceito de PMV relaciona o fluxo de calor que o corpo humano liberta num determinado ambiente, e os ganhos necessários para que haja condições de conforto. O seu cálculo é dado pela seguinte equação:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028)S \quad (2.9)$$

Onde:

M - Taxa de metabolismo [W/m²]

S - Armazenamento de calor [W/m²]

Este índice pode admitir diferentes valores, representando diferentes sensações, tal como se pode ver na tabela 2.5

Tabela 2.6 - Escala de sensações ASHRAE

PMV	Sensação
-3	Frio
-2	Fresco
-1	Ligeiramente fresco
0	Neutra
1	Ligeiramente quente
2	Quente
3	Muito quente

Com estes valores é possível obter o índice PPD, que permite saber a percentagem de pessoas insatisfeitas em cada uma das situações anteriormente referidas, ou seja, perante um determinado ambiente qual seria o valor da tabela 2.5 que seria escolhido.

O valor de PPD pode ser obtido através da seguinte equação:

$$P = 100 - 95\exp[-(0,03353 PMV^4 + 0,2179PMV^2)] \quad (2.10)$$

Sendo representado graficamente na figura 2.8.

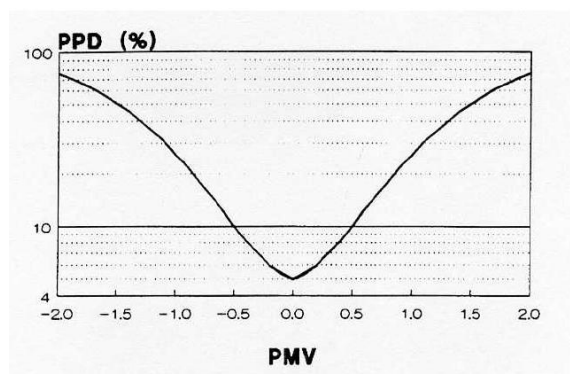


Figura 2.8 - Índice de PPD em função de PMV

Analisando a figura é possível notar que, para um valor de PMV nulo, existe aproximadamente 5% de pessoas que consideram o ambiente desconfortável. Isto revela que é difícil encontrar soluções que sejam do agrado simultaneamente de todas as pessoas [13].

Ainda sobre conforto também é possível falar sobre o conceito de conforto adaptativo que tem como base a norma ASHRAE 55 e que está representado na figura 9. De uma forma genérica esta abordagem tem níveis de aceitabilidade de 80 e 90 % dos ocupantes a nível de temperatura interior em função da temperatura média exterior.

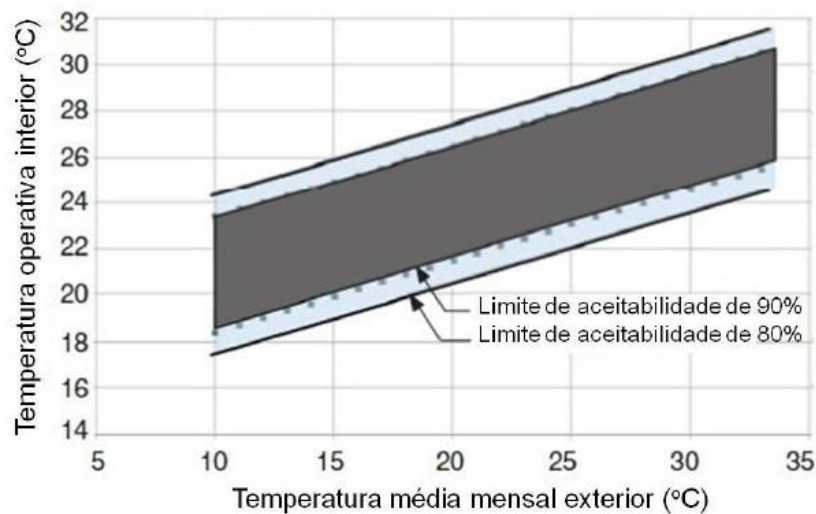


Figura 2.9 - Valores recomendados da temperatura operativa de conforto em função da temperatura média mensal, ASHRAE 55 [13]

2.5 Reabilitação de edifícios

A definição de reabilitação pode ser vista na seguinte perspectiva:

“Reabilitação é o conjunto de operações destinado a aumentar os níveis de qualidade de um edifício, por forma a atingir a conformidade com exigências funcionais mais severas do que aquelas para as quais o edifício foi concebido. A reabilitação é utilizada sempre que se pretende adaptar o edifício para uma utilização diferente daquela para que foi concebido ou, simplesmente, torná-lo utilizável de acordo com os padrões actuais” [16].

Outra forma de definir a reabilitação diz respeito à ação de preservar e manter sobrevivente o conceito de edifícios, bens culturais ou outra fonte de conhecimento com valor. Como tal, o objectivo passa por realizar intervenções que assegurem o uso futuro, tendo por base uma análise cuidada relativamente ao tipo de estrutura e à tipologia do edifício. Desta forma, não é considerada uma operação de reabilitação quando existe uma demolição total ou apenas uma manutenção da fachada [17].

Como é sabido a prática da reabilitação é cada vez mais comum no mundo da construção. Este conceito já existe há alguns anos e o seu crescimento tem vindo a aumentar pois o modelo assente apenas em construção nova encontra-se saturado pela falta de condições económicas, sociais, ambientais e urbanísticas [18].

Entre os motivos dessa mudança de paradigma estão factores como:

- Decréscimo de construção nova devido ao aumento do preço por m²
- Escassez de área urbana destinada a habitação

- Conjunturas económicas desfavoráveis em muitos períodos dos últimos anos
- Falta de mão-de-obra qualificada

METODOLOGIA E SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

3.1 Caso de estudo

O caso em estudo que servirá de análise aos parâmetros anteriormente mencionados, é composto por uma moradia unifamiliar geminada, situada em Olivais Sul, distrito de Lisboa. Tem tipologia T5, sendo composta por cozinha, sala de refeições/sala de estar, instalação sanitária, escritório, quarto da criada e marquise no rés-do-chão. No 1.º andar tem quatro quartos e uma instalação sanitária. Possui também um espaço ajardinado no exterior. Trata-se de uma habitação construída na década de 1980. Nas figuras seguintes encontram-se as plantas, alçados, planta de implantação e também um pormenor construtivo da solução inicial.

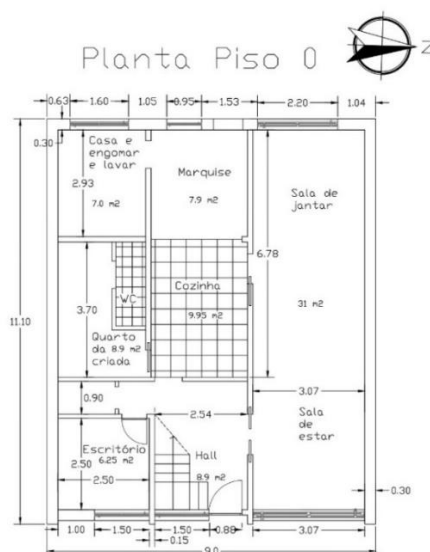


Figura 3.1 - Planta do piso 0

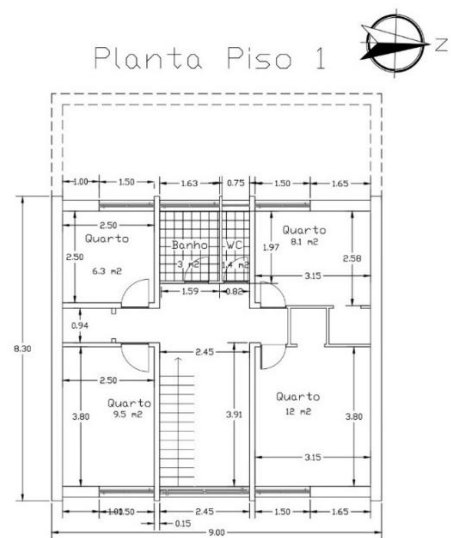


Figura 3.2 - Planta do piso 1

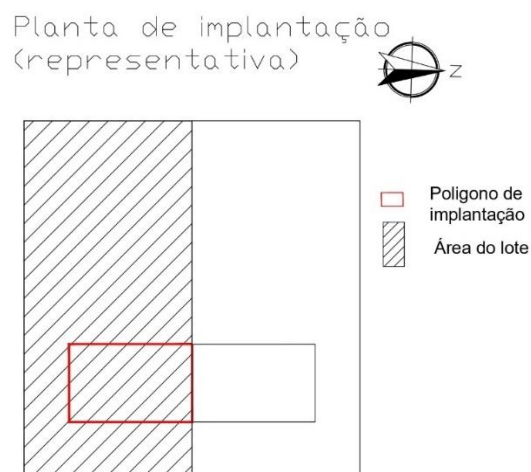


Figura 3.3 - Planta de implantação

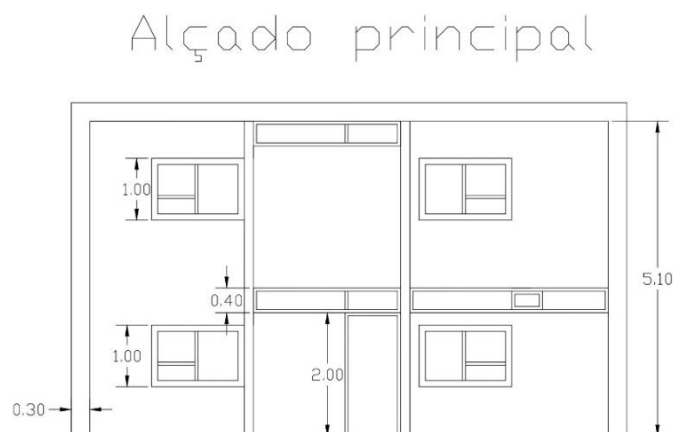


Figura 3.4 - Alçado principal

Alçado posterior

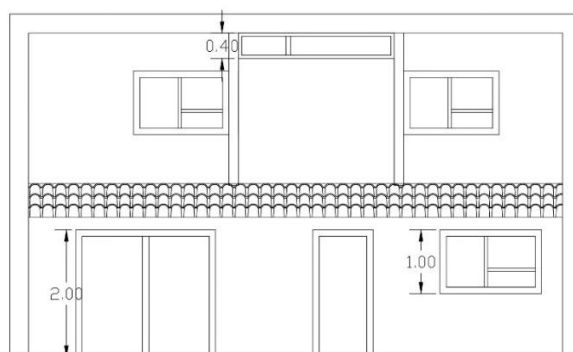


Figura 3.5 - Alçado posterior

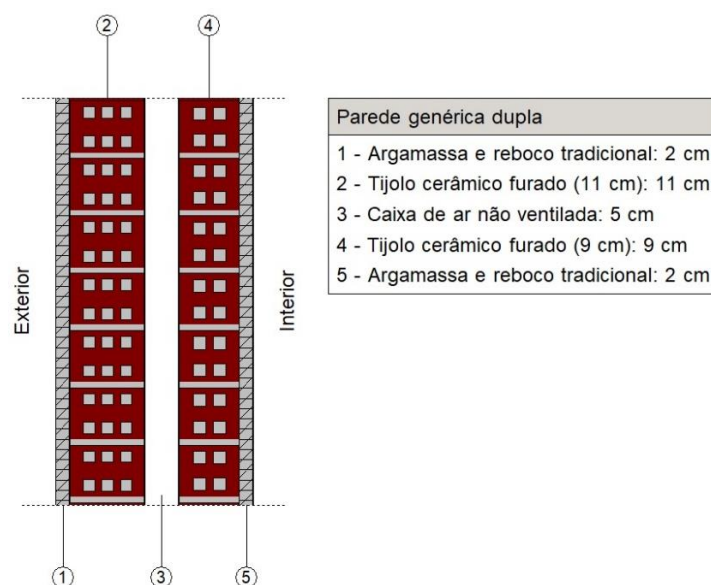


Figura 3.6 - Pormenor construtivo da solução inicial

3.2 Soluções construtivas e melhorias propostas

Adoptou-se uma solução construtiva tendo em conta a década em que o edifício deverá ter sido construído. A mesma é composta por paredes exteriores de alvenaria dupla, constituída, do exterior para o exterior, por um pano de alvenaria de 11 cm, caixa-de-ar, e pano de alvenaria de 9 cm. Rebocada com argamassa de cimento em ambos os paramentos.

As paredes interiores são também em alvenaria, neste caso simples. Consideraram-se algumas paredes de 9 cm e outras de 7 cm, ambas também rebocadas dos dois lados.

Considerou-se cobertura do tipo plana, constituída, do exterior para o interior, por camada de impermeabilização, betonilha de regularização, laje em betão armado com 20 cm e reboco.

Para as soluções de melhorias foram admitidas várias hipóteses, tanto a nível das paredes exteriores e da cobertura, como também dos vãos envidraçados. Na tabela 3.2 estão representadas as soluções de vãos envidraçados. Tal como será explicado no capítulo seguinte, existe um coeficiente de transmissão térmica relativo ao vidro (U) e outro relativo ao vidro e caixilharia, que será usado nas simulações. Na tabela 3.1 é possível encontrar um quadro resumo com todas as diferentes situações de melhoria, usadas para fazer as simulações energéticas. Numa leitura horizontal encontram-se melhorias a nível dos vãos envidraçados, enquanto que na vertical se encontram melhorias a nível da envolvente opaca.

Tabela 3.1 - Quadro resumo das soluções construtivas

	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4		Solução 5	
Solução 6	1.1.1	ZC: Parede dupla s/ IT COB: Betão armado PTP: Betão armado VE 1 + Caix. Madeira	1.2.1	ZC: Parede dupla s/ IT COB: Betão armado PTP: Betão armado VE 1 + Caix. PVC	1.3.1	ZC: Parede dupla s/ IT COB: Betão armado PTP: Betão armado VE 2 + Caix. PVC	1.4.1	ZC: Parede dupla s/ IT COB: Betão armado PTP: Betão armado VE 3 + Caix. Madeira	1.5.1	ZC: Parede dupla s/ IT COB: Betão armado PTP: Betão armado VE 3 + Caix. PVC
Solução 7	1.1.2	ZC: Parede dupla c/ ETICS 3cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 4cm PTP: B.A + ETICS 3cm VE 1 + Caix. Madeira	1.2.2	ZC: Parede dupla c/ ETICS 3cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 4cm PTP: B.A + ETICS 3cm VE 1 + Caix. PVC	1.3.2	ZC: Parede dupla c/ ETICS 3cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 4cm PTP: B.A + ETICS 3cm VE 2 + Caix. PVC	1.4.2	ZC: Parede dupla c/ ETICS 3cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 4cm PTP: B.A + ETICS 3cm VE 3 + Caix. Madeira	1.5.2	ZC: Parede dupla c/ ETICS 3cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 4cm PTP: B.A + ETICS 3cm VE 3 + Caix. PVC
Solução 8	1.1.3	ZC: Parede dupla c/ ETICS 5cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 6cm PTP: B.A + ETICS 5cm VE 1 + Caix. Madeira	1.2.3	ZC: Parede dupla c/ ETICS 5cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 6cm PTP: B.A + ETICS 5cm VE 1 + Caix. PVC	1.3.3	ZC: Parede dupla c/ ETICS 5cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 6cm PTP: B.A + ETICS 5cm VE 2 + Caix. PVC	1.4.3	ZC: Parede dupla c/ ETICS 5cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 6cm PTP: B.A + ETICS 5cm VE 3 + Caix. Madeira	1.5.3	ZC: Parede dupla c/ ETICS 5cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 6cm PTP: B.A + ETICS 5cm VE 3 + Caix. PVC
Solução 9	1.1.4	ZC: Parede dupla c/ ETICS 7cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 8cm PTP: B.A + ETICS 7cm VE 1 + Caix. Madeira	1.2.4	ZC: Parede dupla c/ ETICS 7cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 8cm PTP: B.A + ETICS 7cm VE 1 + Caix. PVC	1.3.4	ZC: Parede dupla c/ ETICS 7cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 8cm PTP: B.A + ETICS 7cm VE 2 + Caix. PVC	1.4.4	ZC: Parede dupla c/ ETICS 7cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 8cm PTP: B.A + ETICS 7cm VE 3 + Caix. Madeira	1.5.4	ZC: Parede dupla c/ ETICS 7cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 8cm PTP: B.A + ETICS 7cm VE 3 + Caix. PVC
Solução 10	1.1.5	ZC: Parede dupla c/ ETICS 8cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 10cm PTP: B.A + ETICS 8cm VE 1 + Caix. Madeira	1.2.5	ZC: Parede dupla c/ ETICS 8cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 10cm PTP: B.A + ETICS 8cm VE 1 + Caix. PVC	1.3.5	ZC: Parede dupla c/ ETICS 8cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 10cm PTP: B.A + ETICS 8cm VE 2 + Caix. PVC	1.4.5	ZC: Parede dupla c/ ETICS 8cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 10cm PTP: B.A + ETICS 8cm VE 3 + Caix. Madeira	1.5.5	ZC: Parede dupla c/ ETICS 8cm COB: B.A + Betão leve c/ EPS 10cm PTP: B.A + ETICS 8cm VE 3 + Caix. PVC

Tabela 3.2 - Soluções de vãos envidraçados

Solução	U (W/m ² .°C)			
	U _{vidro}	U _{vidro+caixi}		
		Alumínio	PVC	Madeira
VE1 - Planiclear 6mm + Ar 10 mm + Planiclear 6 mm	2,9	3,2	2,7	2,9
VE2 - Planiclear 6mm + Argon (95%) 14mm + Planiclear 6mm	2,6	3,1	2,5	2,7
VE3 - Planiclear 6mm + Argon (95%) 14mm + (Planiclear 6mm c/ Planitherm one)	1,1	2,1	1,6	1,8

3.3 Utilização das ferramentas Energyplus e Window 8.0

Neste subcapítulo é apresentada a ferramenta de cálculo *EnergyPlus*, que serve de base para uma parte dos resultados apresentados. Para fazer uma simulação é necessário introduzir um ficheiro com os dados climáticos e, juntamente a isso, introduzir todas as variáveis relativas às características do caso de estudo. De seguida, será feita a descrição dos parâmetros necessários para a simulação de uma solução construtiva tipo. Também na figura 3.7 está representado um resumo do funcionamento do *EnergyPlus*. As figuras presentes neste subcapítulo são um apoio gráfico, retirado do programa, com o intuito de proporcionar um contacto com o layout do mesmo.

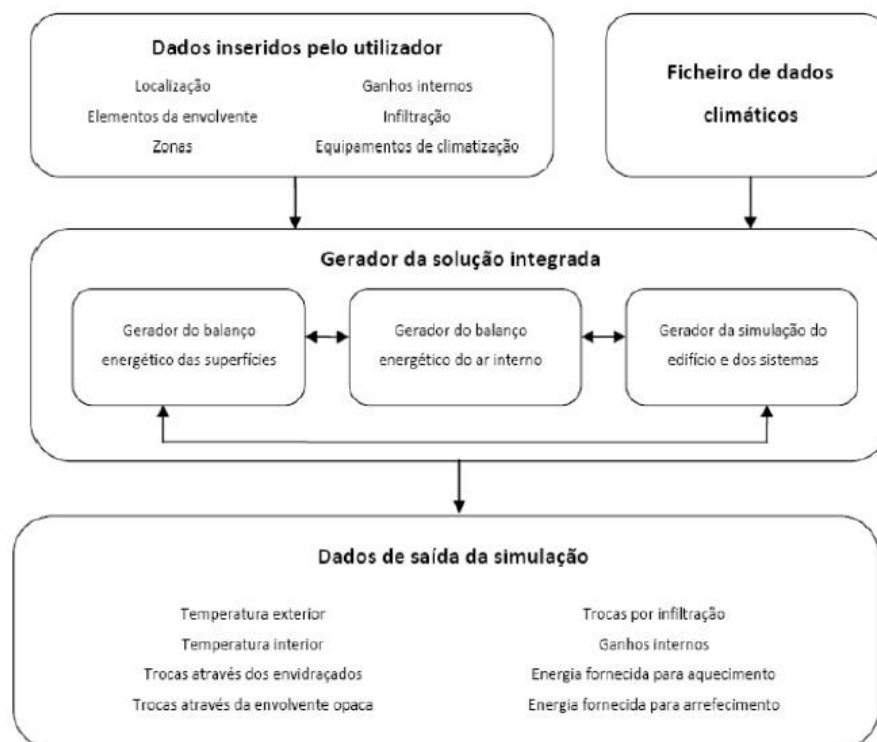


Figura 3.7 - Organograma de funcionamento do programa Energyplus [18]

3.3.1 Parâmetros da simulação

A interface de abertura do programa é a que se apresenta na figura 3.8. Aqui é possível introduzir o ficheiro climático, editar o ficheiro IDF e fazer a simulação do mesmo.

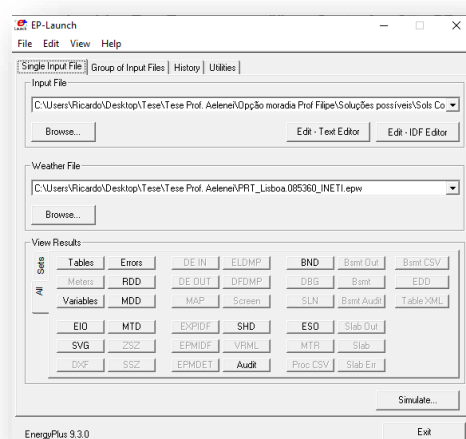


Figura 3.8 - Interface do programa Energyplus

Simulation Control | Building

No campo *Simulation Control* é permitido definir quais as condições de controlo da simulação. Como mostra a figura 3.9, é possível escolher se se pretende o cálculo da zona, o cálculo do sistema ou cálculo das dimensões em planta. Neste caso a escolha passa por fazer a simulação tendo em conta o ficheiro climático, que apresenta valores mensais durante um ano

No campo *Building* é feita a escolha de vários parâmetros. O primeiro está relacionado com o ângulo que o edifício faz em relação ao Norte. Neste caso a simulação é feita com um ângulo de 270°. No entanto, de forma a obter diferentes resultados para poder perceber a diferença que este parâmetro tem, faz-se também uma simulação com outro valor de desvio em relação ao Norte. Neste caso opta-se por acrescentar 45°, perfazendo um ângulo de 315°. O parâmetro seguinte é a localização geográfica relativa ao meio envolvente (cidade, subúrbios, zona oceânica). Nesta situação a escolha é pela localização *Ocean* pois o edifício encontra-se a menos de 5 km do oceano. Nos dois campos seguintes definem-se os valores de tolerância da convergência de carga e de temperatura. Em ambos os campos os valores foram arbitrados. O programa compara a temperatura máxima do dia a simular, com a do dia anterior. Se essa diferença estiver dentro da tolerância definida, o programa aprova o primeiro *warm-up* de selecção. O mesmo acontecerá para a carga. O campo seguinte é o da distribuição solar, onde neste caso se opta por *Full Exterior*, pois o edifício não apresenta uma geometria convexa. Caso contrário poderia optar-se por *Full Interior and Exterior*, que permite que o programe calcule a radiação absorvida por cada superfície, incluindo pisos, paredes e janelas.

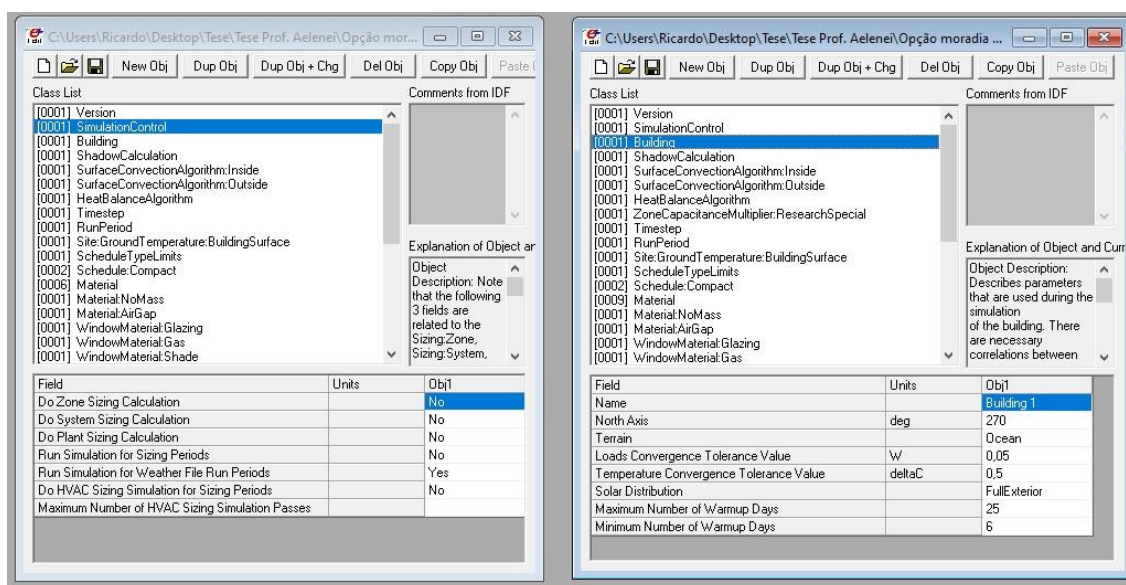


Figura 3.9 - Parâmetros da simulação |Parâmetros do edifício

O facto da distribuição ser *Full Exterior*, implica que toda a radiação transmitida para o interior da zona seja apenas absorvida pelo piso, de acordo com a sua absorção solar. Por último, definem-se o mínimo e máximo número de dias de preparação da simulação. Neste caso o valor máximo é de 25 dias, que é o valor indicado para edifícios correntes.

Shadow Calculation

Este campo define, de uma forma geral, a alteração da posição solar face às sombras. Neste caso consideram-se que as alterações da posição solar ocorrem de 20 em 20 dias.

Na figura 3.10 apresenta-se os parâmetros que constam neste campo. Os restantes são arbitrados.

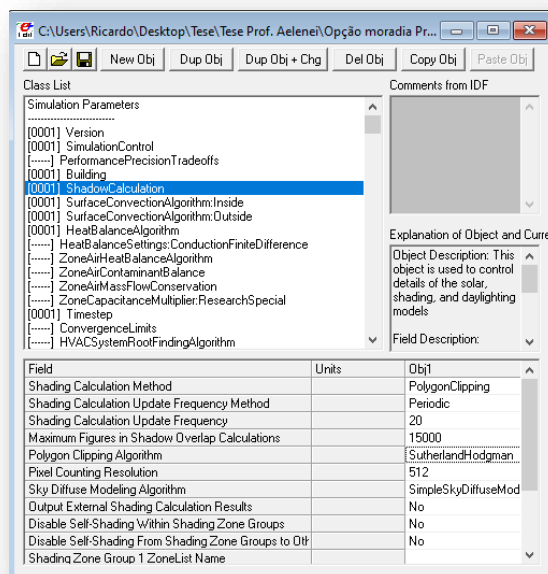


Figura 3.10 - Definição da posição solar face a sombras

Surface Convection Algorithm: Inside | Outside

Aqui define-se qual o algoritmo de transferência de calor para a envolvente, a nível interior e também exterior (figura 3.11). Considera-se *Simple* para interior, que significa um valor constante. Para o exterior a opção que selecionamos é a de *Simple Combined*, que combina a radiação e a convecção. Ambas são usadas na norma ASHRAE [2].

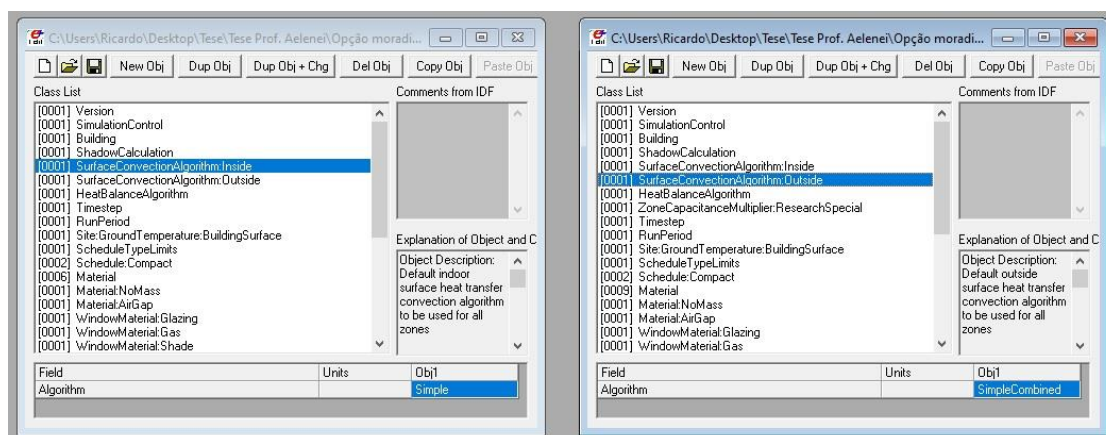


Figura 3.11 - Algoritmo de transferência de calor: interior | exterior

Heat Balance Algorithm | Timestep

O algoritmo de transferência de calor usado é o *Conduction Transfer Functions* que tem apenas em consideração o calor sensível. Já no campo *Timestep* define-se o intervalo de tempo da simulação, neste caso o programa só aceita valores que sejam divisíveis por 60. (figura 3.12).

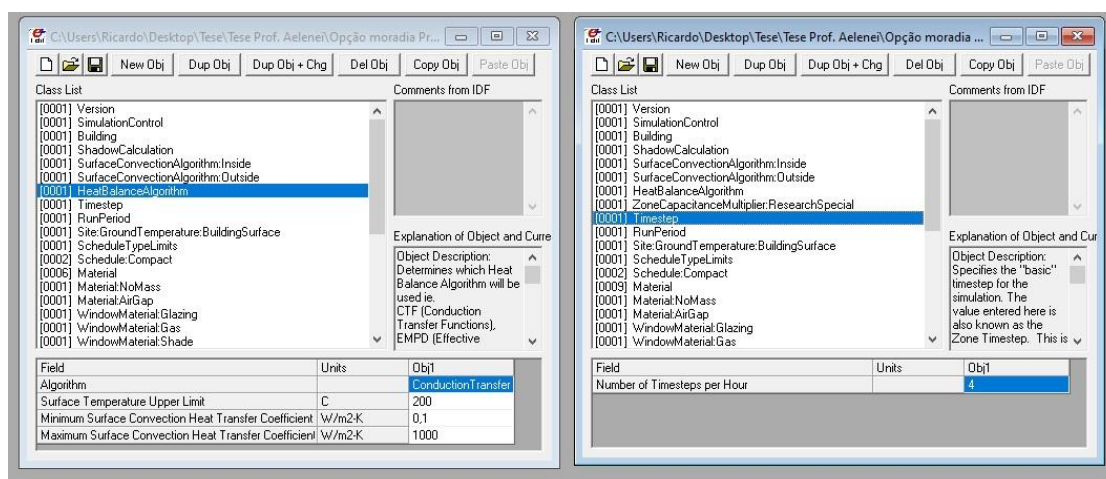


Figura 3.12 - Algoritmo de transferência de calor | Intervalo de tempo da simulação

3.3.2 Localização e clima

O campo *Site: Ground Temperature: Building Surface* (figura 3.13) é onde se inserem as temperaturas abaixo do solo. Estas são fornecidas através de um ficheiro climático, que é inserido directamente no programa. O ficheiro usado foi o de Lisboa.

O campo *Run Period*, onde se define o dia e o mês do início e fim da simulação. Com início a 1 de Janeiro e fim a 31 de Dezembro. Aqui define-se também que o dia de início da semana é à segunda-feira, que não há atenção a dias feriados ou férias e que o ficheiro climático dá indicação de dias de vento ou neve.

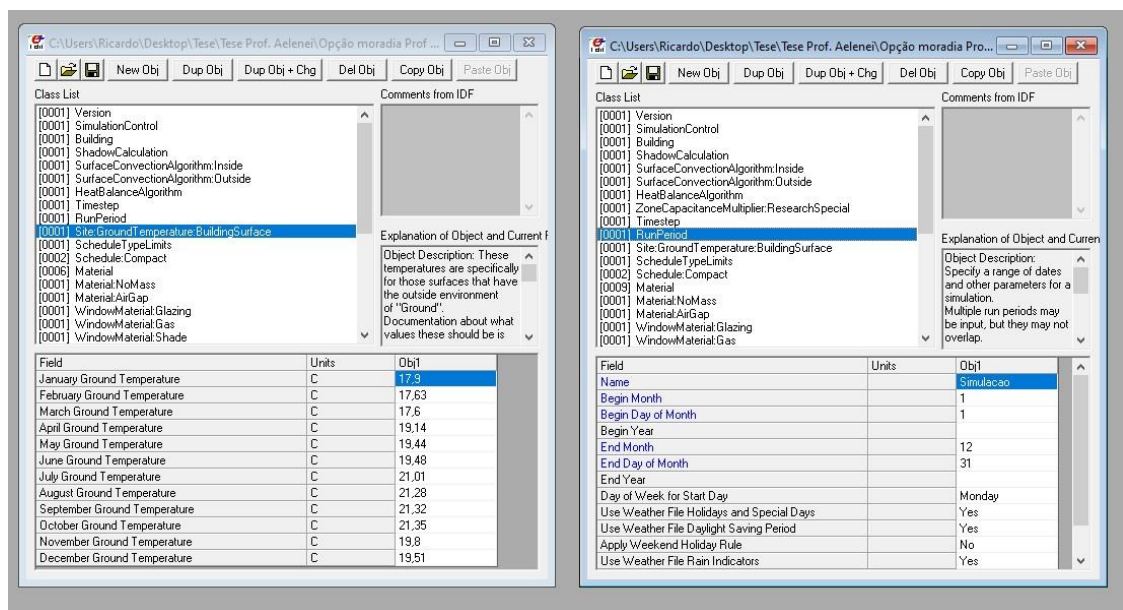


Figura 3.13 - Temperaturas abaixo do solo | Período da simulação

3.3.3 Horários

Este subcapítulo está relacionado com os horários definidos para uma determinada actividade. Primeiramente em *Schedule type Limits* define-se qual o tipo de funcionamento para a actividade, isto é, se a mesma funciona em percentagem de trabalho ou se funciona como *OnOff*. Neste caso optou-se pela segunda opção, o que significa que qualquer actividade que se associe a este tipo de funcionamento só tem duas opções, ou está ligada (atribuído o valor "1") ou desligada (atribuído o valor "0"). Depois, no campo *Schedule Compact*, estabelecem-se quais os horários de cada actividade, com as datas de início e fim de cada uma. Neste caso as actividades que temos funcionam as duas de igual forma. Ambas estão *On* o ano inteiro e durante 24 horas diárias. No caso da figura 3.14 temos as actividades associadas à ventilação e à produção de calor.

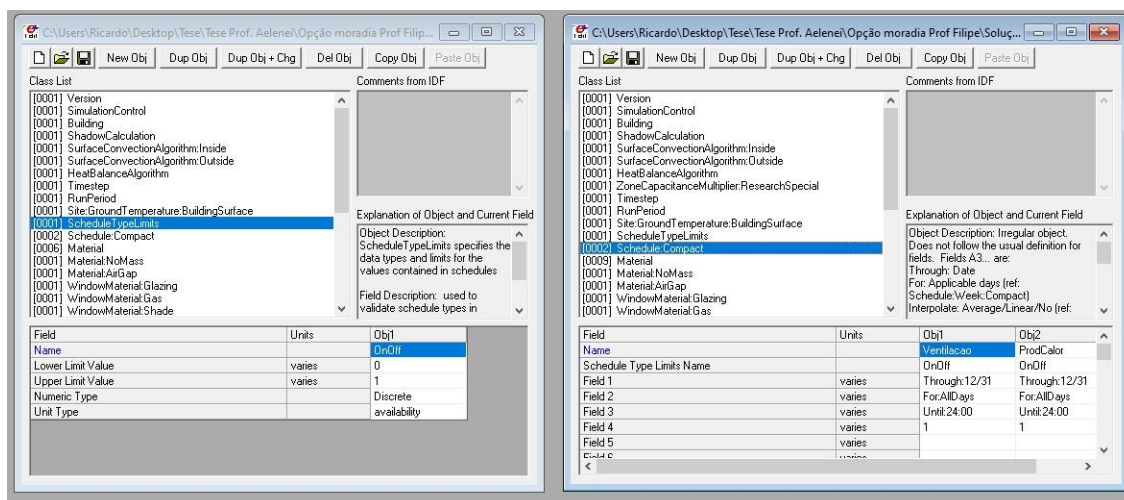


Figura 3.14 - Tipo de funcionamento de uma actividade | Horário de uma actividade

3.3.4 Elementos construtivos das superfícies opacas

Material e Material: Air Gap

Neste subcapítulo *Surface Construction Elements* são descritos os materiais e também as soluções construtivas das zonas opacas e envidraçadas.

O primeiro campo é o dos materiais. No exemplo da figura 3.15 constam os materiais associados à solução construtiva de uma melhoria, para que de uma forma geral se possa ver todos os materiais considerados.

Para cada material é necessário definir a rugosidade (*Roughness*), que depende da textura da superfície de contacto e pode ser classificada desde *rough* (duro) até *smooth* (suave). É também imprescindível definir a espessura, a condutibilidade térmica, a massa volúmica e o calor específico. Estes valores são consultados no ITE 50 [19], ou através das fichas técnicas dos respectivos materiais.

No campo *Air Gap* (figura 3.16) é definida a resistência térmica da caixa-de-ar de paredes, pavimentos ou coberturas. Neste caso introduziu-se apenas na solução de parede dupla, com um valor de 0,18 m².K/W [19].

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Alvenaria (11 cm)	Alvenaria (9 cm)	Betão (20 cm)	Pav. cerâmico (1 cm)	Reboco (2 cm)	Betonilha regularizada	ICB (8 cm)	Argamassa ETICS	Betão leve com EP
Roughness		Rough	Rough	MediumRough	Rough	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0.11	0.09	0.2	0.01	0.02	0.04	0.08	0.01	0.1
Conductivity	W/m.K	0.38	0.33	2	1.3	1.3	1.3	0.045	0.45	0.06
Density	kg/m3	1200	1200	2300	2300	1800	1800	100	1800	200
Specific Heat	J/kg.K	837	837	880	950	837	837	170	837	500
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9			
Solar Absorptance		0.75	0.75	0.4		0.4				
Visible Absorptance		0.75	0.75	0.7		0.7				

Figura 3.15 - Características dos materiais

Field	Units	Obj1
Name		Caixa-de-ar (5 cm)
Thermal Resistance	m2.K/W	0,18

Figura 3.16 - Resistência térmica da caixa-de-ar

Window Material: Shade | Glazing | Gas Mixture |

Em *Window Material: Shade* indicam-se quais as características dos elementos de proteção, que neste caso são estores. Na biblioteca do programa existem vários modelos e é daí que se retiram os valores. De referir que existem simulações sem estores e com estores, sendo que no caso de haver estores, os mesmos têm o horário definido no campo *schedule compact*.

No campo *Window Material: Glazing* são indicadas as propriedades dos vãos envidraçados. Na figura 3.17 temos o exemplo do caso em que o vão envidraçado contempla uma das soluções de melhoria, onde que um dos vidros tem uma capa que faz com que o factor solar seja mais baixo.

De seguida, no campo *Window Material: Gas Mixture*, (figura 3.18) define-se qual o elemento que consta entre os dois vidros de cada solução. As opções são *Air* ou *Argon*, neste caso a solução adoptada foi a mistura entre Ar e Árgon na proporção abaixo indicada.

Todos estes campos foram preenchidos com o auxílio do programa *Window 8.0*.

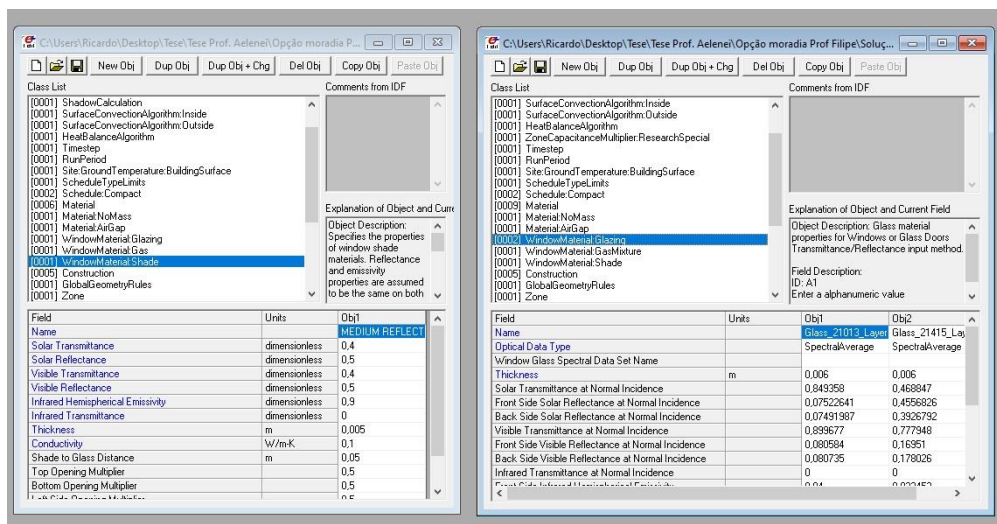


Figura 3.17 - Características dos elementos de proteção móveis | Propriedades dos vãos envidraçados

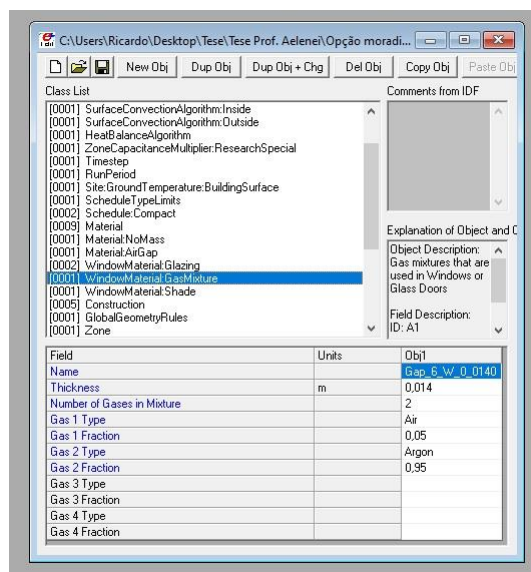


Figura 3.18 - Elementos entre os vidros

Construction

Neste último campo do subcapítulo *Surface Construction Elements* é onde são inseridas as diferentes soluções construtivas, quer da zona opaca quer da zona envidraçada. As mesmas são introduzidas pela ordem real da disposição dos elementos que as constituem, do exterior para o interior, tal como mostra a figura 3.19.

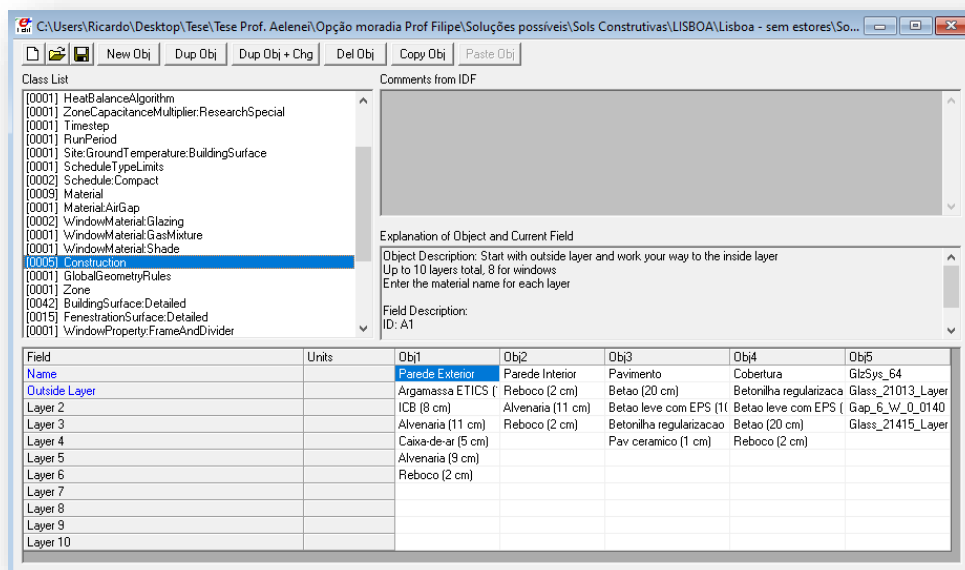


Figura 3.19 - Definição das soluções construtivas

3.3.5 Superfícies térmicas

Global Geometry Rules | Zone

Neste primeiro campo estabelecem-se os critérios para a elaboração da geometria da habitação. A geometria é feita por elementos (paredes, pavimentos e tectos) que são definidos por vértices num sistema de coordenadas do tipo X, Y, Z. O primeiro vértice corresponde ao canto superior esquerdo, e os restantes são determinados a partir desse, seguindo o sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.

No campo *Zone* indica-se quantas zonas tem o edifício. O número de zonas está relacionado com o número de espaços e com um determinado comportamento térmico. Como neste caso todo o edifício tem a mesma solução construtiva, adopta-se apenas uma zona pois admite-se que o comportamento é igual em toda a área do edifício.

Define-se também a coordenada de origem, que neste caso é no ponto (0,0,0), tal como se pode observar na figura 3.20.

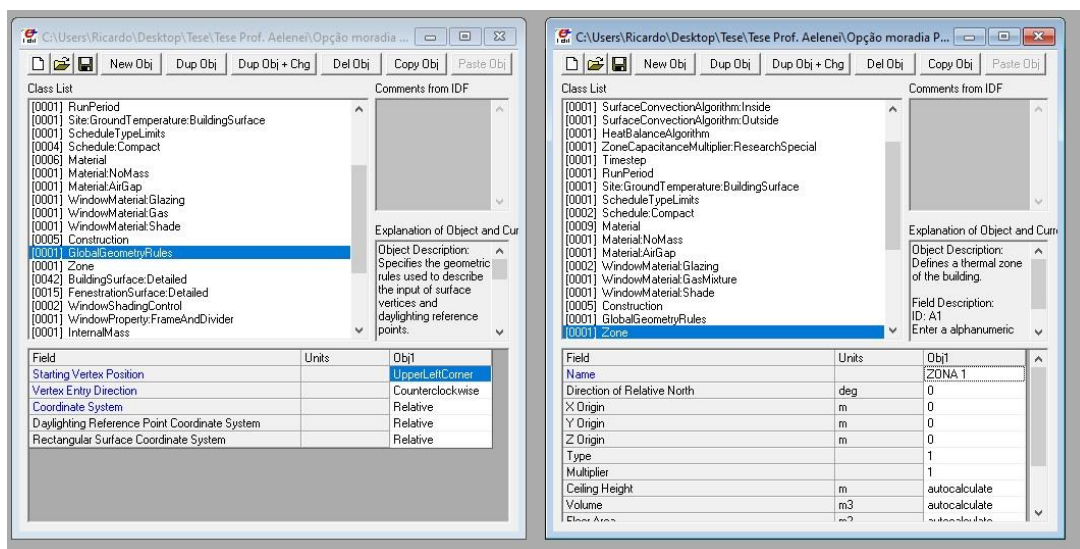


Figura 3.20 - Critérios de elaboração da geometria | Definição do número de zonas do edifício

Building Surface Detailed

O campo seguinte é onde se inserem as coordenadas dos elementos da zona opaca (paredes, pavimentos, tectos). É também necessário mencionar qual o tipo de elemento, o nome a que está associado no campo *Construction*, a zona a que pertence e qual a condição de fronteira a que está associado. No caso de pavimento será o solo (*Ground*), no caso de paredes exteriores será o próprio exterior (*Outdoors*).

Define-se ainda se tem ou não exposição ao sol e/ou ao vento, como se pode ver na figura 3.21.

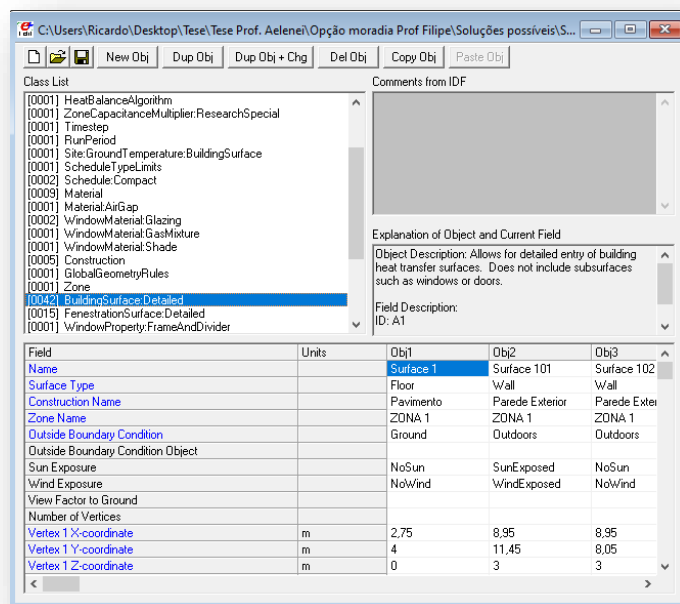


Figura 3.21 - Características das zonas opacas

Fenestration Surface Detailed

O campo *Fenestration Surface Detailed* representa, tal como o anterior, a definição da geometria, mas neste caso dos vãos envidraçados. É definido o tipo de vão envidraçado, neste caso ou se trata de uma janela ou de uma porta em vidro. Admitiu-se que algumas portas seriam em vidro e os restantes elementos seriam janelas. Paralelamente ao campo anterior, faz-se, não só a associação relativamente à solução construtiva, mas também ao elemento opaco em que se insere, e também qual o tipo de caixilharia a que está ligado (figura 3.22).

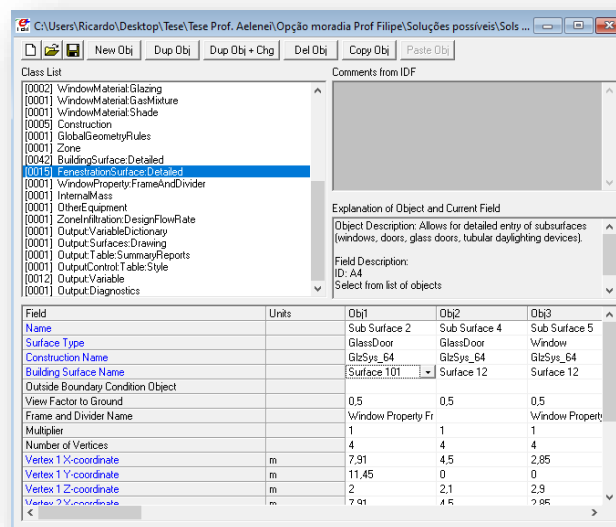


Figura 3.22 - Características das zonas envidraçadas

Window Shading Control | Window Property: Frame and Divider

Nestes campos são definidos, em primeiro lugar, o tipo de funcionamento dos elementos de proteção (estores), sendo que há simulações com e sem a utilização destes elementos. Também o horário de funcionamento é feito em função do aproveitamento energético inerente à sua utilização. Em segundo lugar determina-se qual o tipo de caixilharia que irá estar associada aos vãos envidraçados. No exemplo da figura 3.23 temos a opção de caixilharia em PVC. Estes dados foram retirados recorrendo ao programa *Window 8.0*.

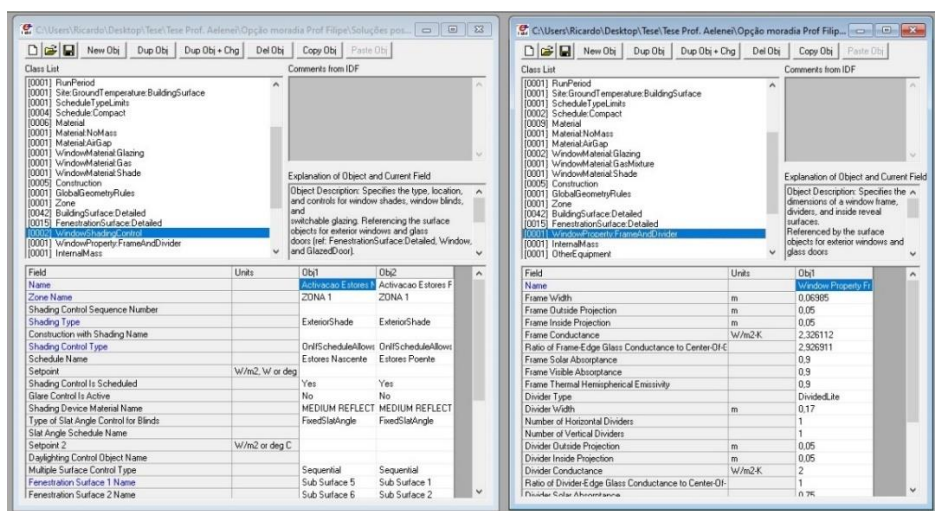


Figura 3.23 - Características de funcionamento dos elementos de proteção móveis | Definição das propriedades das caixilharias

Internal Mass

Neste campo caracterizam-se as paredes divisórias relativamente à solução construtiva associada à zona, e também à área que ocupam (figura 3.24).

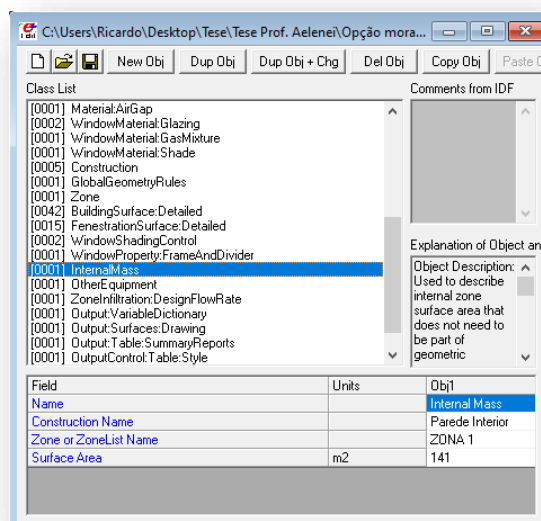


Figura 3.24 - Características das paredes interiores

3.3.6 Ganhos Internos

Other Equipment

No subcapítulo *Internal Gains* temos apenas o campo *Other Equipment*. Aqui definem-se quais os ganhos internos da habitação. Há vários factores que contribuem para estes ganhos, sejam eles equipamentos eléctricos, iluminação ou a própria ocupação humana. Por simplificação admite-se que a produção destes ganhos é de 4 W/m² [5](figura 3.25).

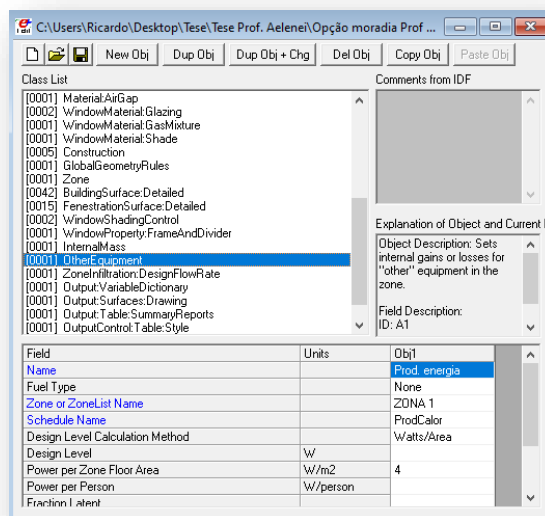


Figura 3.25 - Ganhos internos

3.3.7 Ventilação

Zone Infiltration: Design Flow Rate

Neste campo define-se qual a taxa de ventilação. Para esta simulação admite-se que a renovação de ar é de $0,6 \text{ h}^{-1}$ (figura 3.26).

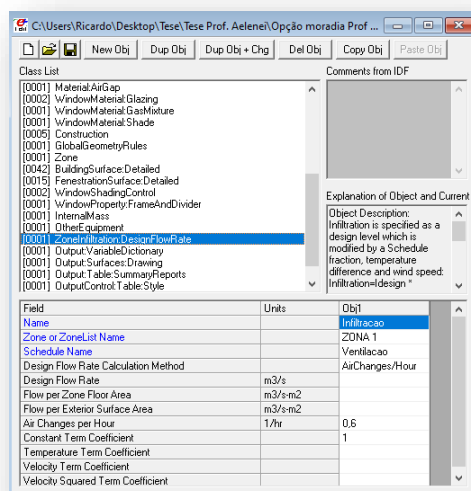


Figura 3.26 - Taxa de ventilação

3.3.8 Relatório da simulação

Output Variable Dictionary, Surfaces Drawing | Variable

Este é o último subcapítulo, e está relacionado com o relatório da simulação. No primeiro campo é indicado o tipo de ficheiro, que neste caso é um ficheiro IDF (figura 3.27).

De forma a poder-se obter a simulação da geometria da habitação preenche-se também o campo referente ao tipo de ficheiro que se pretende. Neste caso, para que se possa obter o ficheiro em formato CAD, seleciona-se o ficheiro tipo DXF.

No penúltimo campo é onde são escolhidas as variáveis que se pretende que o programa elabore. Podem ser, temperaturas interiores ou exteriores, ganhos de energia através de vãos envidraçados ou através de zonas opacas, entre outras, tal como exemplifica a figura 3.28.

Na demonstração de resultados são especificadas quais as variáveis que se consideram.

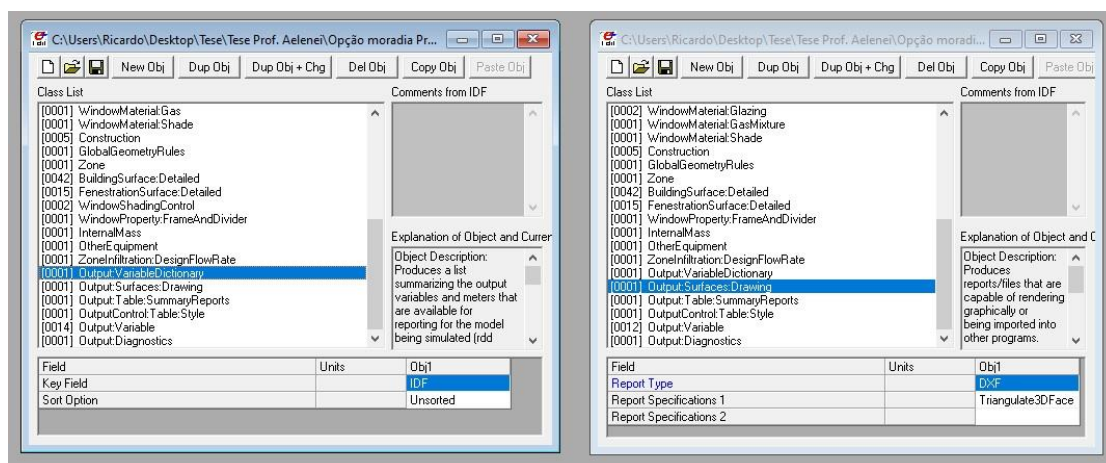


Figura 3.27 - Formato do ficheiro da simulação | Tipo de ficheiro gráfico

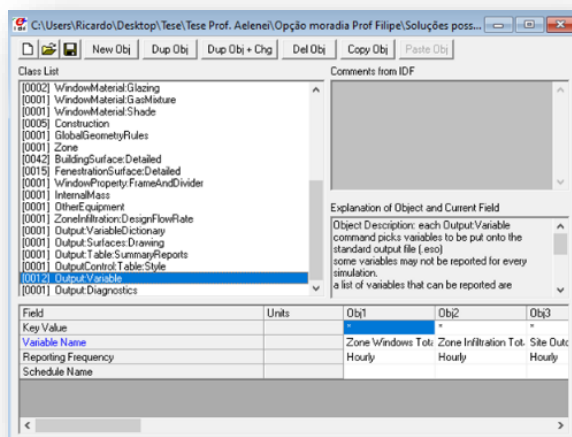


Figura 3.28 - Variáveis executadas pelo programa

3.3.9 Utilização do programa Window 8.0

O programa *Window 8.0* é uma ferramenta importante na questão dos vãos envidraçados. De uma forma geral este programa dispõe de uma biblioteca extensa com diferentes tipos de vidros, como mostra a figura 3.29. Assim é possível elaborar um coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado completo (vidro e caixilharia).

Em primeiro lugar escolhe-se o tipo de vidro que se pretende. Neste caso o procedimento foi feito através da plataforma online *Saint Gobain*, obtendo-se também uma ficha técnica de cada um. Posteriormente seleciona-se, através da base de dados do programa, o vidro correspondente ao escolhido anteriormente. Adiciona-se o tipo de caixilharia pretendida e o programa faz o cálculo do correspondente coeficiente de transmissão térmica total, como se pode ver na figura 3.30. Ao ter essa simulação é possível selecionar a opção que permite obter um ficheiro do tipo IDF que corresponde ao mesmo formato que os ficheiros do *EnergyPlus*.

Com esses valores já é possível fazer as simulações com os diferentes tipos de vãos envidraçados desejados e os seus respetivos coeficientes.

W8.0 - Glass Library (C:\Users\Ricardo\Desktop\Tese\Tese Prof. Aelenei\Opção moradia Prof Filipe\Window\VE_SOL3_08_04.mdb)

File Edit Libraries Record Tools View Help

Glass Library (C:\Users\Ricardo\Desktop\Tese\Tese Prof. Aelenei\Opção moradia Prof Filipe\Window\VE_SOL3_08_04.mdb)

Detailed View

5003 records found

ID	Name	ProductName	Manufacturer	Source	Mode	Color	Thickness	Tsol	Rsol1	Rsol2
100	BRONZE_3.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.646	0	0
101	BRONZE_6.DAT	Generic Bronze Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.740	0.486	0	0
102	CLEAR_3.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.048	0.834	0	0
103	CLEAR_6.DAT	Generic Clear Glass	Generic	IGDB v11.4	#		5.715	0.771	0	0
104	GRAY_3.DAT	Generic Grey Glass	Generic	IGDB v11.4	#		3.124	0.609	0	0
105	THIN_06.DAT	Generic thin glass 0.6 mm	Generic	IGDB v54.0			0.600	0.906	0	0
106	THIN_075.DAT	Generic thin glass 0.75 mm	Generic	IGDB v54.0			0.750	0.906	0	0
107	THIN_11.DAT	Generic thin glass 1.1 mm	Generic	IGDB v54.0			1.100	0.901	0	0
200	SiAg25LE_3ww.bsrf	Silver AG 25 Low-E	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.023	0.156	1	1
201	AutBr30_3ww.bsrf	Autumn Bronze 30	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.0	#		3.023	0.244	0	0
202	H70_3.bsrf	Hütte 70	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.277	0.368	0	0
203	H70-8_3.bsrf	8 Mil Hütte 70	Saint-Gobain Sc	IGDB v16.3	#		3.404	0.381	0	0
204	NS20_3.bsrf	NightSky 20	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.4	#		3.251	0.238	0	0
205	NS30_3.bsrf	NightSky 30	Saint-Gobain Sc	IGDB v17.4	#		3.251	0.354	0	0

Figura 3.29 - Biblioteca do programa

W8.0 - Window Library (C:\Users\Ricardo\Desktop\Tese\Tese Prof. Aelenei\Opção moradia Prof Filipe\Window\VE_SOL3_08_04.mdb)

File Edit Libraries Record Tools View Help

List

Calc (F9)

New

Copy

Delete

Save

Report

Dividers

Dividers

Awnings

Generic 1

Display mode: Normal

SHGC/VT Detail

CR Detail

ID # 1

Name Picture

Mode CEN

Type Casement - Double

Width 1200 mm

Height 1500 mm

Area 1.800 m2

Tilt 90

Environmental Conditions CEN

Total Window Results - Normal Incidence

U-factor 2.882 W/m2K

SHGC 0.653

VT 0.610

CR N/A

Total Window Results - Annual

Click on a component to display characteristics below

Frame

Name Wood

ID 3

Uedge 3.466 W/m2K

Source 1

Edge area 0.082 m2

Ufactor 2.270 W/m2K

PFD 69.850

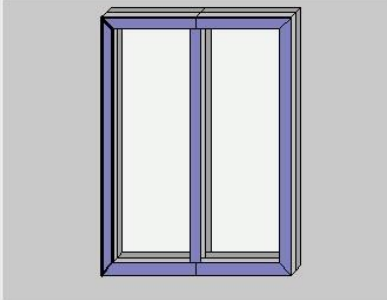


Figura 3.30 - Interface do programa onde é calculado o U do vão envidraçado

4 DEMONSTRAÇÃO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Neste subcapítulo será feita a comparação e análise entre as diferentes simulações. Por uma questão de apresentação e discussão de resultados optou-se por comparar apenas algumas das soluções, nomeadamente as soluções 1 e 6 (tabela 2.5). Serão apresentados resultados com e sem utilização de estores, palas de sombreamento e diferentes orientações geográficas. Estas duas soluções preconizam um caso de melhoria só a nível dos vãos envidraçados, e outro só a nível da zona opaca. Nestas duas soluções são apresentados gráficos de temperaturas interiores e balanço total da taxa de calor que passa pelos vãos envidraçados. Para melhor leitura dos resultados, em ambas admite-se um período temporal de 5 dias, tanto para um mês de verão (junho) como para um de inverno (janeiro).

4.1 Simulação sem elementos fixos de sombreamento

Neste subcapítulo serão analisadas as simulações feitas tendo em conta o posicionamento do edifício em relação ao Norte. Na figura 4.1 está representado esse mesmo posicionamento.

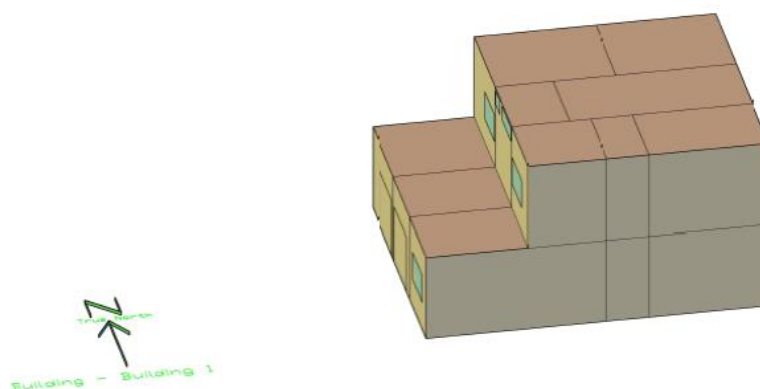


Figura 4.1 - Representação 3D do caso de estudo, com orientação geográfica inicial

4.1.1 Simulação com orientação solar inicial

I. Variação de isolamento térmico com o mesmo vão envidraçado (Solução 1):

- a) Estação de Aquecimento

Na análise das figuras seguintes é possível concluir que existe, tal como seria expectável, uma diferença da temperatura interior entre as várias soluções. Na solução que não contempla qualquer isolamento térmico a temperatura é mais baixa, aumentando com o aumento também do isolamento. A maior diferença é entre a primeira e segunda soluções, pois a primeira é a única que não contempla isolamento. Neste caso, a diferença entre a solução com estores - apresentada na figura 4.3 - e a solução sem estores - apresentada na figura 4.2 - é muito pouco significativa. Ainda assim, tal como está assinalado no círculo a vermelho, é possível notar um ligeiro aumento da temperatura na situação com estores, que apesar de diminuta faz sentido pois durante a noite os estores acabam por ter uma pequena influência nas trocas de calor entre o exterior e interior. Estas diferenças de pouca relevância devem-se ao facto de ter sido assumido que no inverno o funcionamento dos estores seria idêntico ao caso em que os mesmos não existem. Esta assunção está relacionada com a necessidade de obter o maior número de ganhos solares nesta estação do ano, contrariamente ao que acontece no verão.

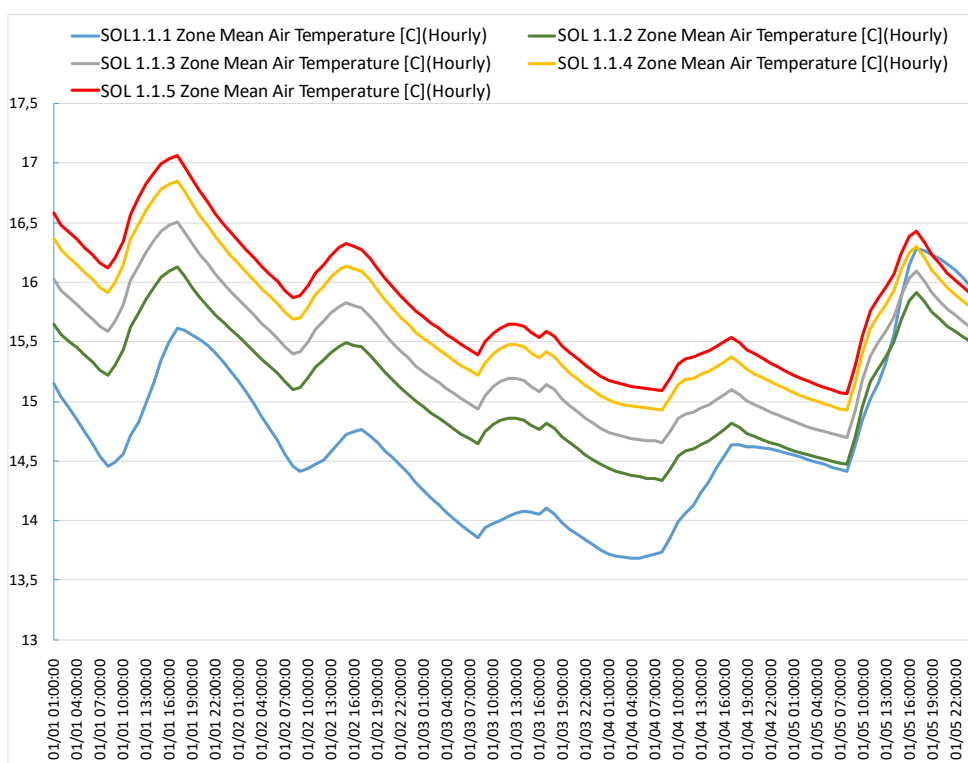


Figura 4.2 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 1)

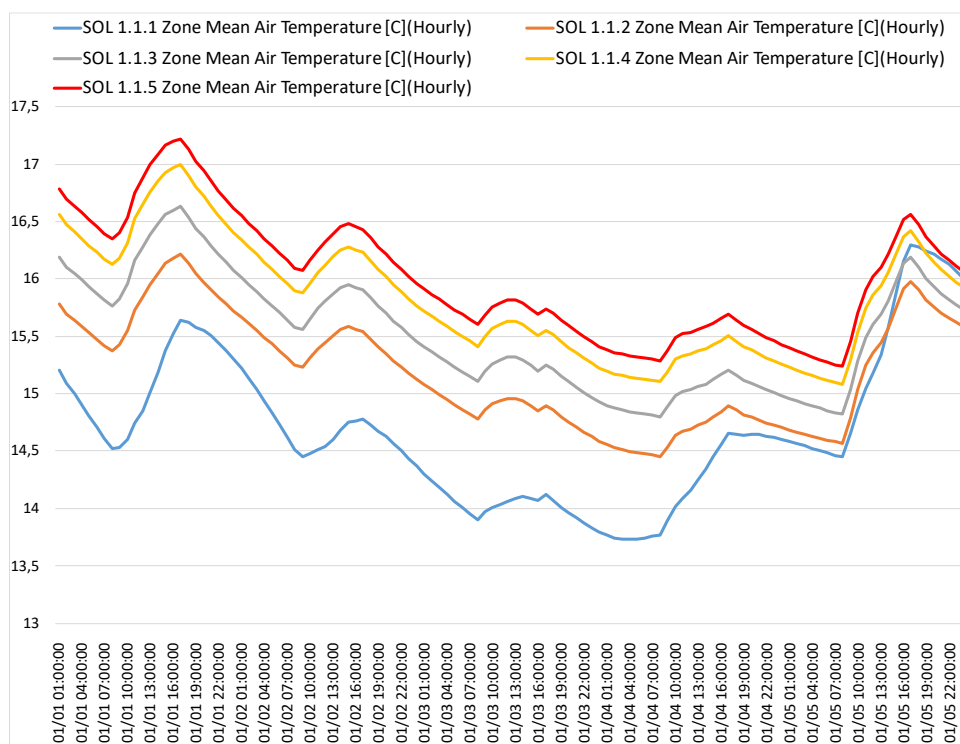


Figura 4.3- Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 1)

No caso dos valores da taxa total de calor que passa através dos vãos envidraçados, estes apresentam valores próximos entre as diferentes soluções. É natural que isso aconteça pois neste caso apenas há variação do isolamento térmico. Ainda assim é possível notar uma pequena diferença, sendo que a solução com menos isolamento é a que apresenta uma taxa maior de ganhos, tal como se pode ver na tabela 4.1. Isto pode ser explicado pelo facto do aumento do isolamento implicar que o calor permaneça mais na habitação, e que consequentemente as perdas sejam menores.

Também é de realçar que ao avaliar as figuras 4.4 e 4.5 é possível ver que existem picos em certos momentos do dia. Neste caso por volta das 10h há subidas abruptas, que será quando o sol começa a atingir os vãos envidraçados. Verificam-se também descidas abruptas, nos momentos em que os vãos com orientação a nascente deixam de absorver grande parte da radiação directa. Volta a ter outro pico por volta das 16h, quando os vãos virados a poente são mais atingidos. Estes picos poderão acontecer pelo facto do edifício só apresentar vãos a nascente e poente.

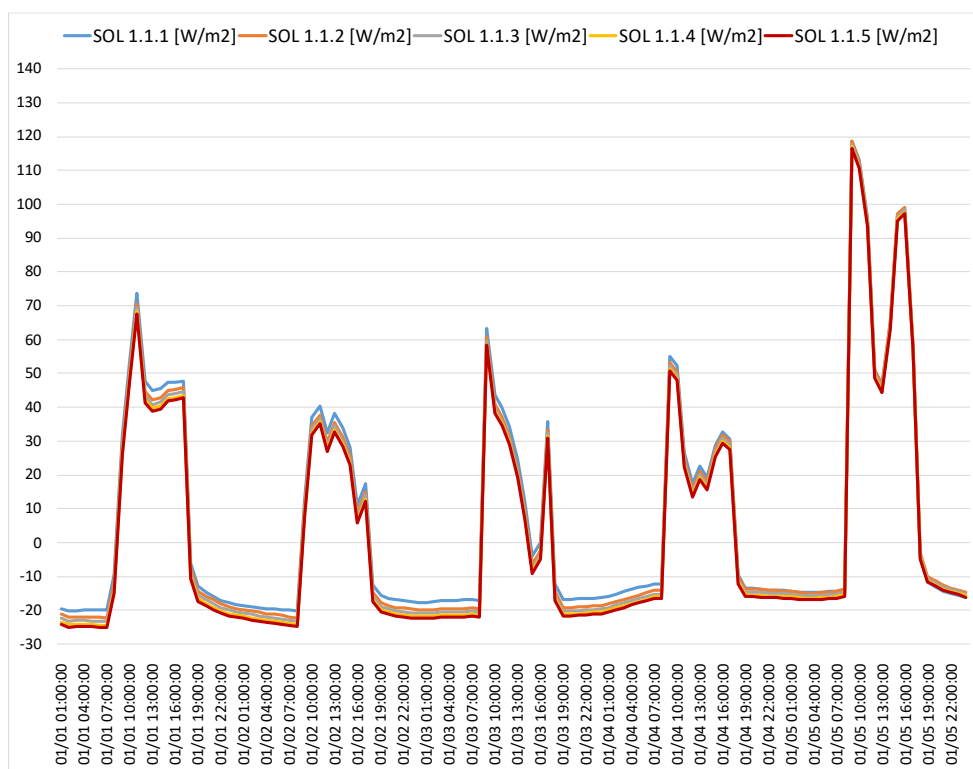


Figura 4.4 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 1)

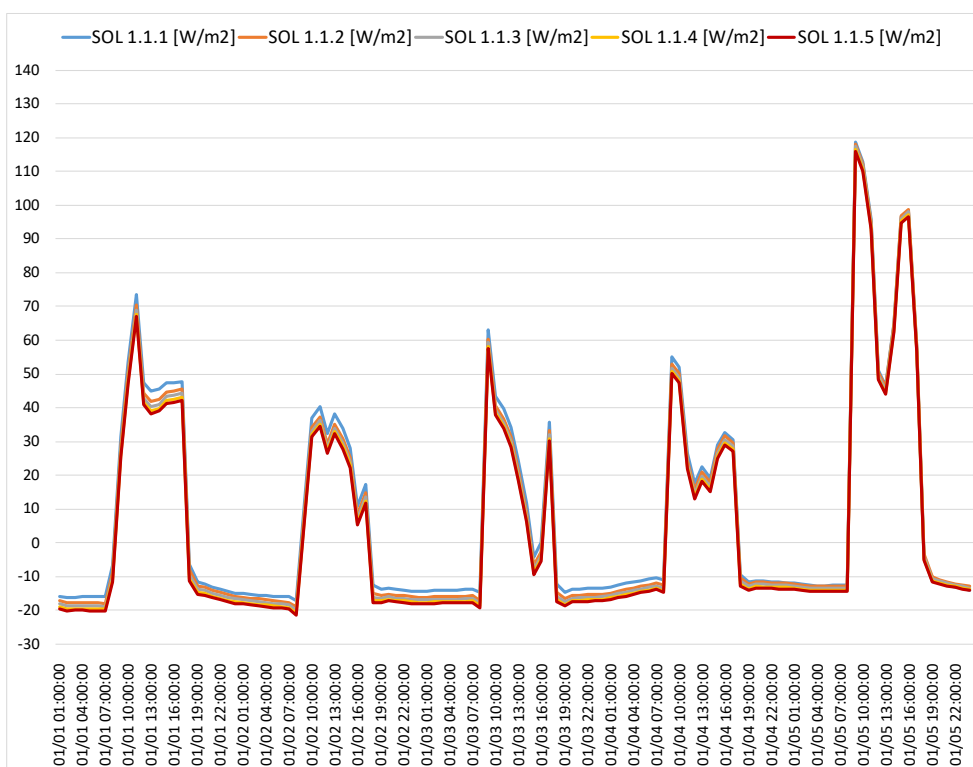


Figura 4.5 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 1)

Tabela 4.1 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Janeiro (solução 1)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	769,21	956,75	187,54
SOL 1.1.2 [W/m ²]	592,61	781,96	189,34
SOL 1.1.3 [W/m ²]	474,68	672,39	197,71
SOL 1.1.4 [W/m ²]	364,35	570,84	206,49
SOL 1.1.5 [W/m ²]	295,48	507,06	211,59

Também é possível notar que o valor máximo médio ronda os 120 W/m², sendo que em alguns dias este valor é bastante menor. Isto pode estar relacionado com dias de maior nebulosidade. Novamente neste caso o funcionamento dos estores interfere pouco na comparação das duas simulações.

b) Estação de Arrefecimento

No caso da estação de arrefecimento, observa-se o mesmo fenómeno que na estação de aquecimento, ou seja, a solução sem isolamento apresenta valores mais distantes em relação a todas as outras, tal como se pode constatar na figura 4.6. Neste caso é a que apresenta menores valores de temperatura interior. Isto poderá acontecer pelo facto de existir um aumento do isolamento térmico, mas o vão envidraçado permanecer o mesmo. Os ganhos são iguais, mas com o aumento do isolamento o calor tem mais tendência a permanecer no interior e consequentemente a temperatura acaba por subir.

No caso da figura 4.7, a simulação com estores apresenta diminuição geral das temperaturas nas várias soluções construtivas. É importante referir que os horários dos estores considerados para esta simulação compreenderam de forma diferente vãos a nascente e vãos a poente, de forma a não retirar os benefícios do sol como fonte de luz e de calor. Neste caso admitiu-se que os vãos a nascente teriam o horário 06:45-08:00 (aberto), 08:00-12:00 (fechado), 12:00-24:00 (aberto). Enquanto que os vãos a poente teriam o horário 06:45-15:30 (aberto), 15:30-24:00 (fechado).

É também possível notar que comparando a solução 1.1.1), sem estores e com estores, existe uma diminuição da temperatura quase impercetível, com 24,6° e 24,3°, respectivamente. Já na solução 1.1.5, no mesmo horário essa diferença é maior, com 27,9° e 26,8° respectivamente. Isto pode ser explicado pelo facto de, na solução sem isolamento térmico as trocas de calor entre o interior e o exterior ocorrerem com mais facilidade.

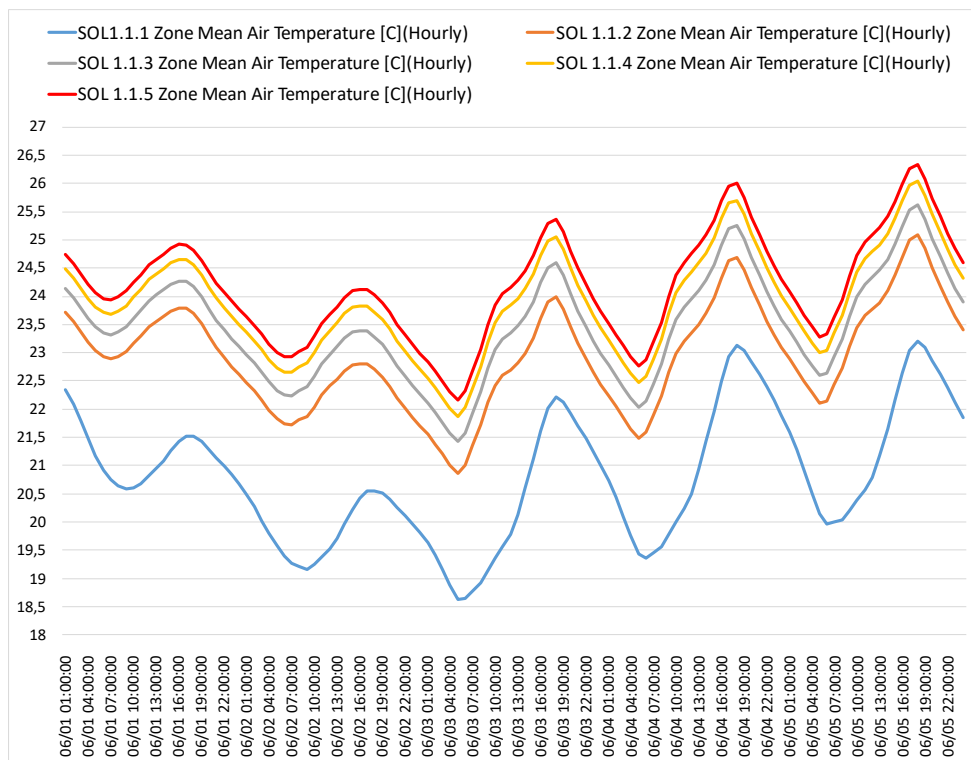


Figura 4.6 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 1)

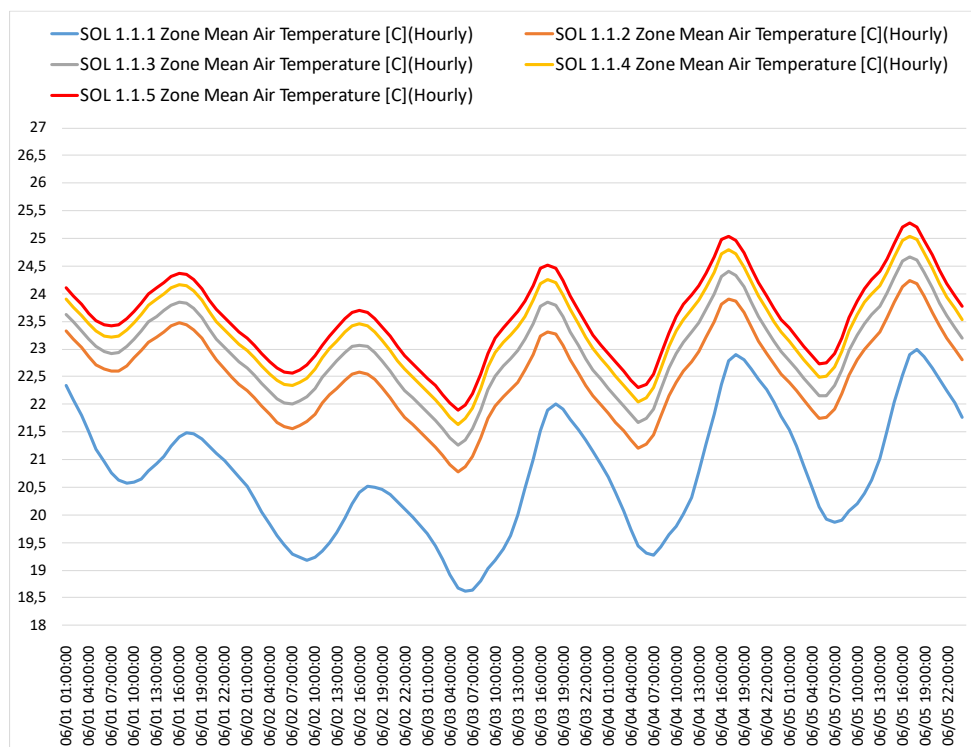


Figura 4.7 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 1)

Ao analisar a figura 4.8, podemos novamente observar que a diferença é diminuta entre as várias soluções, tal como expectável. No entanto, também aqui, é possível constatar que existe uma diferença grande entre a solução sem estores e com estores. Enquanto que na solução com estores, como apresenta a figura 4.9, os valores máximos médios rondam os 240 w/m², na outra solução estes valores rondam os 190 W/m².

Ao fazer também uma comparação entre os ganhos da estação de arrefecimento e da estação de aquecimento, é possível observar que no mês de verão os ganhos são praticamente o dobro em relação a Janeiro. Apesar da radiação não ser tão acentuada, devido à trajectória do sol, os ganhos podem ocorrer mais por condução. Sendo que no total (condução, convecção e radiação) são superiores.

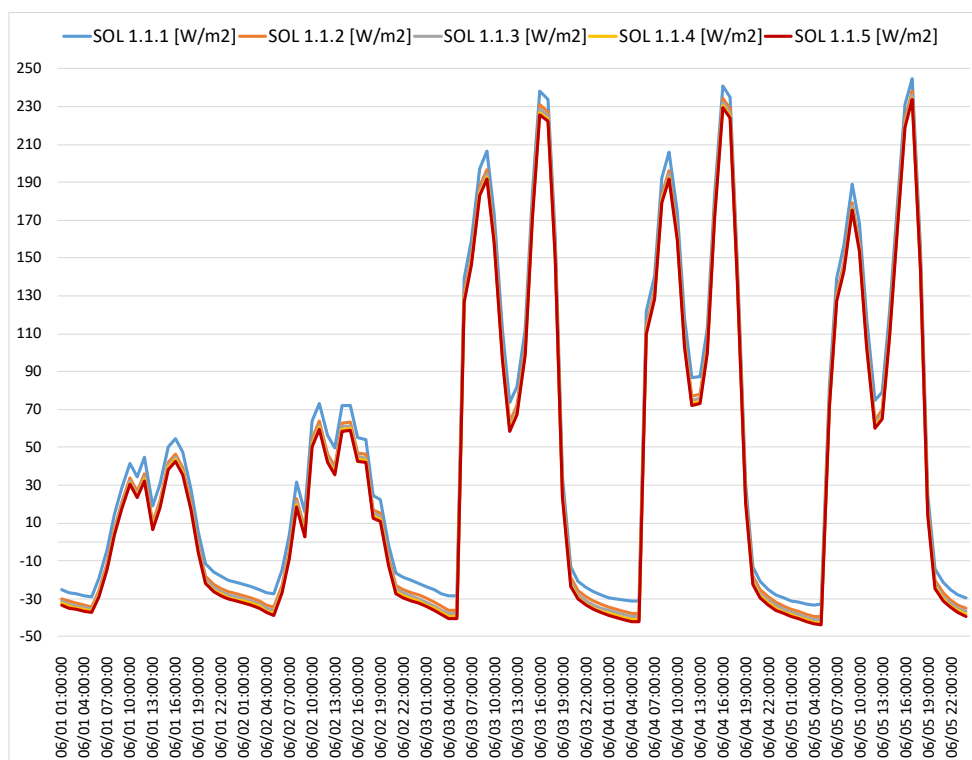


Figura 4.8 - Taxa total de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 1)

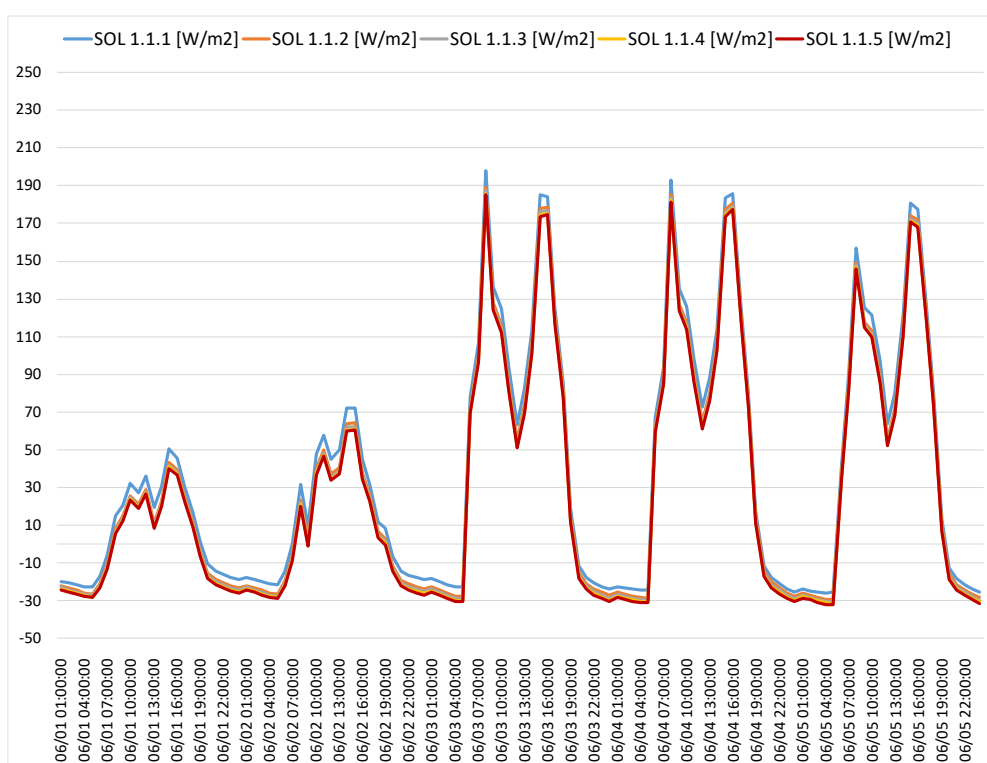


Figura 4.9 - Taxa total de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 1)

Como podemos observar na tabela 4.2, a diferença nas várias soluções construtivas, com e sem estores, é maior quanto menor for o nível de isolamento térmico. Esta conclusão é contrária ao expectável, pois com menos isolamento térmico existem mais trocas de calor, ou seja, mais ganhos mas também mais perdas.

Tabela 4.2 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Junho (solução 1)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m²]	5879,89	4421,11	-1458,77
SOL 1.1.2 [W/m²]	5014,75	3777,06	-1237,69
SOL 1.1.3 [W/m²]	4795,59	3620,52	-1175,06
SOL 1.1.4 [W/m²]	4620,51	3495,47	-1125,04
SOL 1.1.5 [W/m²]	4502,28	3411,37	-1090,91

II. Variação do tipo de vão envidraçado sem isolamento térmico (Solução 6):

a) Estação de Aquecimento

No caso em que apenas se varia o tipo de vão envidraçado é possível notar que as temperaturas interiores praticamente não têm variação entre as diferentes soluções.

Na figura 4.10 é possível observar que existe uma pequena diferença entre a solução que apresenta um baixo factor solar e as outras. Como seria expectável, a que tem o factor solar mais baixo é a que apresenta temperaturas mais baixas pois tem menos ganhos solares. Também nesta situação, como ainda estamos na estação de aquecimento, a diferença de valores com e sem estores também é diminuta, ainda que com estores a temperatura seja ligeiramente superior, como mostra a figura 4.11.

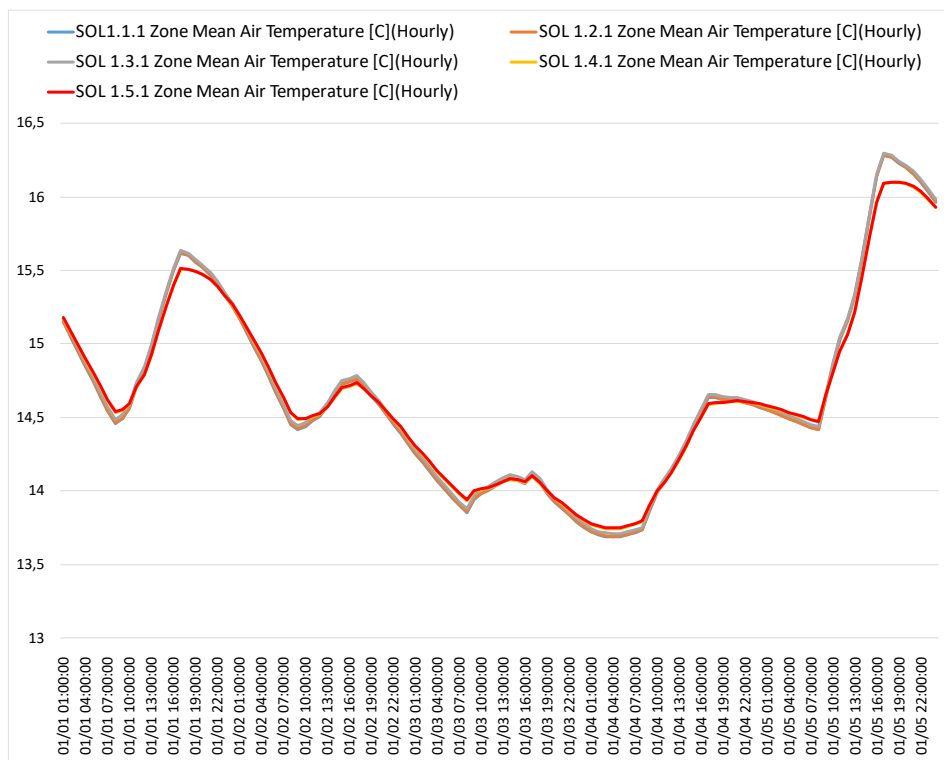


Figura 4.10 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 6)

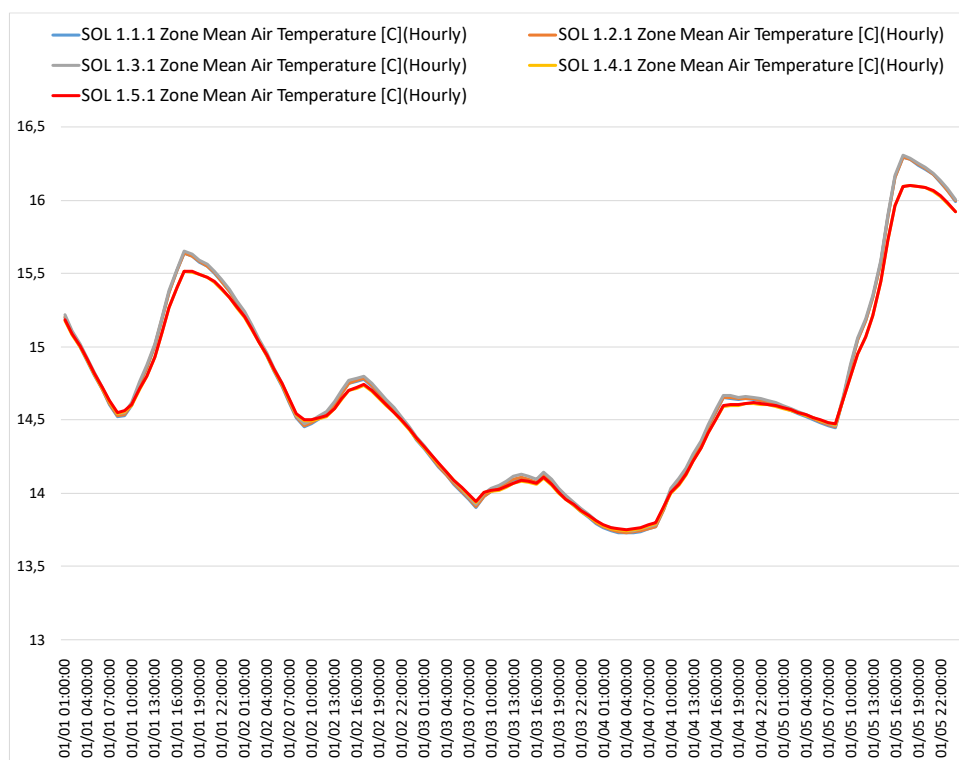


Figura 4.11 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 6)

Nas figuras 4.12 e 4.13, referentes à taxa de calor, podemos constatar que existe uma diferença notável entre as diferentes soluções, nomeadamente entre as soluções com um vidro de baixo factor solar. Como esperado, estas soluções têm menos ganhos solares. Os valores de pico rondam os 120 W/m² nas soluções sem baixo emissivo, enquanto que nas outras têm valores na ordem dos 80 W/m², o que demonstra uma diminuição de cerca de 40%.

Novamente as diferenças com e sem estores são pouco significativas. Como já foi referido anteriormente, na estação de inverno os estores acabam por ter uma influência menor do que no caso da estação de arrefecimento.

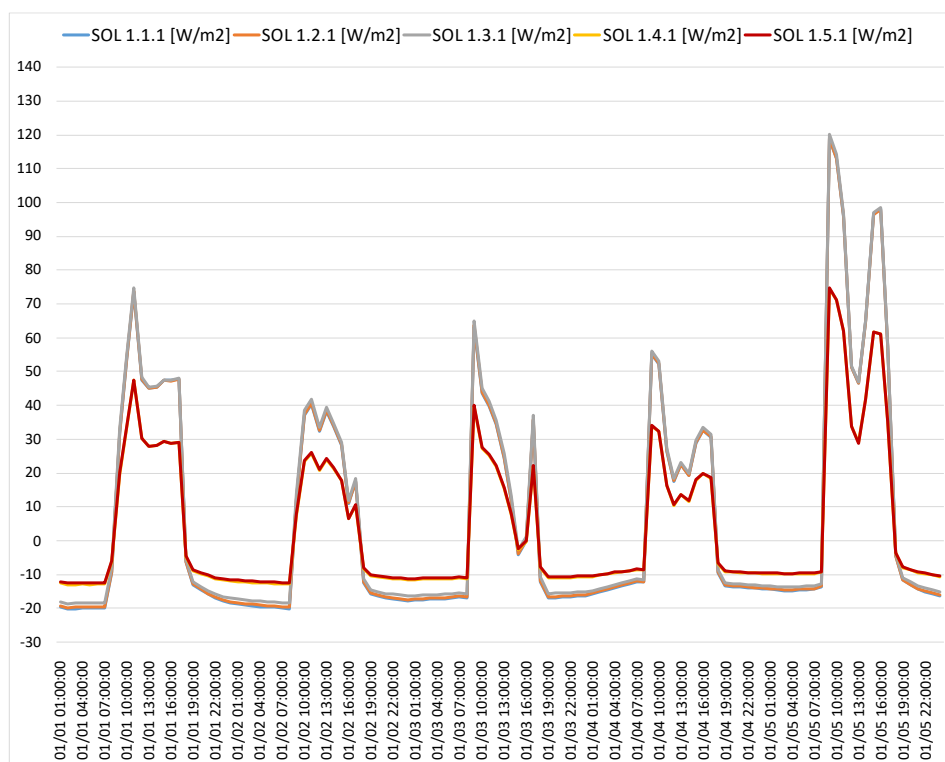


Figura 4.12 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores (solução 6)

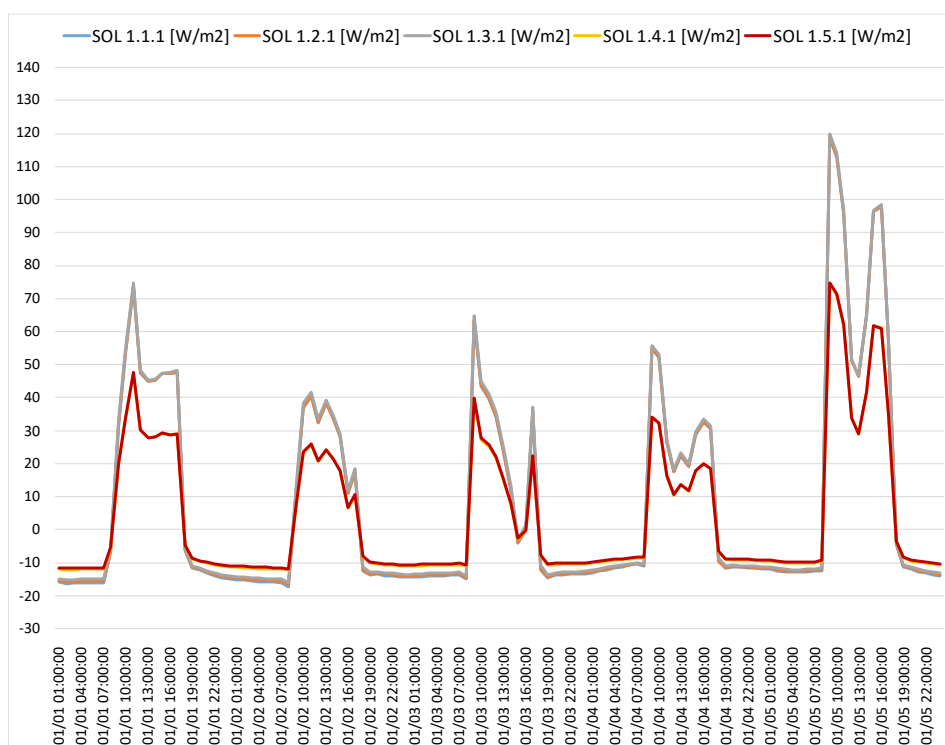


Figura 4.13 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores (solução 6)

Através da tabela 4.3 é facilmente perceptível a diferença que existe entre as primeiras três soluções e as duas últimas, o que explica os gráficos apresentados anteriormente.

Tabela 4.3 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Janeiro (solução 6)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	769,21	956,75	187,54
SOL 1.1.2 [W/m ²]	796,61	987,52	190,91
SOL 1.1.3 [W/m ²]	900,70	1059,24	158,54
SOL 1.1.4 [W/m ²]	438,57	459,51	20,94
SOL 1.1.5 [W/m ²]	467,46	491,24	23,78

b) Estação de Arrefecimento

Para este caso é possível evidenciar novamente uma diferença de temperatura, ainda que ligeira, entre as soluções adoptadas. Existe uma diferença de aproximadamente meio grau centigrado entre as soluções com baixo factor solar, como comprova a figura 4.14. Por outro lado, existe também essa diferença entre as soluções com e sem estores. As temperaturas mais altas são sempre das soluções iniciais, como seria previsível. Podemos observar isso na figura 4.15.

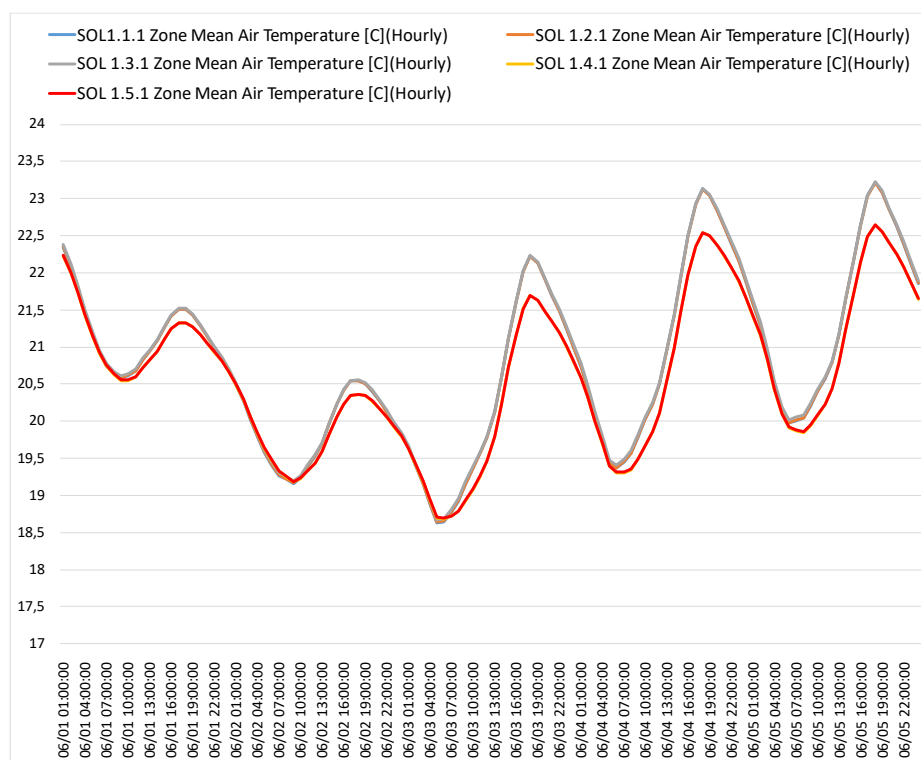


Figura 4.14 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 6)

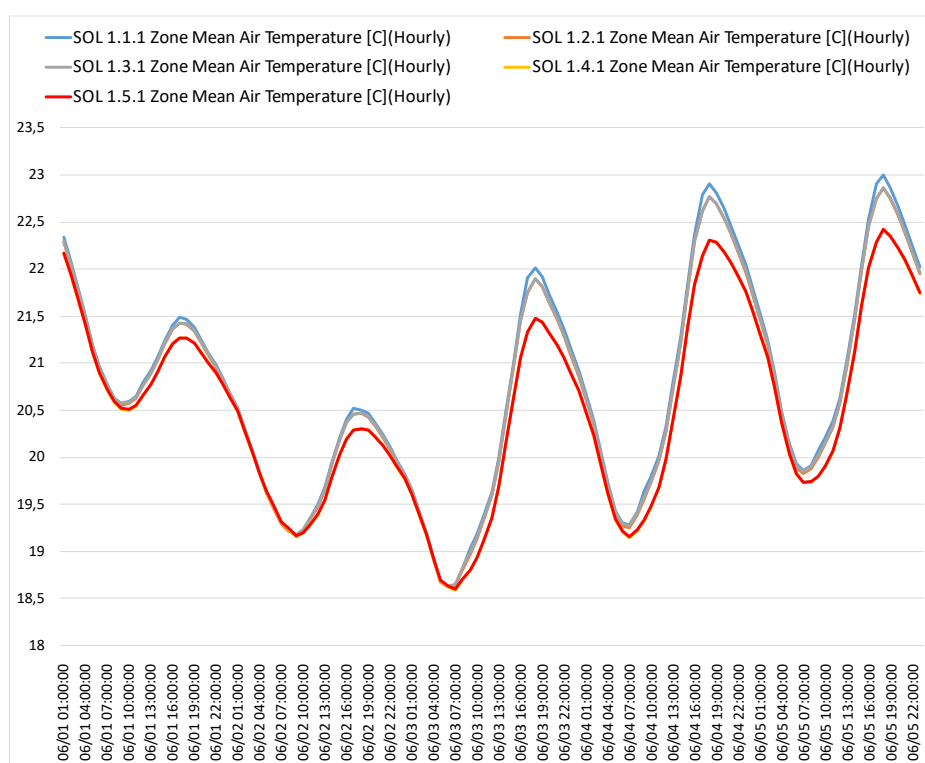


Figura 4.15 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 6)

De seguida temos os resultados para a taxa total de calor transferida. Na figura 4.16 é possível notar uma diferença considerável entre as soluções que contemplam o vidro com baixo emissivo em comparação com as restantes. Em média os valores das restantes aproximam-se dos 240 W/m². Isto verifica-se por volta das 17h que é quando há uma maior incidência solar. Nas soluções com baixo emissivo esses valores rondam os 140 W/m², uma diferença de cerca 100 W/m² entre as diferentes soluções.

A análise entre as soluções com e sem a presença de estores também revela diferenças. Neste caso constata-se que há uma diminuição do valor médio máximo devido ao horário definido para o funcionamento dos estores, tal como mostra a figura 4.17. Nas soluções sem baixo emissivo há uma diminuição de cerca de 40 W/m². Neste caso o pico é por volta das 8h, que é quando se admite que os estores fecham, daí também ter uma queda abrupta de seguida. Por volta das 16h volta a subir, apesar dos estores fecharem às 15h e 30 minutos. Relativamente às soluções com baixo emissivo nota-se também um decréscimo, ainda assim não tão significativo quanto o das outras soluções.

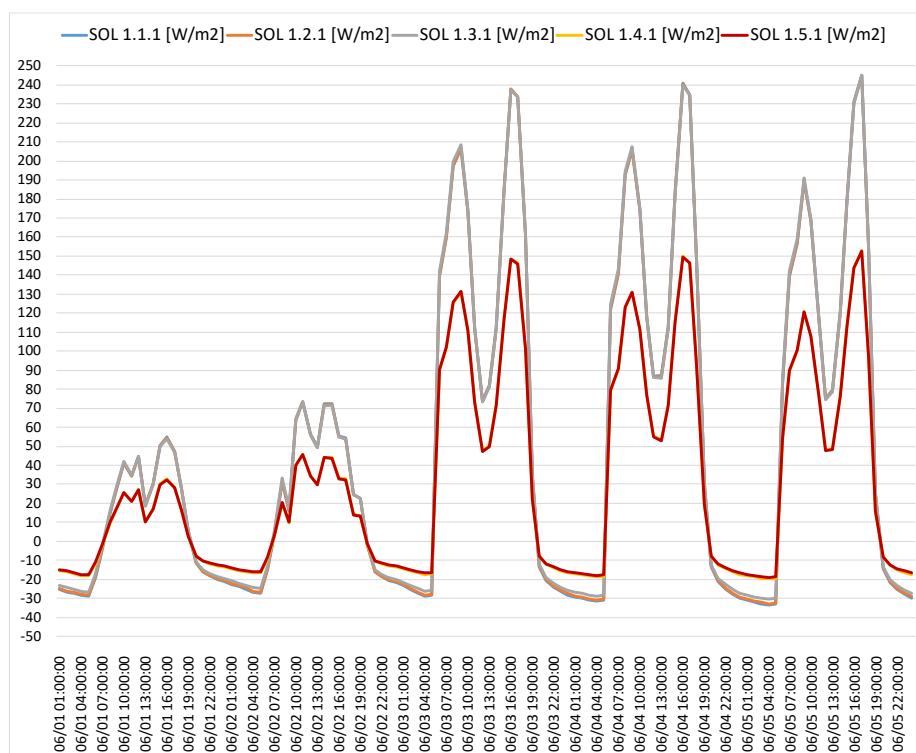


Figura 4.16 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores (solução 6)

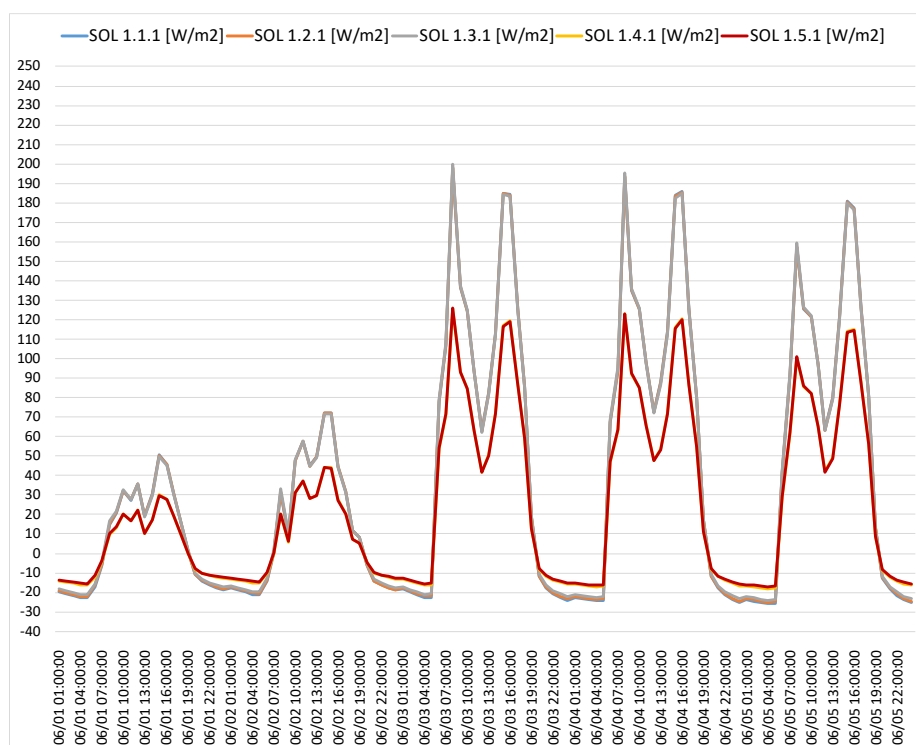


Figura 4.17 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores (solução 6)

Na tabela 4.4 está evidenciada a diferença referida anteriormente, com as duas últimas soluções com valores muito próximos entre elas, e resultados significativamente diferentes das restantes.

Tabela 4.4 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Junho (solução 6)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	5879,89	4421,11	-1458,77
SOL 1.1.2 [W/m ²]	5904,24	4446,72	-1457,52
SOL 1.1.3 [W/m ²]	6014,23	4498,12	-1516,11
SOL 1.1.4 [W/m ²]	3736,26	2837,49	-898,76
SOL 1.1.5 [W/m ²]	3759,77	2862,19	-897,58

4.1.2 Simulação com orientação solar modificada - rotação 45°

Neste subcapítulo serão avaliadas as mesmas situações que no anterior alterando a posição do edifício em relação ao Norte, como se ilustra na figura 4.18.

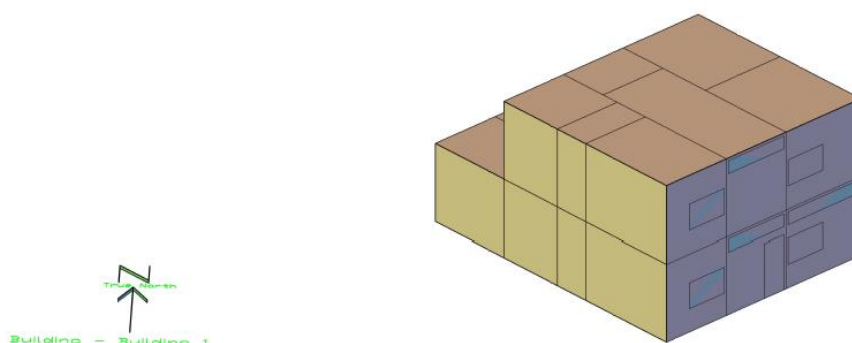


Figura 4.18 - Orientação solar modificada - rotação 45°

I. Variação de isolamento térmico com o mesmo vão envidraçado (Solução 1):

a) Estação de Aquecimento

A partir da figura 4.19 verifica-se que as temperaturas interiores seguem a mesma tendência da situação inicialmente exposta, isto é, as temperaturas aumentam com o aumento dos níveis de isolamento térmico. Nota-se também um pequeno aumento na situação em que os estores estão em funcionamento, como mostra a figura 4.20. Comparando estes valores com os da situação inicial, verifica-se um aumento das temperaturas, o que permite concluir que, pelo menos na estação de aquecimento, a solução é mais eficaz.

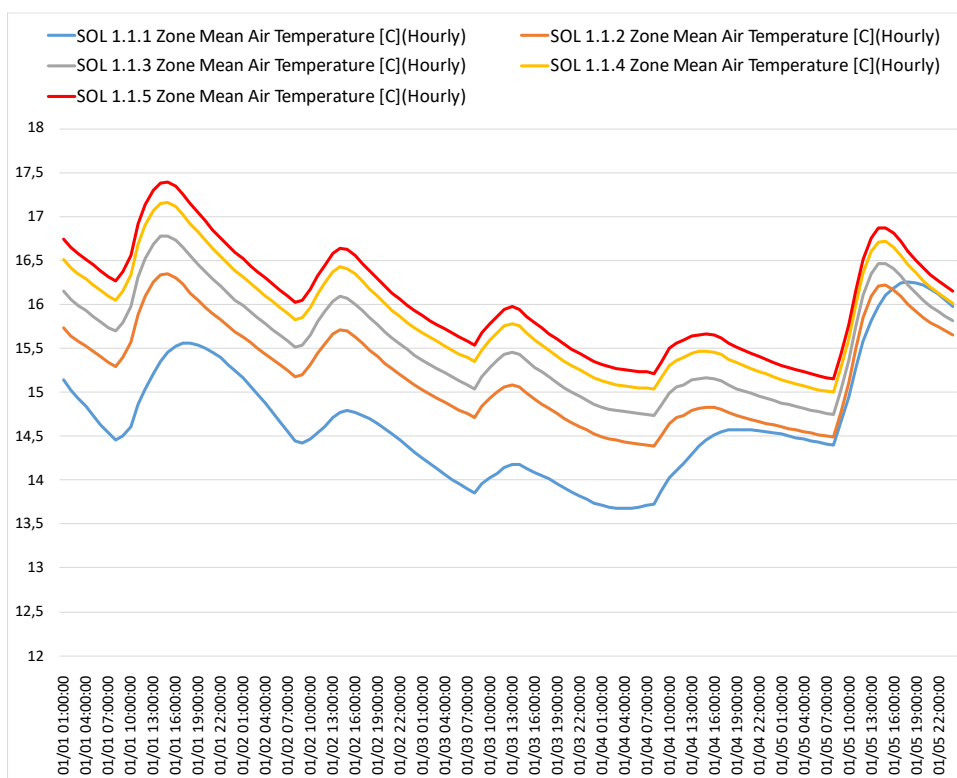


Figura 4.19 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)

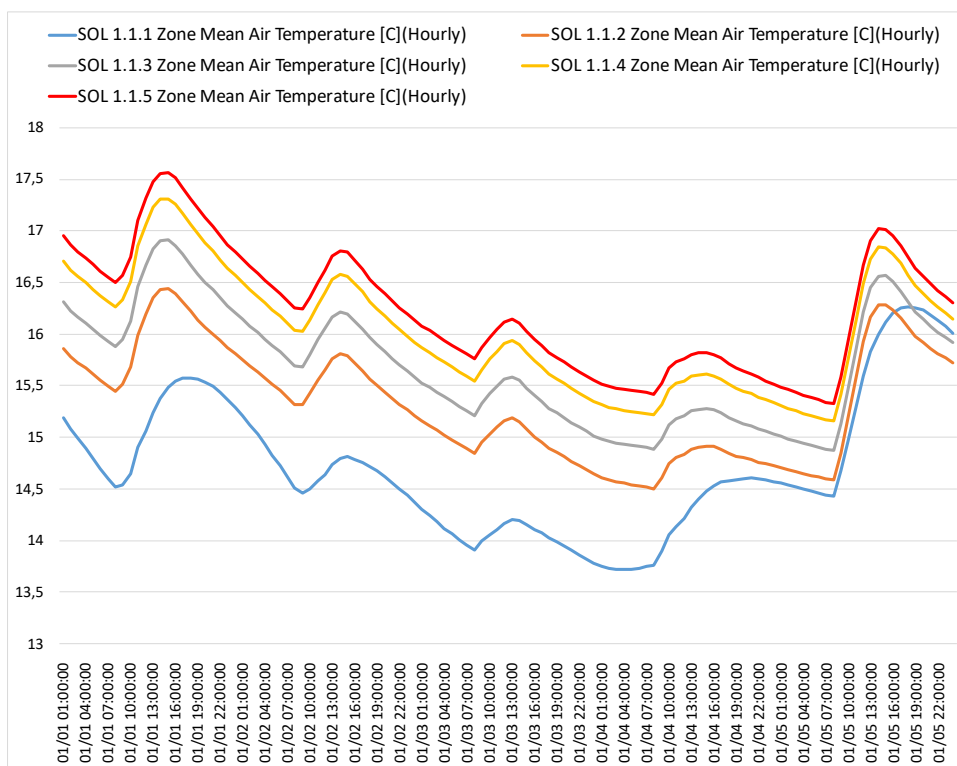


Figura 4.20 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)

A análise das figuras 4.21 e 4.22 mostra que, as diferenças são pouco significativas entre a solução com estores e sem estores, tal como previsto. A principal diferença está no comportamento apresentado nos gráficos, relativamente às soluções sem rotação de 45°. Neste caso, existe apenas um pico por volta das 11h.; situação que se deve ao facto da trajetória do sol no inverno ser mais baixa, incidindo em todos os vãos ao longo do dia. Veremos mais à frente qual o comportamento na estação de arrefecimento.

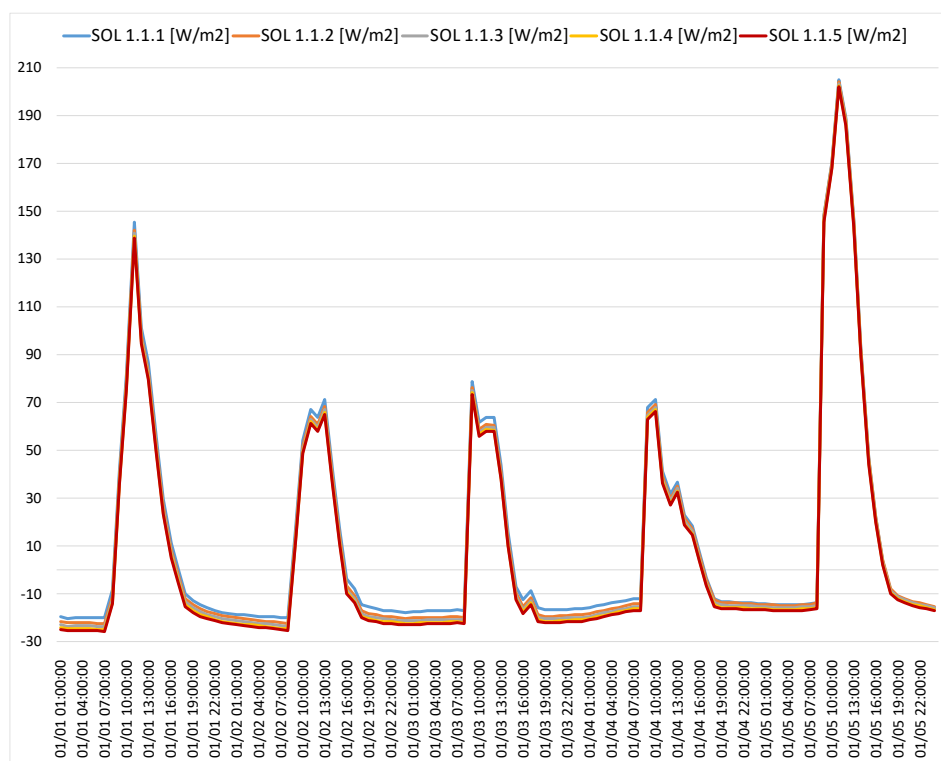


Figura 4.21 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)

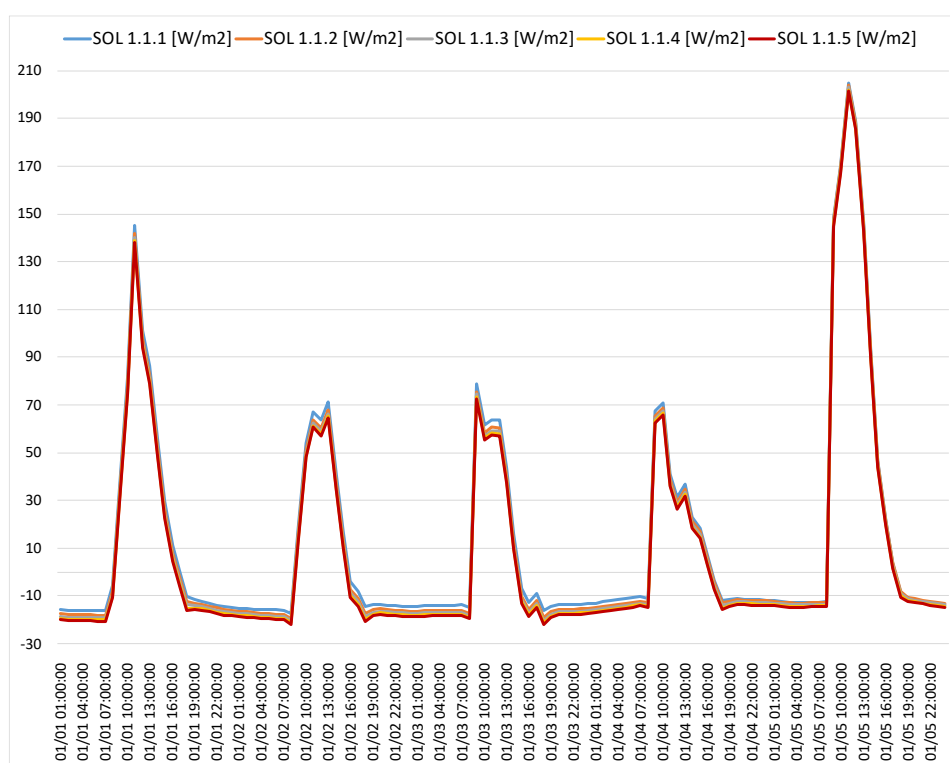


Figura 4.22 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)

Na tabela 4.5 estão apresentados os valores anteriormente representados graficamente e onde se confirma que existe uma diferença pouco substancial entre as diferentes soluções.

Tabela 4.5 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada (solução 1)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m²]	1282,62	1469,73	187,11
SOL 1.1.2 [W/m²]	1067,20	1260,81	193,61
SOL 1.1.3 [W/m²]	934,24	1138,17	203,93
SOL 1.1.4 [W/m²]	812,37	1026,44	214,07
SOL 1.1.5 [W/m²]	736,17	956,28	220,11

b) Estação de Arrefecimento

Como é possível observar na figura 4.23, há uma diminuição da temperatura interior quando os estores se encontram em funcionamento, comparativamente aos valores apresentados na figura 4.24. Existe igualmente uma subida das temperaturas à medida que o isolamento também aumenta, pois embora os ganhos sejam sempre os mesmos, com o aumento

do isolamento térmico o calor permanece mais tempo no interior. Isto explica o porquê de a solução sem isolamento apresentar sempre temperaturas mais baixas.

Comparativamente à solução com orientação solar inicial, também é possível notar um decréscimo das temperaturas, o que indica que esta solução também é mais favorável na estação de arrefecimento.

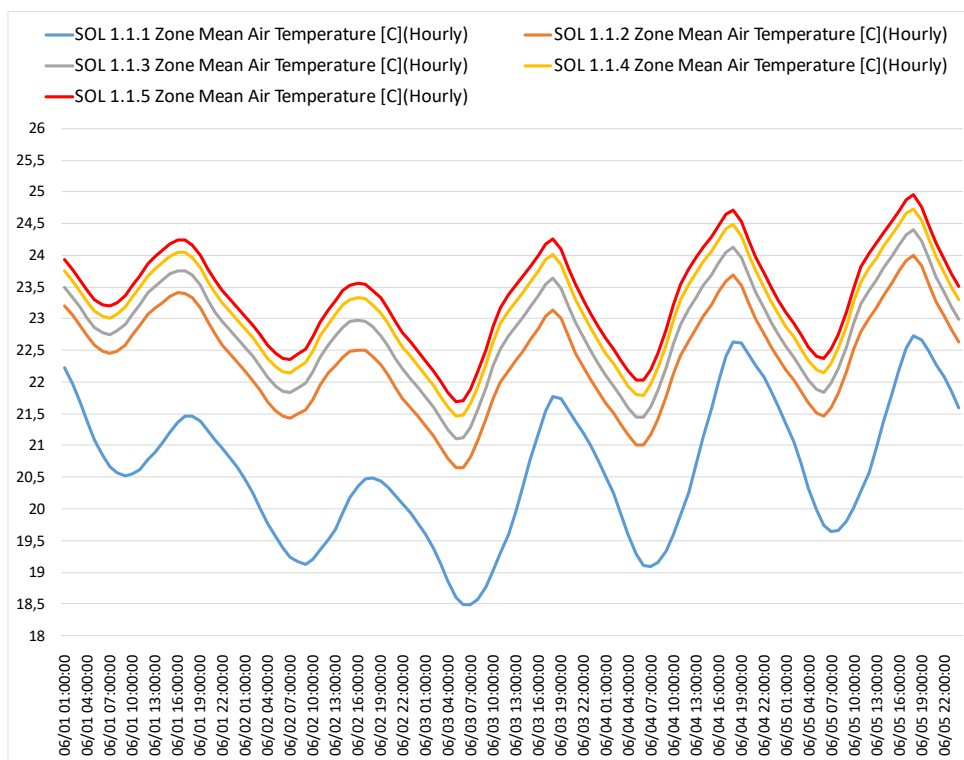


Figura 4.23 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)

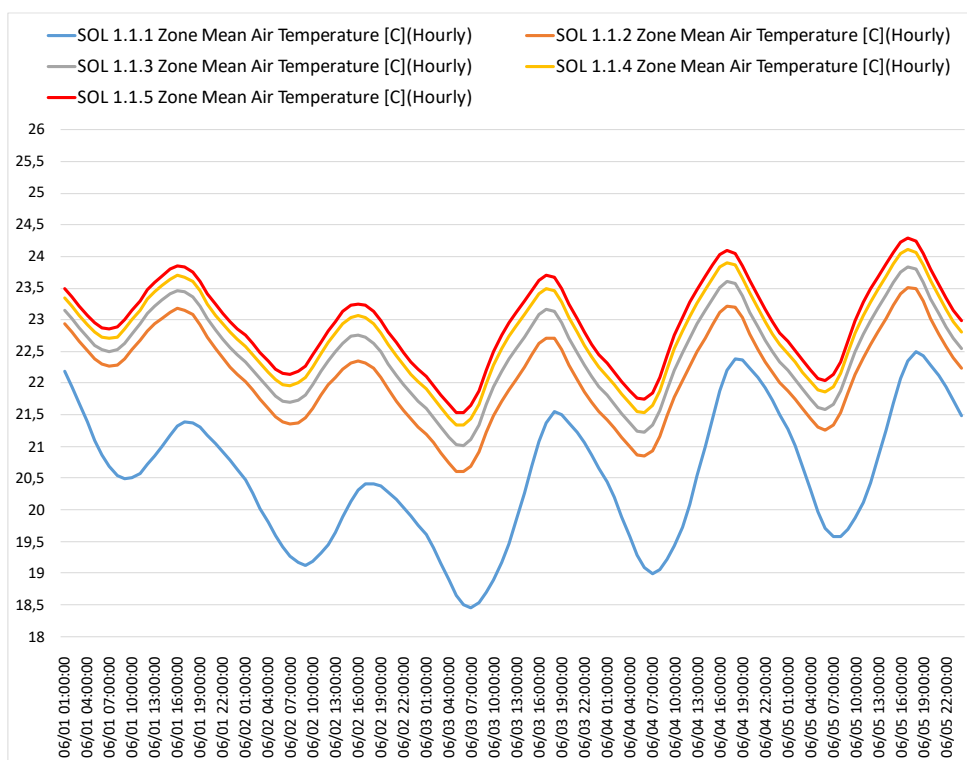


Figura 4.24 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)

De seguida apresentam-se as figuras 4.25 e 4.26, com os gráficos com a soma de perdas e ganhos para esta situação. Existe uma pequena diferença entre as várias soluções. Apresenta picos por volta das 10h00 e das 17h00 que será quando o sol começa a atingir os vãos envidraçados. Na solução da figura 3.50 o valor máximo ronda em média os 170 W/m², enquanto que na solução da figura 3.51 ronda os 120 W/m², o que é uma diferença considerável.

Tanto no período de aquecimento, como no período de arrefecimento, esta solução com rotação de 45° apresenta ganhos maiores no inverno e menores no verão, ou seja, favorece ambos os períodos, tornando-a assim numa boa solução.

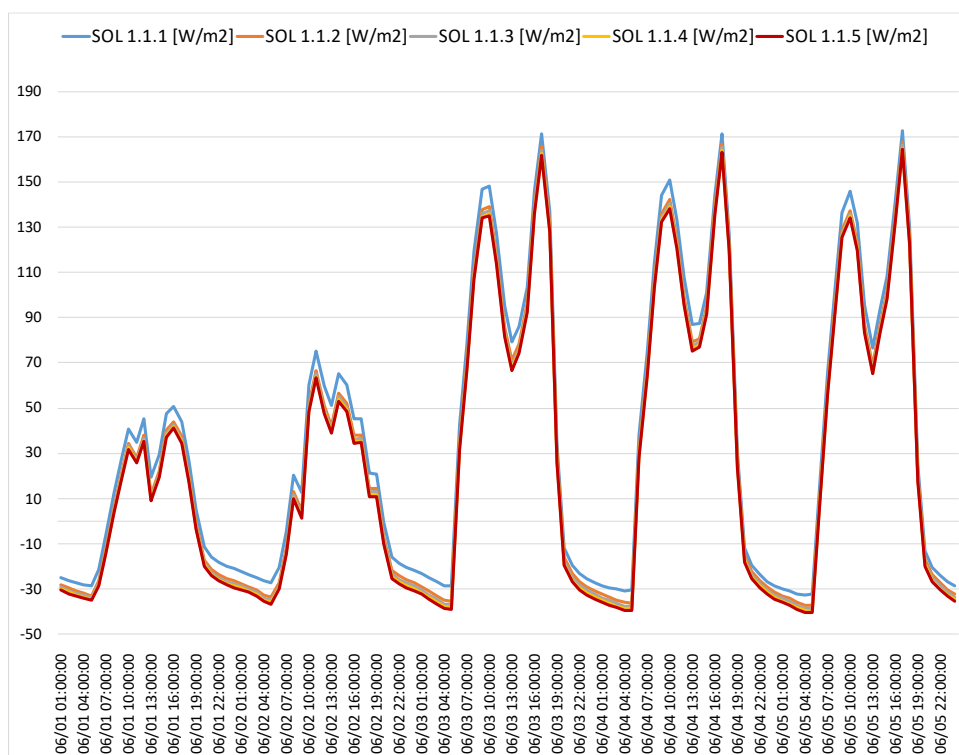


Figura 4.25 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 1)

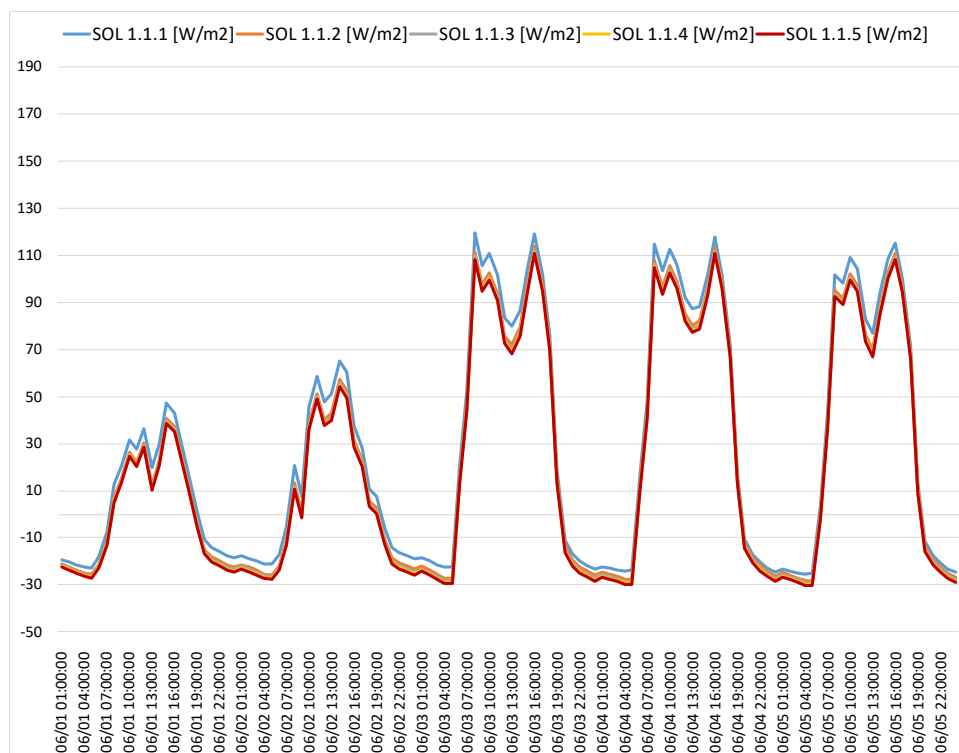


Figura 4.26 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 1)

Na tabela 4.6 é possível constatar a diminuição dos ganhos e perdas das soluções com estores relativamente às sem estores, o que explica os valores apresentados anteriormente.

Tabela 4.6 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada (solução 1)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	4132,44	3202,79	-929,65
SOL 1.1.2 [W/m ²]	3416,38	2649,69	-766,69
SOL 1.1.3 [W/m ²]	3245,64	2524,92	-720,71
SOL 1.1.4 [W/m ²]	3110,42	2425,73	-684,69
SOL 1.1.5 [W/m ²]	3020,61	2360,17	-660,45

II. Variação do tipo de vão envidraçado sem isolamento térmico (Solução 6):

a) Estação de Aquecimento

Neste caso as temperaturas voltam a apresentar valores com diferenças pouco expressivas, não sendo muito diferentes da simulação sem rotação, tal como se pode observar nas figuras 4.27 e 4.28. Pelo contrário, a taxa de calor transferido é um parâmetro diferenciador, como de seguida se procurará demonstrar.

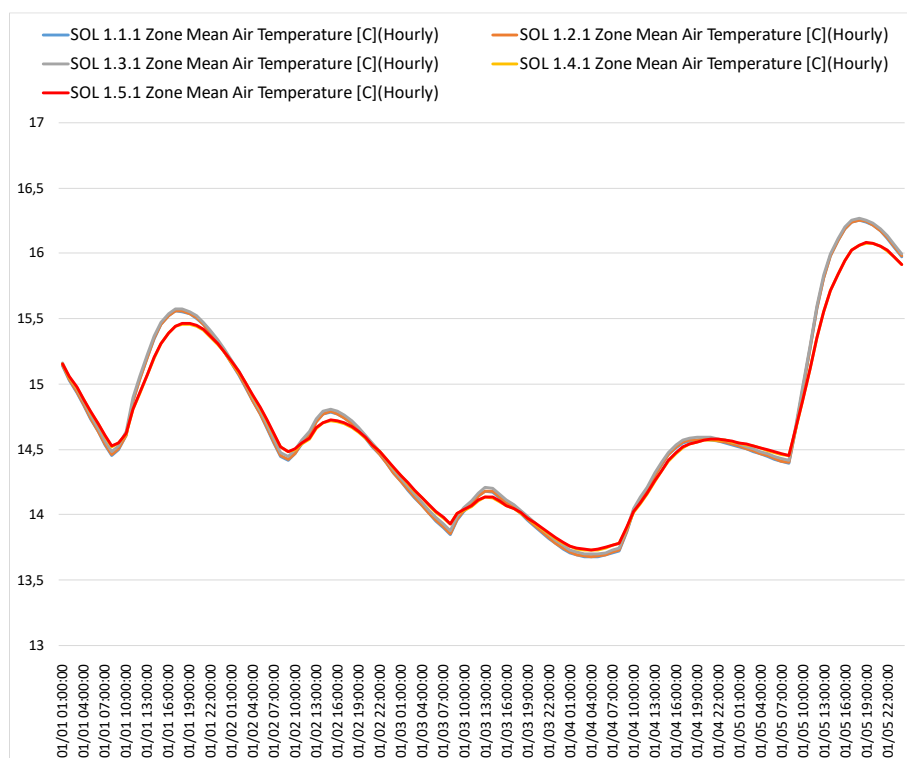


Figura 4.27 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6)

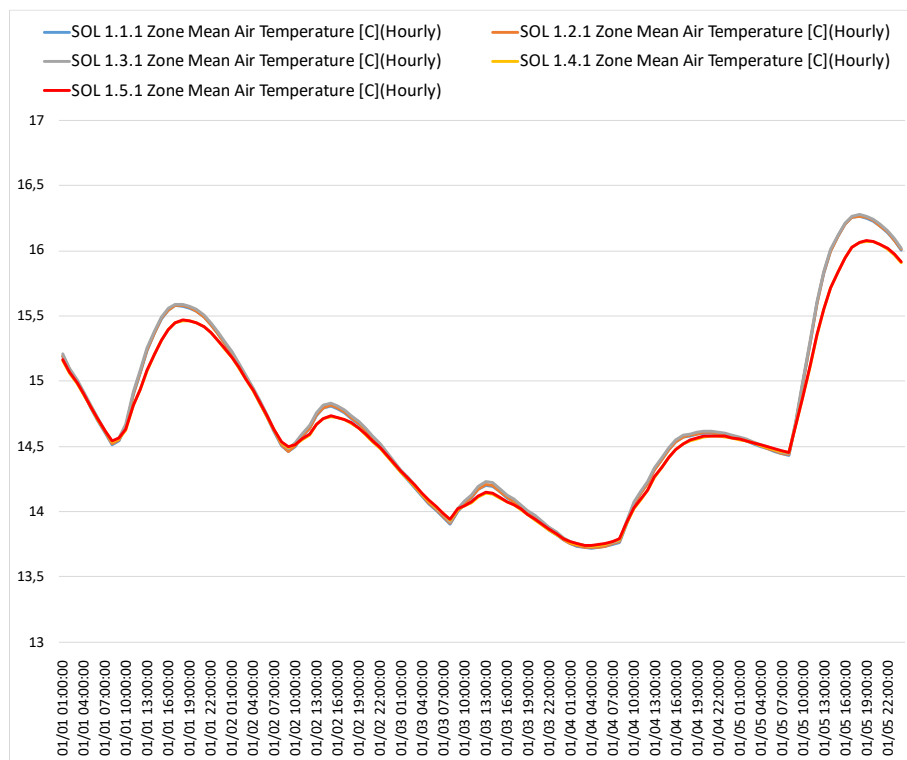


Figura 4.28 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 6)

Como foi dito anteriormente, a taxa de calor mostra diferenças mais significativas nas diferentes soluções. Os valores de pico rondam em média os 200 W/m² nas soluções sem baixo emissivo, e entre os 130 W/m² com baixo emissivo, ou seja, uma diferença de cerca de 40 %. Este facto pode ser observado tanto na figura 4.29 como na 4.30. Uma vez mais nota-se uma diferença mais acentuada entre soluções de vãos envidraçados com baixo emissivo, tal como seria de esperar pois estas soluções proporcionam taxas de troca de calor mais baixas.

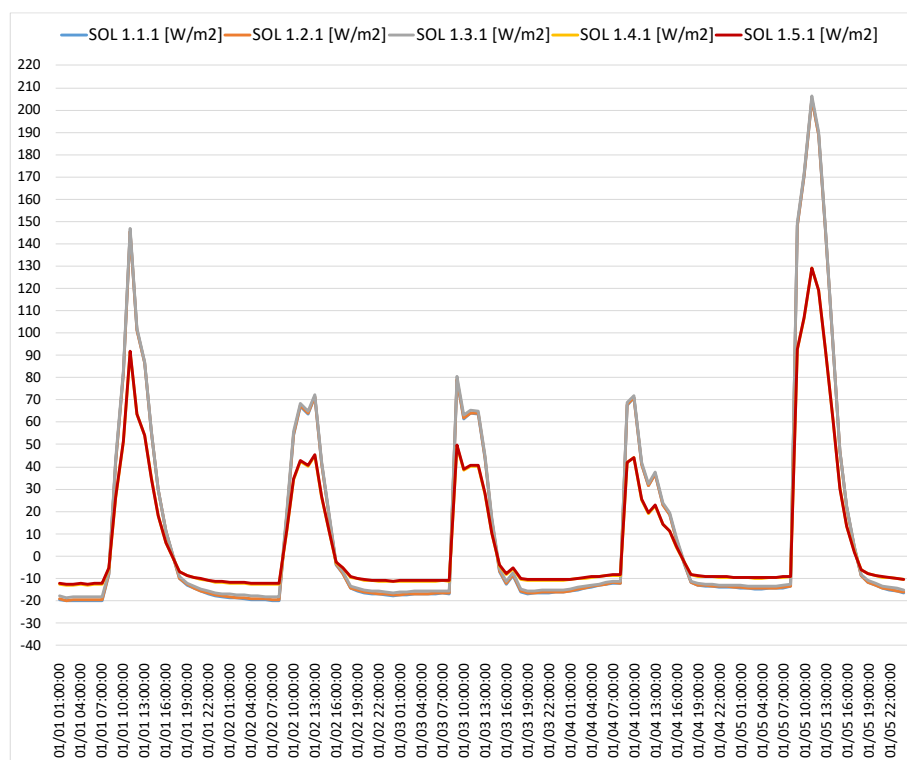


Figura 4.29 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6)

As diferenças entre soluções com e sem estores são pouco significativas, mas ainda assim superiores com os elementos de proteção solar activos. Comparativamente à solução inicial verifica-se um aumento da taxa de calor dos 120 W/m² para os 200 W/m² nas soluções com factor solar mais elevado, e dos 80 W/m² para os 130 W/m² nas restantes que, mais uma vez, permite concluir que esta orientação traz mais benefícios em ambas as estações.

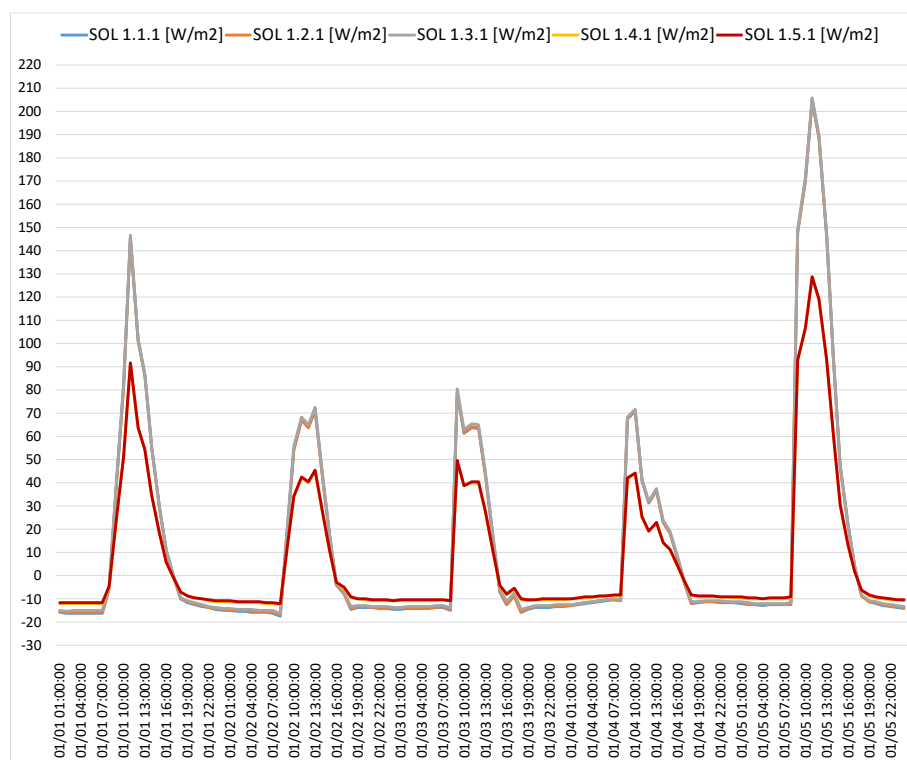


Figura 4.30 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores e com orientação solar modificada (solução 6)

Na tabela 4.7 constata-se facilmente as diferenças entre soluções com factor solar mais baixo e as restantes.

Tabela 4.7 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada (solução 6)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m²]	1282,62	1469,73	187,11
SOL 1.1.2 [W/m²]	1310,42	1500,90	190,48
SOL 1.1.3 [W/m²]	1416,63	1574,79	158,17
SOL 1.1.4 [W/m²]	761,09	781,73	20,63
SOL 1.1.5 [W/m²]	790,19	813,67	23,47

b) Estação de Arrefecimento

Neste caso as temperaturas interiores voltam a apresentar valores muito idênticos. No entanto, as temperaturas das soluções com baixo emissivo apresentam temperaturas um pouco mais baixas, como se pode observar nas figuras 4.31 e 4.32. Esta solução apresenta temperaturas um pouco mais baixas em relação à solução inicial, ainda que pouco significativas.

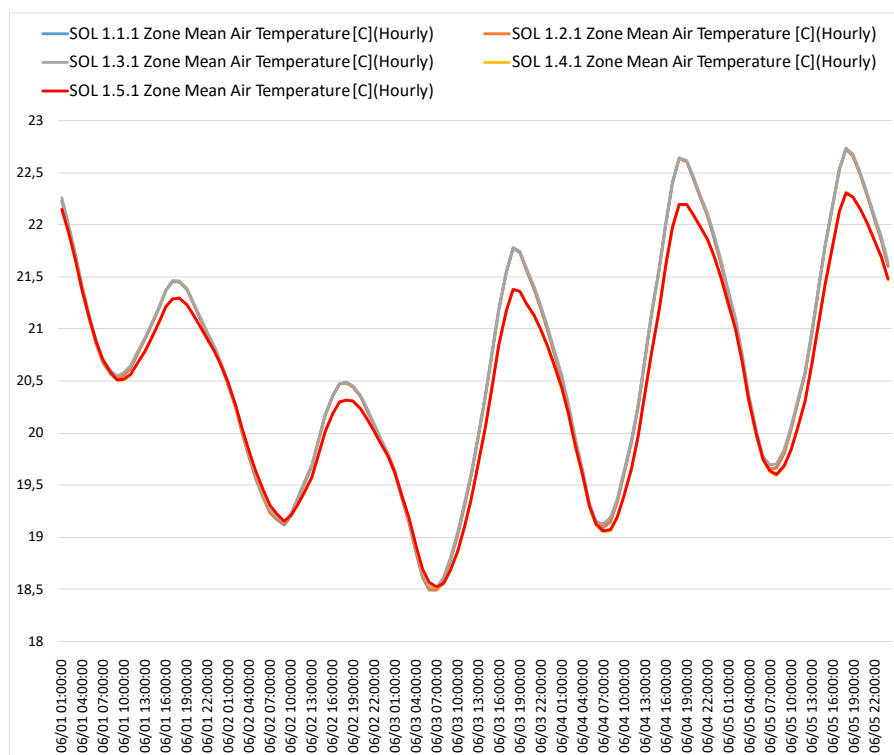


Figura 4.31 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6)

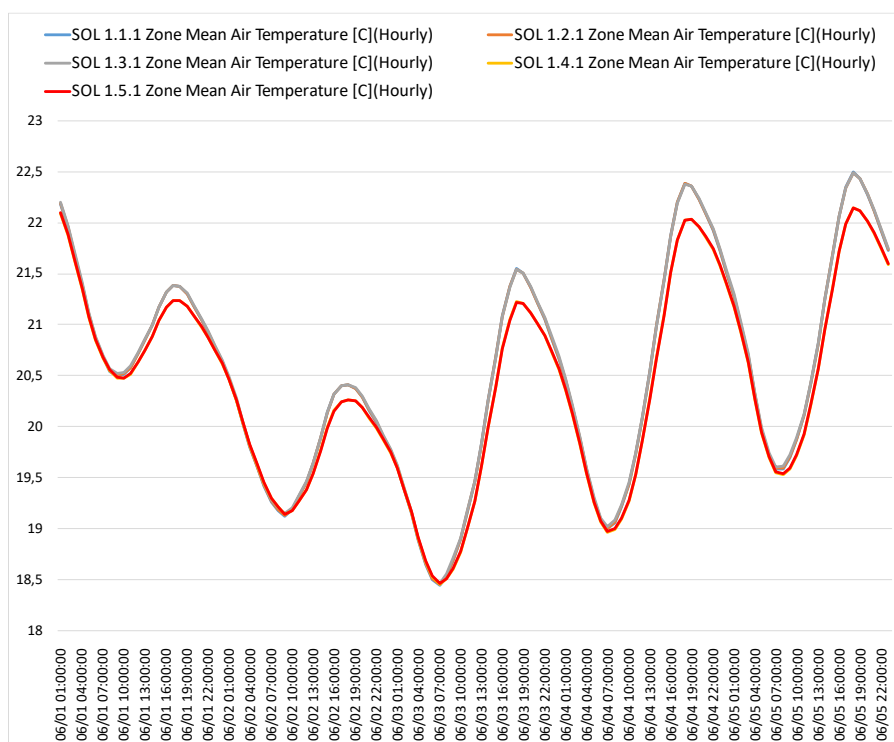


Figura 4.32- Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 6)

Como se pode observar nas figuras 4.33 e 4.34, existe uma diferença de valores nas soluções com e sem baixo emissivo, mas também com e sem estores, assinalando-se um decréscimo de cerca de 20% no período em que os estores estão fechados. Por outro lado, os valores máximos de pico na primeira solução rondam os 170 W/m² enquanto que na segunda se aproximam dos 120 W/m².

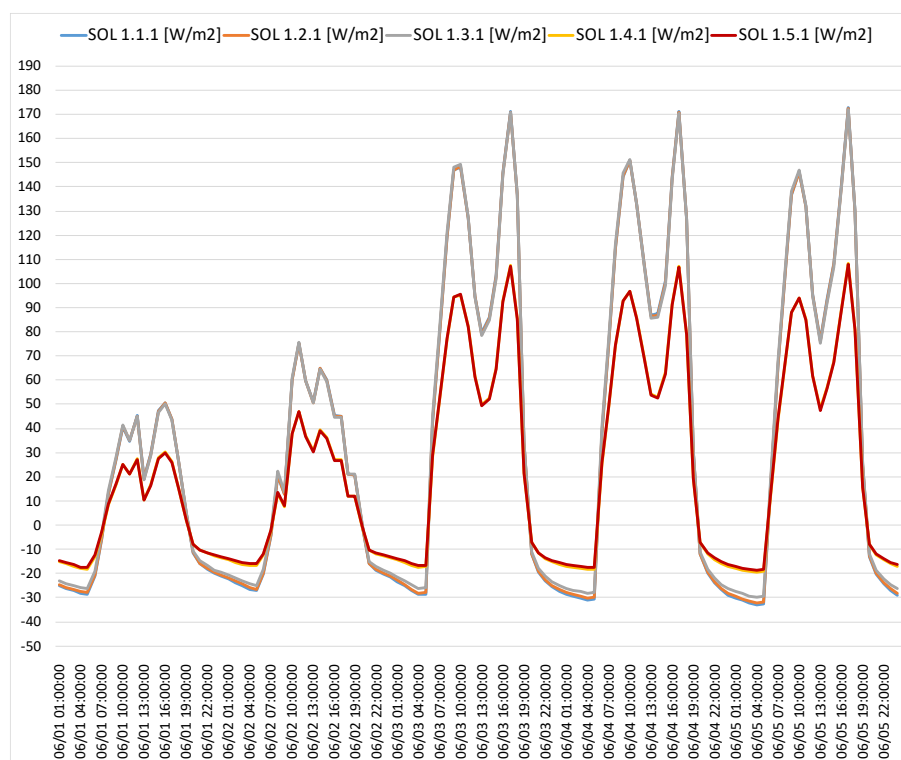


Figura 4.33 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores e com orientação solar modificada (solução 6)

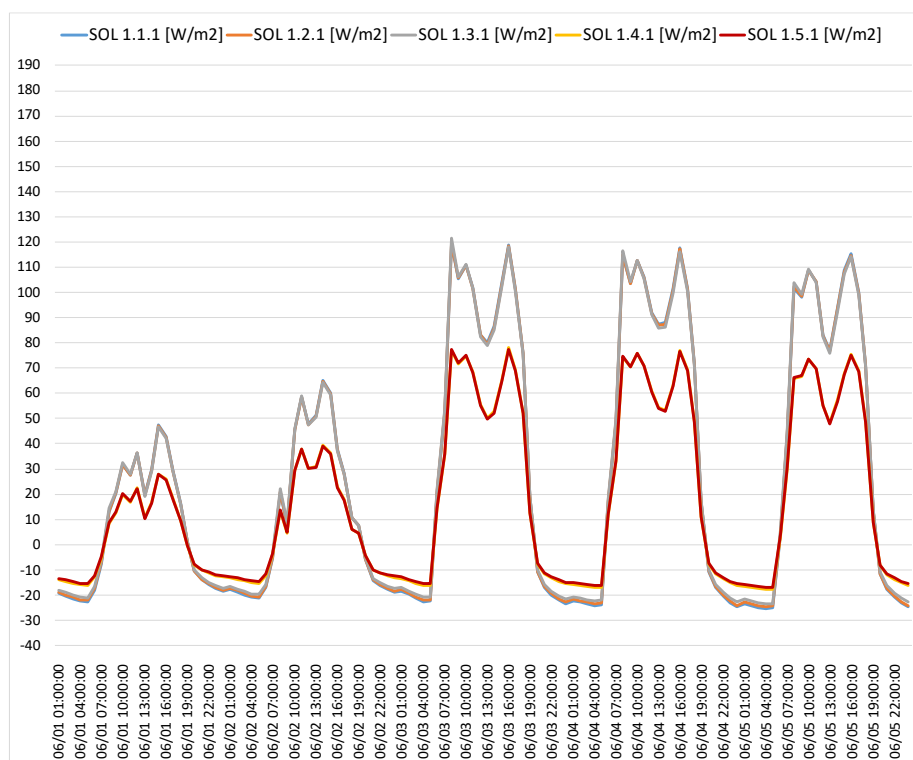


Figura 4.34 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores e com orientação solar modificada (solução 6)

Na tabela 4.8 estão evidenciadas as diferenças entre as soluções, onde se destacam as duas últimas, que apresentam valores quase metade abaixo das restantes

Tabela 4.8 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada (solução 6)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m²]	4132,44	3202,79	-929,65
SOL 1.1.2 [W/m²]	4154,34	3226,61	-927,74
SOL 1.1.3 [W/m²]	4254,25	3273,83	-980,42
SOL 1.1.4 [W/m²]	2633,94	2029,65	-604,29
SOL 1.1.5 [W/m²]	2655,62	2053,01	-602,61

4.2 Simulação com elementos fixos de sombreamento

Neste campo será feita uma simulação com os parâmetros iguais aos do subcapítulo anterior, sendo que aqui serão tidos em conta elementos fixos de sombreamento horizontais (palas).

Com esta simulação pretende-se avaliar a possibilidade de obtenção de ganhos solares no inverno e, simultaneamente, a diminuição da exposição solar no verão. Por regra só são

colocadas palas de sombreamento no quadrante Sul, uma vez que o quadrante Norte não tem incidência directa de luz solar. De igual modo, também os quadrantes Este e Oeste não são habitualmente considerados relevantes para este cálculo, pois a incidência solar é pouco significativa. No entanto, no presente trabalho optou-se por apresentar dois casos onde se avalia a eficácia e possíveis benefícios decorrentes da instalação destes elementos. No primeiro caso, com a orientação solar inicial e vãos envidraçados nos quadrantes E e W, verificou-se que as palas não representam qualquer benefício a nível de ganhos solares, nem na diminuição dos mesmos. No segundo caso, onde os vãos se situam nos quadrantes NO e SE, consideramos que apenas no quadrante SE é que as palas poderão constituir uma mais valia.

Simulação com orientação solar modificada – rotação 45°

I. Variação de isolamento térmico com o mesmo vão envidraçado (Solução 1)

a) Estação de Aquecimento

Nesta simulação pode-se observar, através das figuras 4.35 e 4.36, que os valores das temperaturas interiores se mantiveram iguais, tanto na situação com e sem estores, como comparando a simulação sem palas e com palas. Como já foi referido, tanto os elementos de sombreamento como os de proteção solar apenas apresentam resultados práticos na estação de arrefecimento.

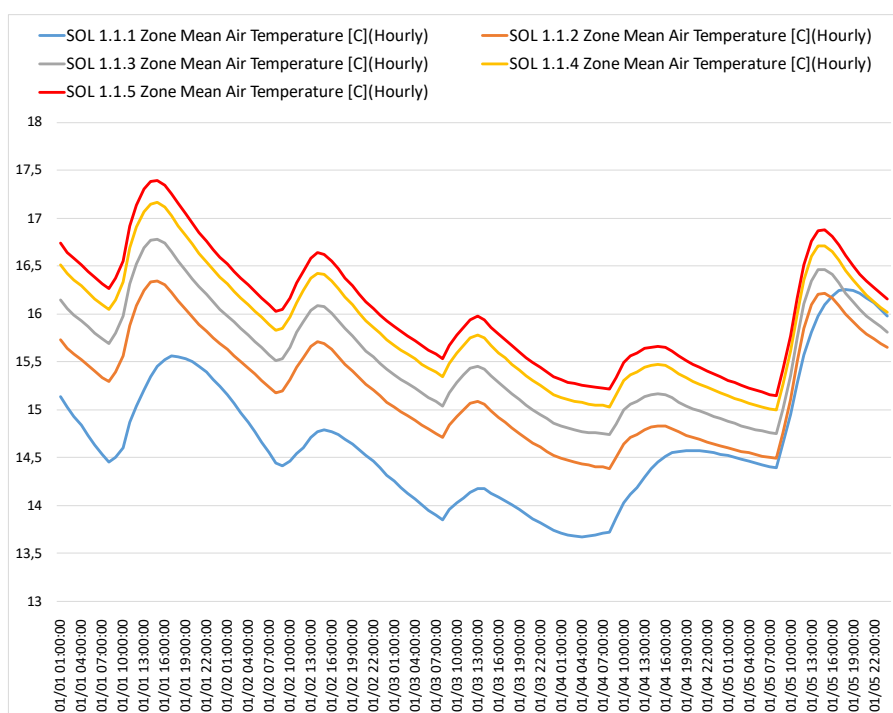


Figura 4.35 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

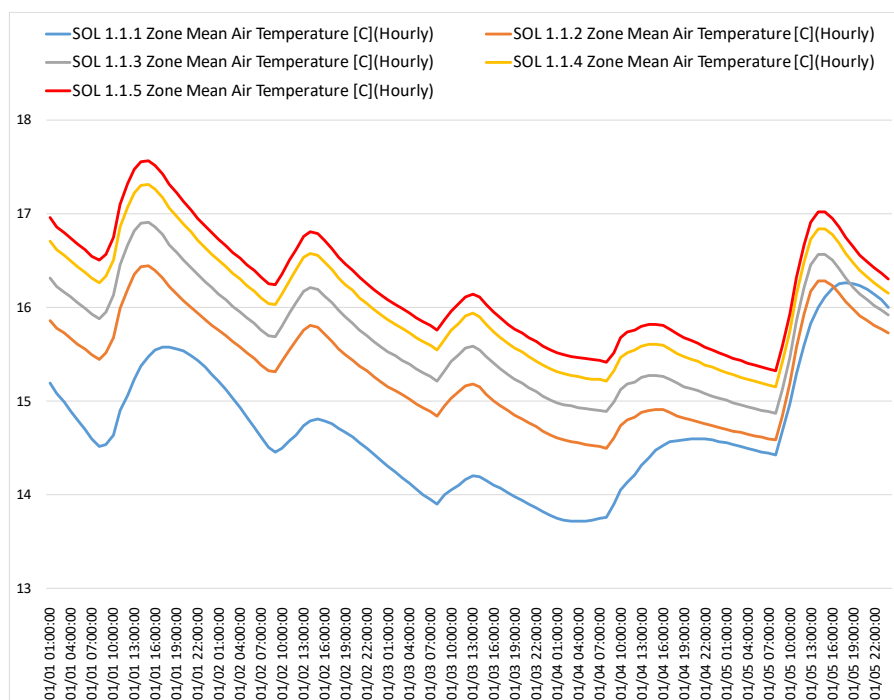


Figura 4.36 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

A análise dos gráficos (figuras 4.37 e 4.38) mostra que as diferenças quase não existem. Mesmo assim, se compararmos os valores desta solução com os valores da solução inicial verifica-se que existe um pequeno decréscimo nesta última solução; situação que encontra justificação no facto destes vãos orientados a sudeste poderem, na estação de aquecimento, beneficiar de alguma sombra devido à colocação das referidas palas.

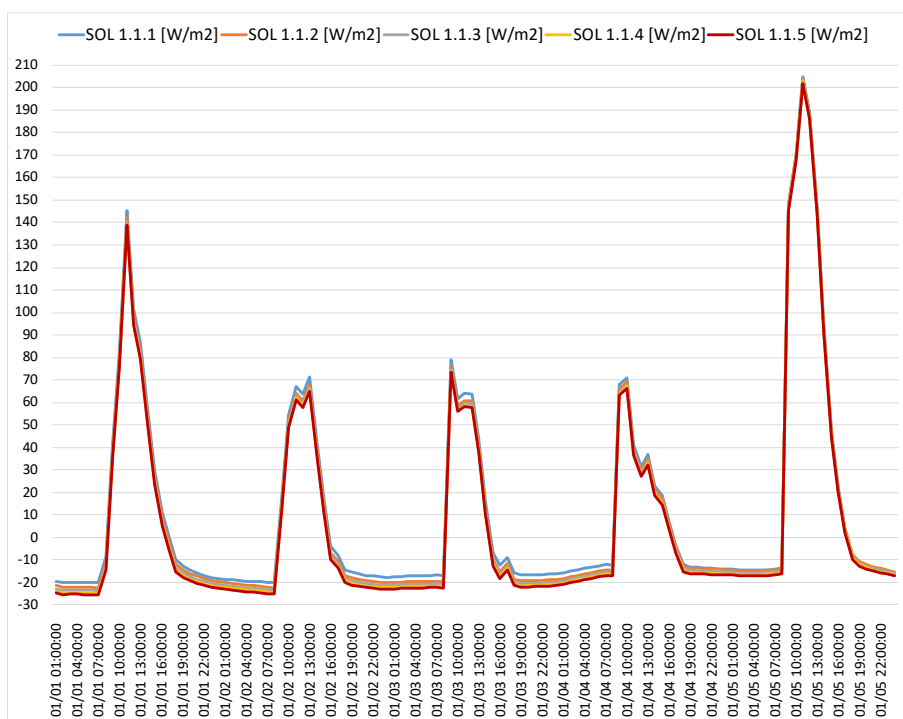


Figura 4.37 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

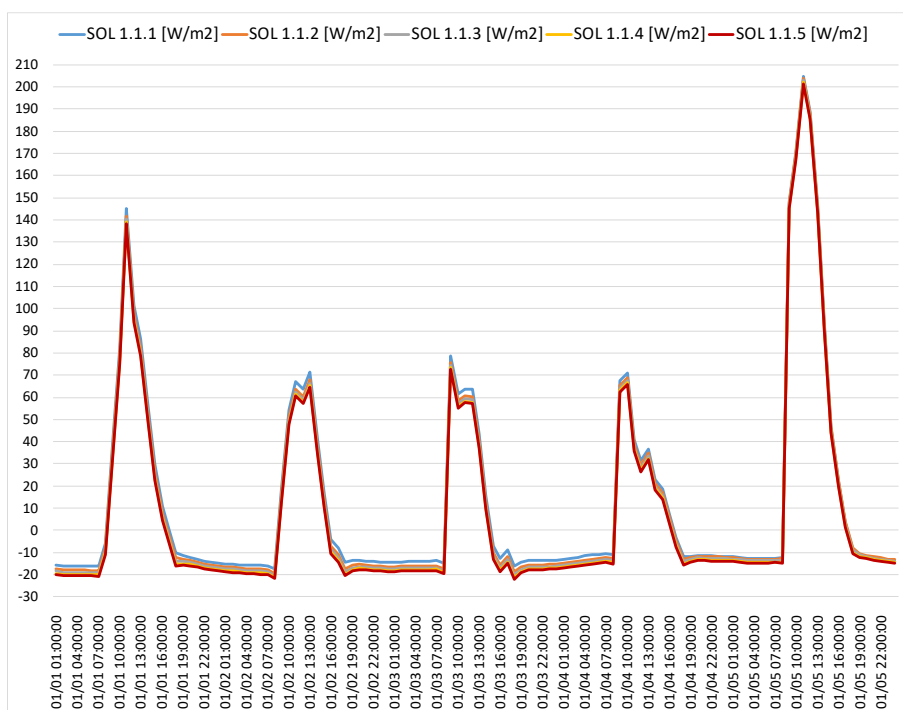


Figura 4.38 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

Como se pode verificar nos valores apresentados na tabela 4.9, as diferenças entre as soluções são pouco relevantes.

Tabela 4.9 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada e com palas (solução 1)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	1276,65	1463,75	187,10
SOL 1.1.2 [W/m ²]	1062,03	1255,49	193,46
SOL 1.1.3 [W/m ²]	929,19	1132,94	203,75
SOL 1.1.4 [W/m ²]	807,38	1021,29	213,91
SOL 1.1.5 [W/m ²]	731,24	951,16	219,92

b) Estação de Arrefecimento

Nesta estação, uma vez mais os valores da temperatura apresentados nas figuras 4.39 e 4.40 mantêm-se iguais à simulação sem palas, o que mostra a pouca importância das mesmas para este caso. Pelo contrário, na situação com estores continua a verificar-se uma diminuição das temperaturas, ainda que estas sejam iguais à simulação sem palas. Pelo que se pode concluir que as palas não produzem efeito para este caso.

No caso das taxas de calor através dos vãos envidraçados, apresentadas nas figuras 4.41 e 4.42, a diferença entre esta solução e a inicial também é muito reduzida, o que corrobora a informação anterior sobre o efeito das palas, ainda assim constata-se através da tabela 4.10 que houve uma diminuição.

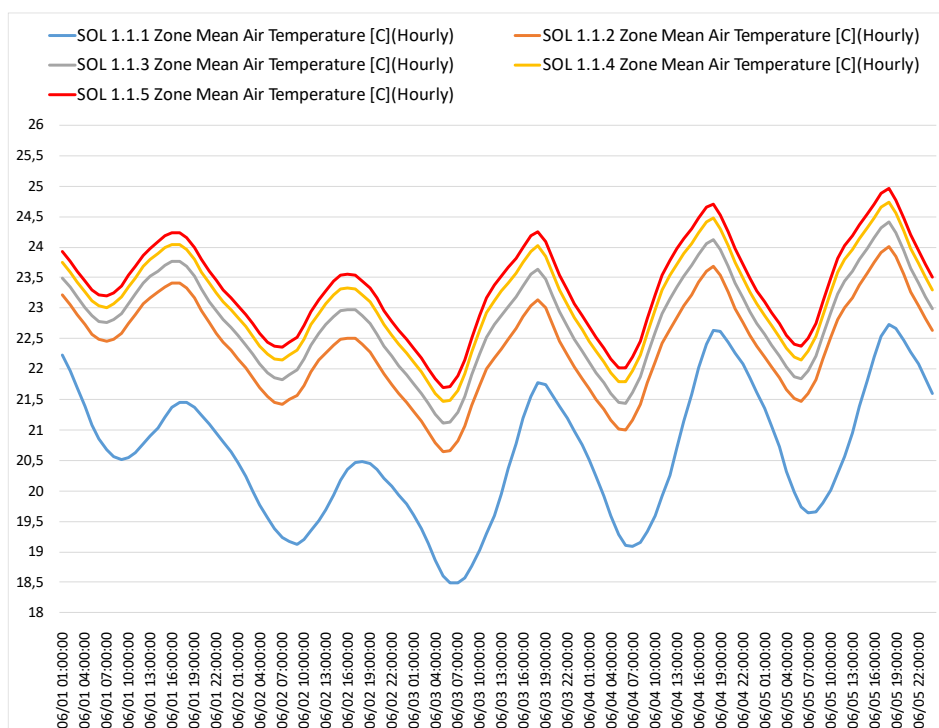


Figura 4.39 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

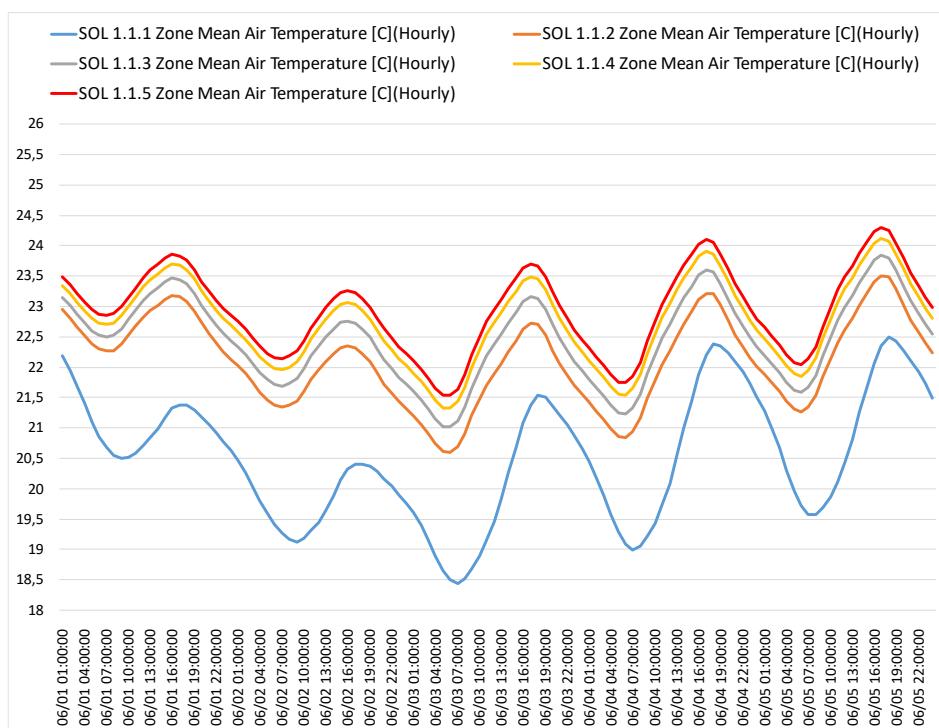


Figura 4.40 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

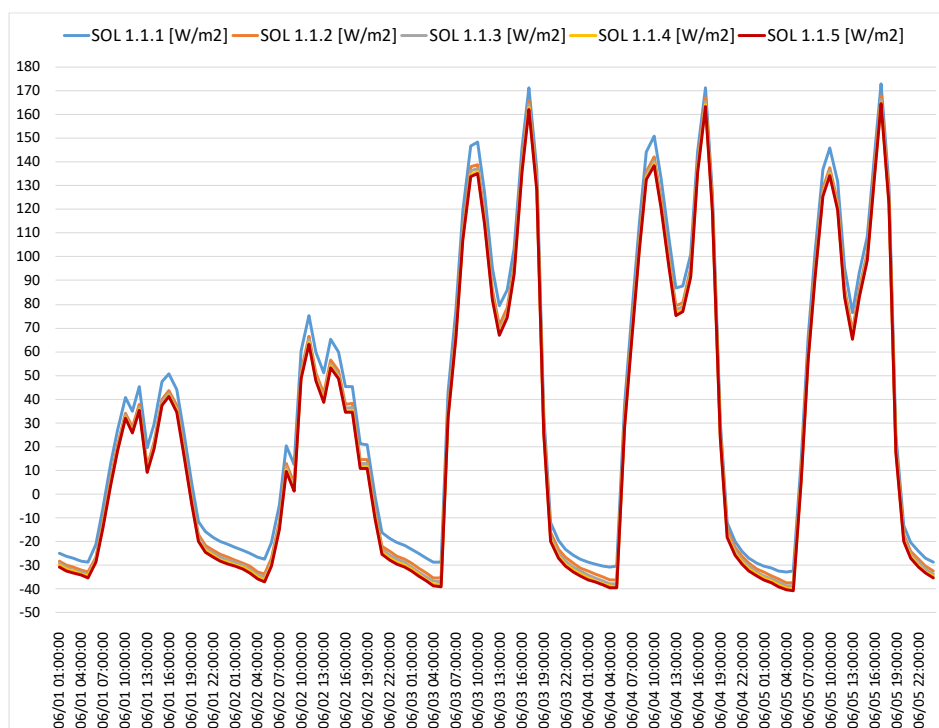


Figura 4.41 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

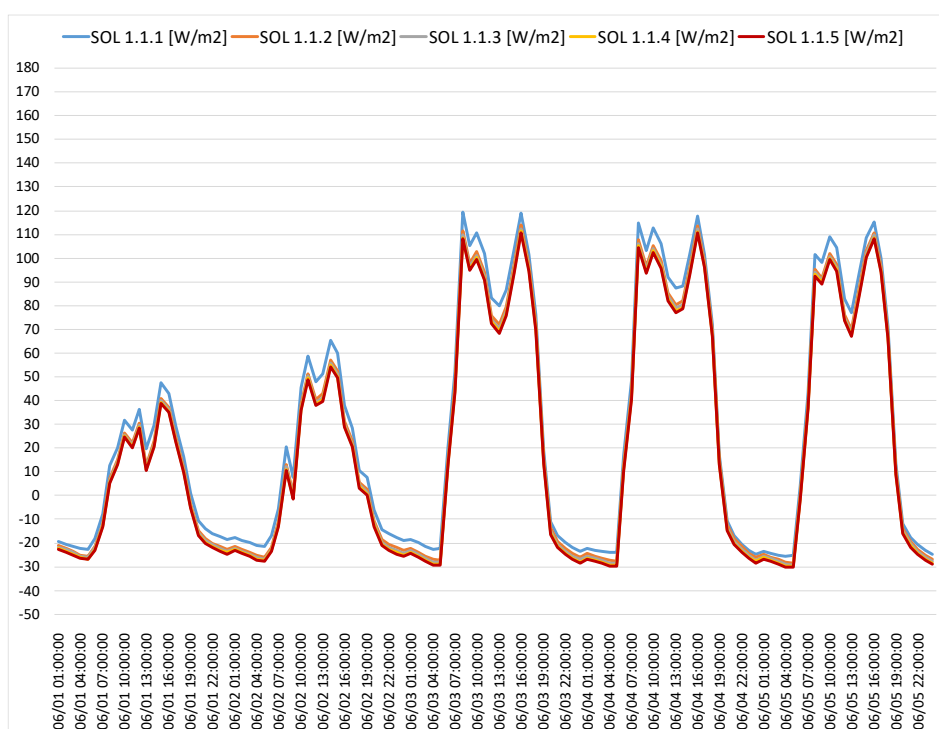


Figura 4.42 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 1)

Tabela 4.10 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada e com palas (solução 1)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	4107,11	3179,49	-927,62
SOL 1.1.2 [W/m ²]	3394,93	2629,62	-765,31
SOL 1.1.3 [W/m ²]	3224,85	2505,42	-719,43
SOL 1.1.4 [W/m ²]	3090,16	2406,65	-683,51
SOL 1.1.5 [W/m ²]	3000,67	2341,38	-659,29

II. Variação do tipo de vão envidraçado sem isolamento térmico (Solução 6)

a) Estação de Aquecimento

Nesta estação podemos afirmar que os valores das temperaturas permanecem iguais aos da simulação inicial, tal como se verificou na solução 1 e como é possível observar nas figuras 4.43 e 4.44. Constata-se, também, que existe uma ligeira diferença entre as soluções apresentadas, variando em função do factor solar. Quando este é mais elevado, os valores da temperatura aumentam, o que é expectável. Com um factor solar mais elevado os ganhos são naturalmente maiores e, em função disso, a temperatura aumenta.

No que diz respeito à taxa de calor esta apresenta valores muito idênticos à simulação sem palas, ainda assim ligeiramente mais baixos, tal como se pode verificar nas figuras 4.45 e 4.46. Na tabela 4.11 é possível observar os valores que deram origem às figuras referidas.

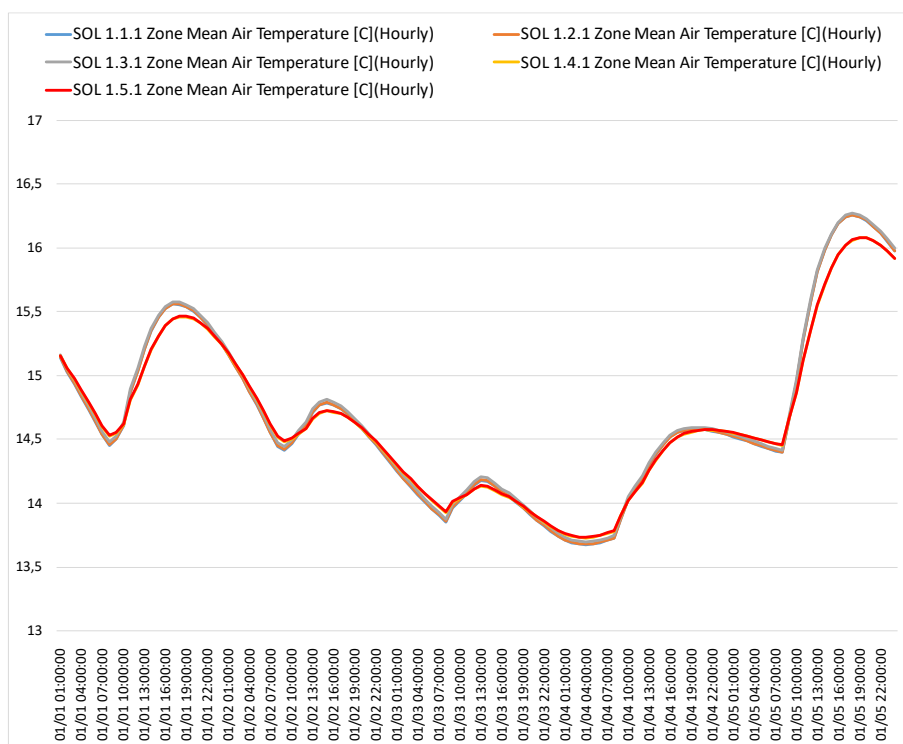


Figura 4.43 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

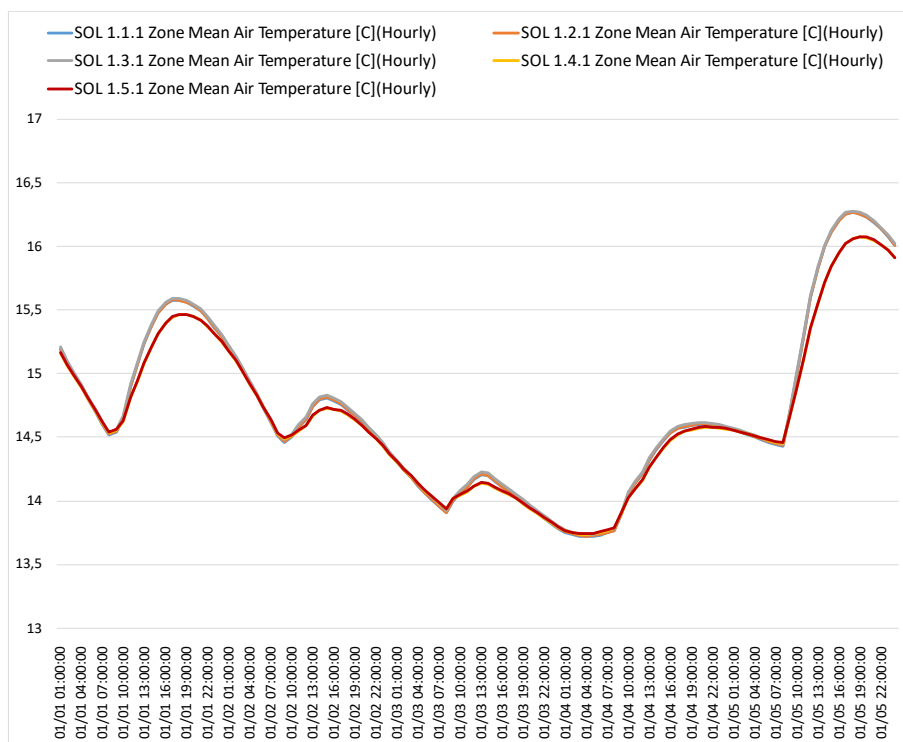


Figura 4.44 - Temperatura interior de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

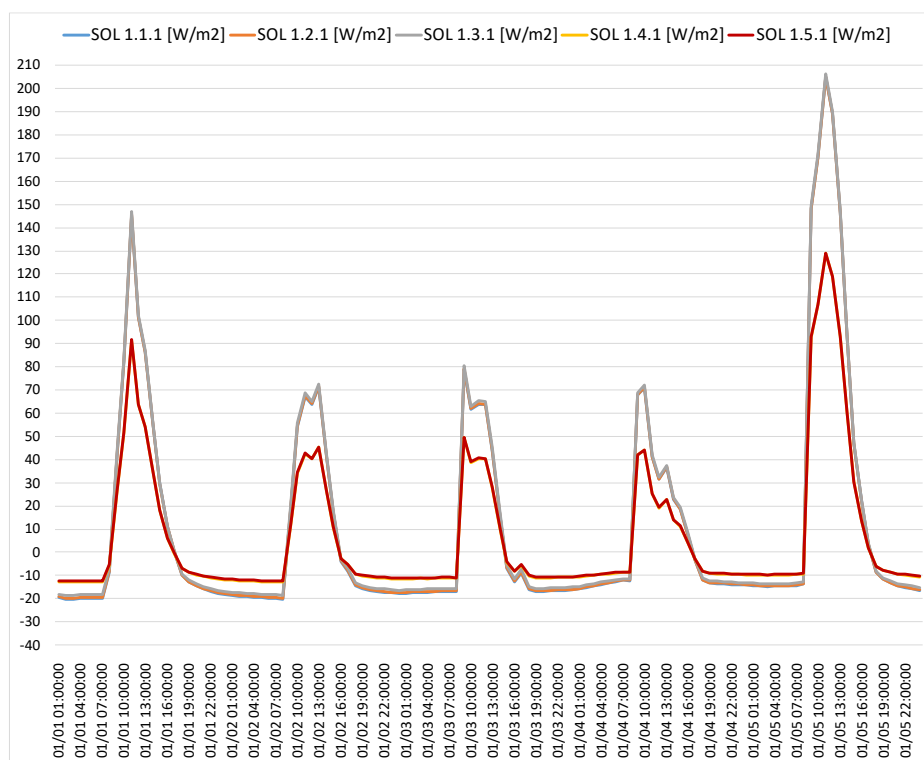


Figura 4.45 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

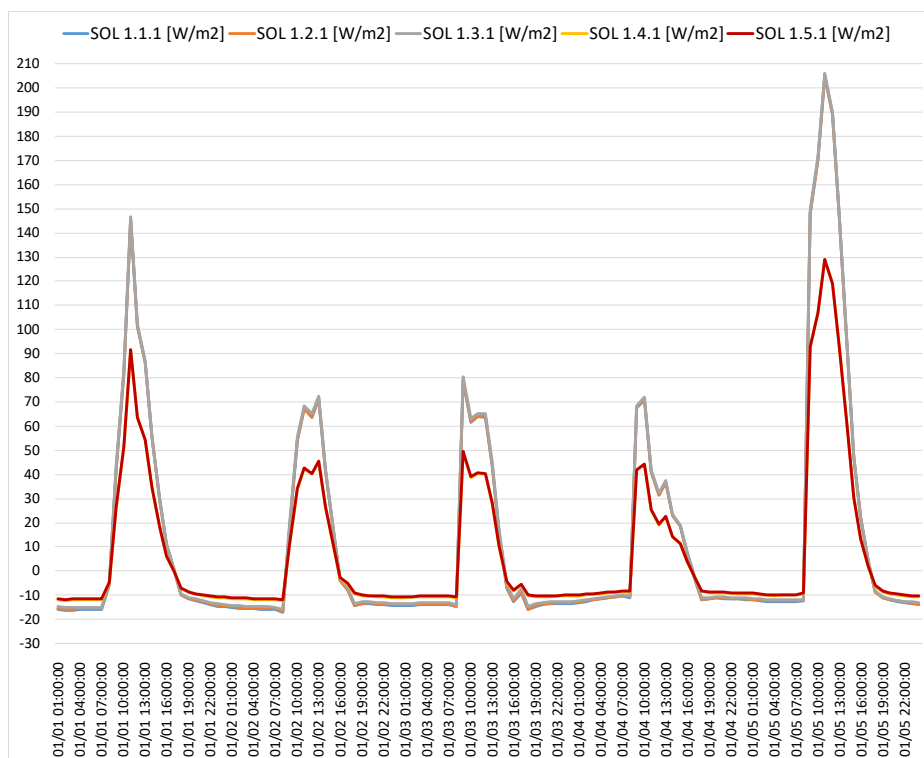


Figura 4.46 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Janeiro, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

Tabela 4.11 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados de 1 a 5 de Janeiro, com orientação solar modificada e com palas (solução 6)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	1282,62	1469,73	187,11
SOL 1.1.2 [W/m ²]	1304,38	1494,82	190,44
SOL 1.1.3 [W/m ²]	1410,36	1568,54	158,18
SOL 1.1.4 [W/m ²]	756,99	777,89	20,90
SOL 1.1.5 [W/m ²]	786,01	809,73	23,72

b) Estação de Arrefecimento

Nesta estação, à semelhança do que o que temos vindo a analisar, verifica-se que as temperaturas não são afectadas pela inclusão das palas. Como se pode ver nas figuras 4.47 e 4.48, continua a haver valores de temperatura mais altos nos casos onde os vãos envidraçados apresentam um factor solar mais elevado.

Relativamente à taxa de calor, através das figuras 4.49 e 4.50, conclui-se que a mesma é um pouco mais baixa nesta solução com palas, apesar da diferença não ser muito relevante, tal como se constata na tabela 4.12. Daqui se infere que a utilização destes elementos de sombreamento tem pouca influência na térmica do edifício, pelo facto dos vãos envidraçados se situarem no quadrante sudeste.

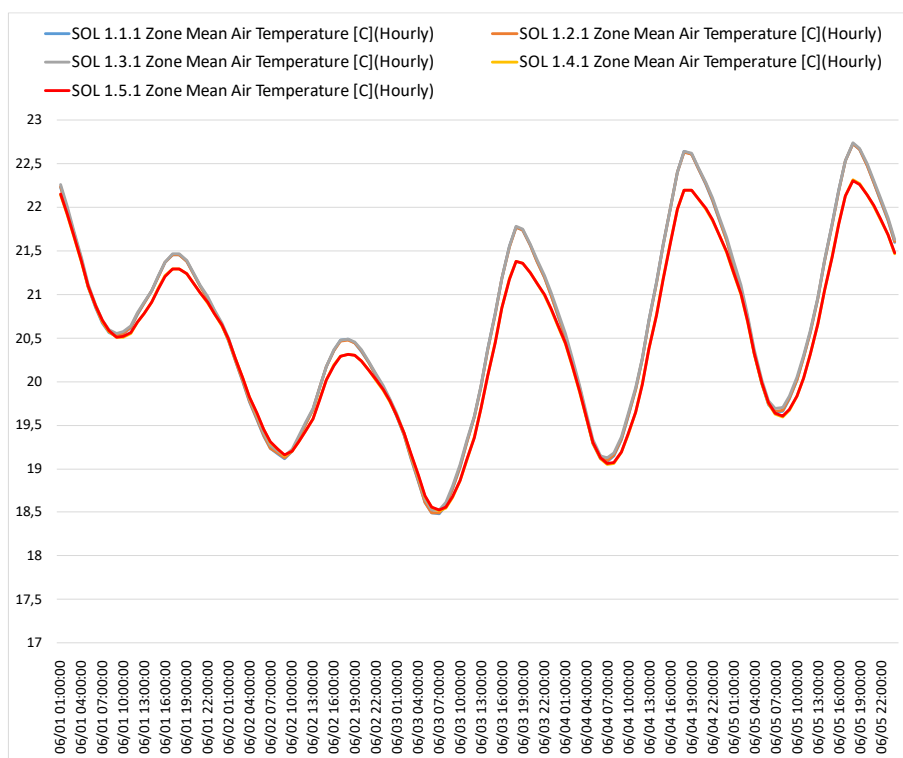


Figura 4.47 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

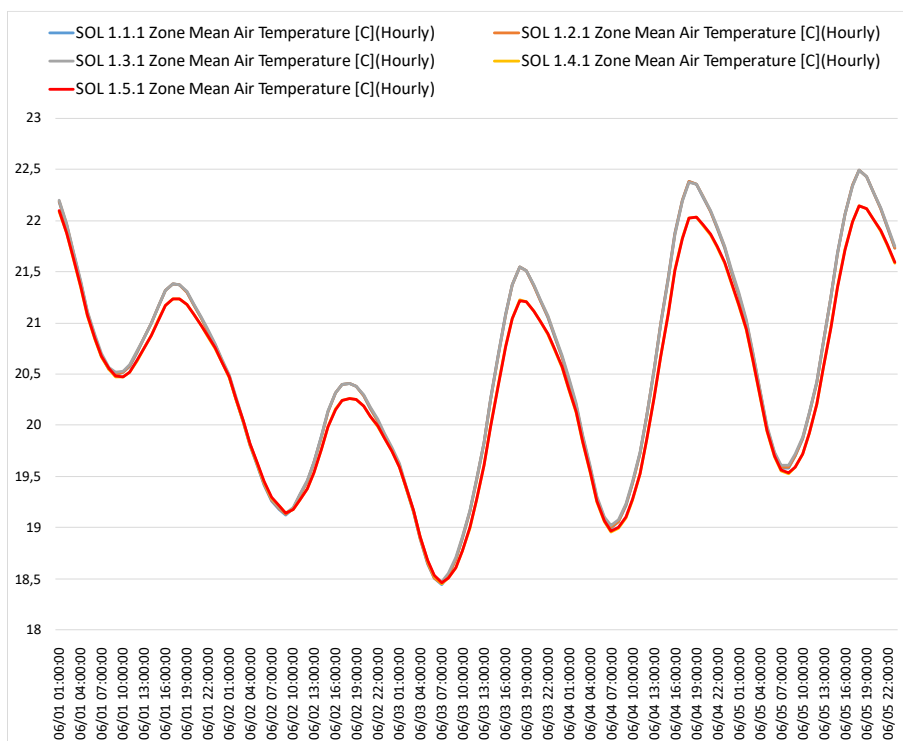


Figura 4.48 - Temperatura interior de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

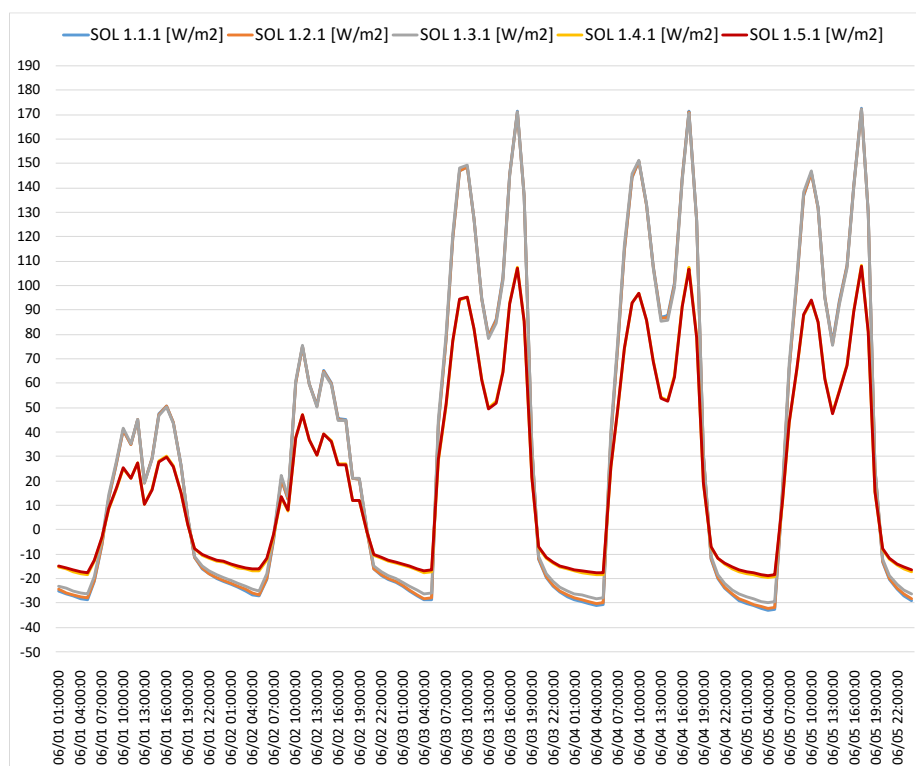


Figura 4.49 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, sem estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

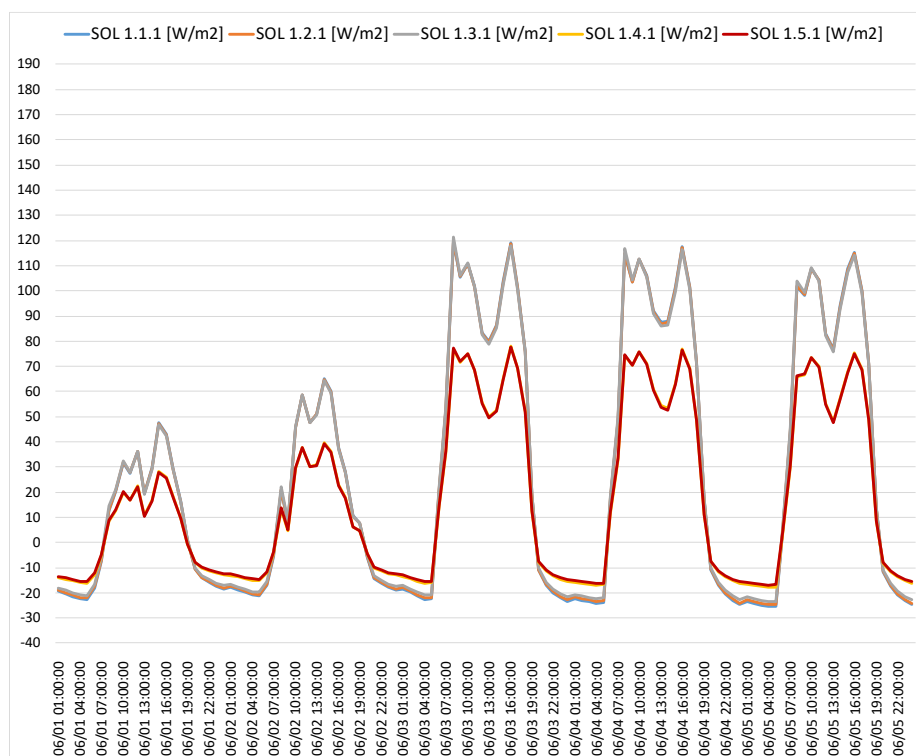


Figura 4.50 - Taxa de calor através dos vãos envidraçados, de 1 a 5 de Junho, com estores, com orientação solar modificada e palas (solução 6)

Tabela 4.12 - Taxa de calor através dos vão envidraçados de 1 a 5 de Junho, com orientação solar modificada e com palas (solução 6)

	Sem estores	Com estores	Diferença entre sol. s/estores e c/estores
SOL 1.1.1 [W/m ²]	4132,44	3202,79	-929,65
SOL 1.1.2 [W/m ²]	4128,82	3203,08	-925,74
SOL 1.1.3 [W/m ²]	4228,13	3249,88	-978,25
SOL 1.1.4 [W/m ²]	2615,43	2012,81	-602,62
SOL 1.1.5 [W/m ²]	2636,93	2035,96	-600,97

5 CÁLCULO E ANÁLISE DE NECESSIDADES ENERGÉTICAS

5.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as necessidades associadas a cada uma das soluções anteriormente descritas. Estas necessidades são calculadas com base nas folhas de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético dos edifícios de habitação, de acordo com o REH [2]. O objectivo é analisar esses valores e perceber se cumprem ou não os requisitos do regulamento em questão. Em primeiro lugar são apresentados os valores correspondentes à solução inicial e, posteriormente, os valores associados a cada melhoria.

5.1.1 Necessidades de energia de aquecimento

Para o cálculo das necessidades de aquecimento utiliza-se a seguinte expressão:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{ano} \right) \quad (5.1)$$

Onde:

$Q_{tr,i}$ - Transferência de calor por condução através da envolvente do edifício (kWh)

$Q_{ve,i}$ - Transferência de calor por ventilação (kWh)

$Q_{gu,i}$ - Ganhos térmicos úteis, resultantes dos ganhos solares através dos envidraçados e dos ganhos internos (iluminação, equipamentos e ocupantes) (kWh)

A_p - Área útil (m^2)

O valor de N_{ic} calculado deverá ser comparado com o valor de N_i , que é o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento. Para cumprir o regulamento o valor de N_{ic} tem de ser igual ou inferior ao de N_i .

O cálculo do valor de N_i é então dado pela expressão:

$$N_i = \frac{Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref}}{A_p} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{ano} \right) \quad (5.2)$$

Esta expressão é idêntica à anterior, sendo que neste caso os valores considerados são os de referência.

5.1.2 Necessidades de energia de arrefecimento

No caso das necessidades de arrefecimento a expressão utilizada para o seu cálculo é a seguinte:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) * Q_{g,v}}{A_p} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{ano} \right) \quad (5.3)$$

Onde:

η_v - Factor de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

$Q_{g,v}$ - Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh)

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior (m²)

Também no caso das necessidades de arrefecimento é necessário fazer uma comparação com o valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v).

Paralelamente as necessidades de aquecimento, a expressão de N_v é semelhante à de N_{vc} e é dada por:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{vref}) * Q_{g,v,ref}}{A_p} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{ano} \right) \quad (5.4)$$

Os valores considerados para o cálculo de N_{vc} são também os de referência.

5.1.3 Necessidades de energia primária

Para além do cálculo de necessidades de energia de aquecimento e arrefecimento, é também necessário calcular o valor das necessidades de energia primária. Para tal é utilizada a seguinte expressão:

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} * N_{ic}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} * \delta * N_{vc}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} * \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) * F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} * F_{pu,p} \left(\frac{\text{kWh}_{EP}}{\text{m}^2} \cdot \text{ano} \right) \quad (5.5)$$

N_{ic} - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k (kWh/m².ano);

$f_{i,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

N_{vc} - Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k (kWh/m².ano);

$f_{v,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k ;

Q_a/A_p - Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k (kWh/m².ano);

η_k - Eficiência do sistema k , que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à excepção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;

j - Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

p - Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}/A_p$ - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , (kWh/m².ano), incluindo apenas energia consumida;

F_{pu} - Factor de conversão de energia útil para energia primária (kWhEP/kWh) δ - igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) que pode tomar o valor 0 sempre que o factor de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo factor de referência, o que equivale às condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

No caso do valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária, N_t , o seu valor é dado por:

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \left(\frac{\text{kWhEP}}{\text{m}^2} \cdot \text{ano} \right) \quad (5.6)$$

Onde:

N_i - Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m².ano);

N_v - Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m².ano);

Q_a - Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k (kWh/ano);

$f_{i,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

$f_{v,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k ;

$f_{a,k}$ - Parcela das necessidades de energia útil de preparação de AQS supridas pelo sistema k ;

η_{ref} - Valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS;

j - Fonte de energia;

$F_{pu,j}$ - Factor de conversão para energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado (kWhEP/kWh);

5.2 Demonstração e comparação de resultados

5.2.1 Necessidades nominais anuais de energia útil, com orientação solar inicial

I. Simulação sem elementos fixos de sombreamento

As tabelas 5.1 e 5.2 mostram os valores para o caso da estação de aquecimento. Da análise desses valores conclui-se que uma solução que não contemple qualquer tipo de isolamento térmico é a única que não cumpre os requisitos do REH e, expectavelmente, o valor das necessidades baixa com o aumento dos níveis de isolamento térmico. É possível também constatar que o valor mais baixo é o que contempla vãos envidraçados sem baixo emissivo.

a) Energia útil de aquecimento

Tabela 5.1 - Necessidades de energia útil de aquecimento, sem estores e sem elementos fixos de sombreamento

	Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni
Sol. 1.1.1	88,34	35,66	Sol. 1.2.1	75,82	35,66	Sol. 1.3.1	73,84	35,66	Sol. 1.4.1	89,92	35,66	Sol. 1.5.1	89,47	35,66
Sol. 1.1.2	27,90	35,66	Sol. 1.2.2	27,06	35,66	Sol. 1.3.2	26,22	35,66	Sol. 1.4.2	28,87	35,66	Sol. 1.5.2	28,00	35,66
Sol. 1.1.3	19,55	35,66	Sol. 1.2.3	18,77	35,66	Sol. 1.3.3	17,99	35,66	Sol. 1.4.3	20,18	35,66	Sol. 1.5.3	19,36	35,66
Sol. 1.1.4	16,51	35,66	Sol. 1.2.4	15,76	35,66	Sol. 1.3.4	15,01	35,66	Sol. 1.4.4	16,98	35,66	Sol. 1.5.4	16,18	35,66
Sol. 1.1.5	13,56	35,66	Sol. 1.2.5	12,85	35,66	Sol. 1.3.5	12,15	35,66	Sol. 1.4.5	13,84	35,66	Sol. 1.5.5	13,08	35,66

Tabela 5.2 - Necessidades de energia útil de aquecimento, com estores e sem elementos fixos de sombreamento

	Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni
Sol. 1.1.1	88,34	35,66	Sol. 1.2.1	75,82	35,66	Sol. 1.3.1	73,84	35,66	Sol. 1.4.1	89,92	35,66	Sol. 1.5.1	89,47	35,66
Sol. 1.1.2	27,90	35,66	Sol. 1.2.2	27,06	35,66	Sol. 1.3.2	26,22	35,66	Sol. 1.4.2	28,87	35,66	Sol. 1.5.2	28,00	35,66
Sol. 1.1.3	19,55	35,66	Sol. 1.2.3	18,77	35,66	Sol. 1.3.3	17,99	35,66	Sol. 1.4.3	20,18	35,66	Sol. 1.5.3	19,36	35,66
Sol. 1.1.4	16,51	35,66	Sol. 1.2.4	15,76	35,66	Sol. 1.3.4	15,01	35,66	Sol. 1.4.4	16,98	35,66	Sol. 1.5.4	16,18	35,66
Sol. 1.1.5	13,56	35,66	Sol. 1.2.5	12,85	35,66	Sol. 1.3.5	12,15	35,66	Sol. 1.4.5	13,84	35,66	Sol. 1.5.5	13,08	35,66

Neste primeiro caso, é possível observar que os valores de energia de aquecimento são iguais em ambas as situações, com e sem estores. Isto deve-se ao facto de nesta estação se

pretender ter o máximo possível de ganhos solares. Por essa mesma razão os estores encontram-se inactivos (abertos) para que os ganhos sejam maximizados.

b) Energia útil de arrefecimento

No caso das necessidades de energia útil de arrefecimento, assinala-se uma diferença considerável nos valores das necessidades, quando se compara resultados obtidos no cálculo com e sem elementos de proteção móveis. Na primeira situação, como mostra a tabela 5.3, apenas duas soluções construtivas cumprem os requisitos (1.4.1 e 1.5.1), sendo que são as soluções que têm o factor solar mais baixo. No entanto, nenhuma das soluções restantes apresentadas nessa tabela, e com o mesmo vão envidraçado, consegue cumprir, notando-se inclusive subida do Nvc. Isto significa que os ganhos solares, apesar de serem um pouco mais baixo devido às características dos vãos envidraçados, acabam por aumentar as necessidades de arrefecimento devido ao aumento do isolamento térmico, provocando assim um sobreaquecimento. Já no caso da tabela 5.4, percebe-se facilmente a influência que os estores têm, principalmente no caso das soluções com vãos com baixo emissivo que apresentam quase todas as valores que cumprem a norma.

Tabela 5.3 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, sem estores e sem elementos fixos de sombreamento

	Nvc	Nv		Nvc	Nv		Nvc	Nv		Nvc	Nv		Nvc	Nv
Sol. 1.1.1	15,70	11,89	Sol. 1.2.1	18,65	11,89	Sol. 1.3.1	19,16	11,89	Sol. 1.4.1	7,69	11,89	Sol. 1.5.1	7,82	11,89
Sol. 1.1.2	31,53	11,89	Sol. 1.2.2	31,85	11,89	Sol. 1.3.2	32,18	11,89	Sol. 1.4.2	20,42	11,89	Sol. 1.5.2	20,72	11,89
Sol. 1.1.3	33,92	11,89	Sol. 1.2.3	34,25	11,89	Sol. 1.3.3	34,58	11,89	Sol. 1.4.3	22,67	11,89	Sol. 1.5.3	22,99	11,89
Sol. 1.1.4	35,23	11,89	Sol. 1.2.4	35,56	11,89	Sol. 1.3.4	35,89	11,89	Sol. 1.4.4	23,94	11,89	Sol. 1.5.4	24,26	11,89
Sol. 1.1.5	36,09	11,89	Sol. 1.2.5	36,43	11,89	Sol. 1.3.5	36,77	11,89	Sol. 1.4.5	24,78	11,89	Sol. 1.5.5	25,11	11,89

Tabela 5.4 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, com estores e sem elementos fixos de sombreamento

	Nvc	Nv		Nvc	Nv		Nvc	Nv		Nvc	Nv		Nvc	Nv
Sol. 1.1.1	3,66	11,89	Sol. 1.2.1	4,85	11,89	Sol. 1.3.1	5,07	11,89	Sol. 1.4.1	1,97	11,89	Sol. 1.5.1	2,02	11,89
Sol. 1.1.2	12,29	11,89	Sol. 1.2.2	12,54	11,89	Sol. 1.3.2	12,80	11,89	Sol. 1.4.2	8,42	11,89	Sol. 1.5.2	8,64	11,89
Sol. 1.1.3	14,14	11,89	Sol. 1.2.3	14,42	11,89	Sol. 1.3.3	14,71	11,89	Sol. 1.4.3	10,06	11,89	Sol. 1.5.3	10,32	11,89
Sol. 1.1.4	15,27	11,89	Sol. 1.2.4	15,56	11,89	Sol. 1.3.4	15,86	11,89	Sol. 1.4.4	11,11	11,89	Sol. 1.5.4	11,39	11,89
Sol. 1.1.5	16,01	11,89	Sol. 1.2.5	16,31	11,89	Sol. 1.3.5	16,62	11,89	Sol. 1.4.5	11,81	11,89	Sol. 1.5.5	12,10	11,89

c) Energia primária

Na análise dos resultados de energia primária, também é notória a diferença entre as duas hipóteses de utilização de estores. Como seria expectável, os valores das necessidades são bastante mais baixos no caso em que os estores estão activos. Tanto na tabela 5.5 como na 5.6, a solução com necessidades mais baixas é que contempla maiores níveis de isolamento térmico

Tabela 5.5 - Necessidades de energia primária, sem estores e sem elementos fixos de sombreamento

	Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt
Sol. 1.1.1	103,02	65,53	Sol. 1.2.1	96,63	65,53	Sol. 1.3.1	94,72	65,53	Sol. 1.4.1	97,86	65,53	Sol. 1.5.1	97,65	65,53
Sol. 1.1.2	73,42	65,53	Sol. 1.2.2	73,08	65,53	Sol. 1.3.2	72,76	65,53	Sol. 1.4.2	65,41	65,53	Sol. 1.5.2	65,04	65,53
Sol. 1.1.3	69,48	65,53	Sol. 1.2.3	69,20	65,53	Sol. 1.3.3	68,92	65,53	Sol. 1.4.3	61,13	65,53	Sol. 1.5.3	60,81	65,53
Sol. 1.1.4	68,39	65,53	Sol. 1.2.4	68,13	65,53	Sol. 1.3.4	67,88	65,53	Sol. 1.4.4	59,90	65,53	Sol. 1.5.4	59,60	65,53
Sol. 1.1.5	67,02	65,53	Sol. 1.2.5	66,79	65,53	Sol. 1.3.5	66,57	65,53	Sol. 1.4.5	58,38	65,53	Sol. 1.5.5	58,11	65,53

Tabela 5.6 - Necessidades de energia primária, com estores e sem elementos fixos de sombreamento

	Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt
Sol. 1.1.1	93,61	65,53	Sol. 1.2.1	85,85	65,53	Sol. 1.3.1	94,72	65,53	Sol. 1.4.1	93,39	65,53	Sol. 1.5.1	93,12	65,53
Sol. 1.1.2	58,38	65,53	Sol. 1.2.2	58,00	65,53	Sol. 1.3.2	57,61	65,53	Sol. 1.4.2	56,04	65,53	Sol. 1.5.2	55,61	65,53
Sol. 1.1.3	54,03	65,53	Sol. 1.2.3	53,71	65,53	Sol. 1.3.3	53,39	65,53	Sol. 1.4.3	51,28	65,53	Sol. 1.5.3	50,91	65,53
Sol. 1.1.4	52,80	65,53	Sol. 1.2.4	52,51	65,53	Sol. 1.3.4	52,23	65,53	Sol. 1.4.4	49,88	65,53	Sol. 1.5.4	49,54	65,53
Sol. 1.1.5	51,33	65,53	Sol. 1.2.5	51,08	65,53	Sol. 1.3.5	50,83	65,53	Sol. 1.4.5	48,24	65,53	Sol. 1.5.5	47,94	65,53

II. Simulação com elementos fixos de sombreamento

O cálculo com elementos fixos de sombreamento (palas), para a orientação solar inicial, mostra que não existe necessidade de colocação de elementos fixos de sombreamento, uma vez que esta solução não apresenta valores diferentes da anterior. Isto deve-se ao facto desta solução apresentar vãos com orientação a nascente e poente, que de acordo com o cálculo efectuado, são orientações em que o efeito das palas é nulo.

5.2.2 Necessidades nominais anuais de energia útil, com orientação solar modificada – rotação 45°

I. Simulação sem elementos fixos de sombreamento

a) Energia útil de aquecimento

Na situação da tabela 5.7, os valores de energia de aquecimento voltam a ser os mesmos para ambas as situações, uma vez que, também aqui, se pretende maximizar os ganhos solares em qualquer um dos cenários.

Comparativamente à solução 1 com orientação solar inicial, observa-se na tabela 5.8 um decréscimo das necessidades, o que de certa forma vai ao encontro dos resultados que obtivemos através do energyplus.

Tabela 5.7 - Necessidades de energia útil de aquecimento, sem estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nic	Ni
Sol. 1.1.1	89,94	35,66
Sol. 1.1.2	29,27	35,66
Sol. 1.1.3	20,77	35,66
Sol. 1.1.4	17,64	35,66
Sol. 1.1.5	14,60	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.2.1	77,41	35,66
Sol. 1.2.2	28,41	35,66
Sol. 1.2.3	19,96	35,66
Sol. 1.2.4	16,87	35,66
Sol. 1.2.5	13,86	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.3.1	75,43	35,66
Sol. 1.3.2	27,56	35,66
Sol. 1.3.3	19,16	35,66
Sol. 1.3.4	16,10	35,66
Sol. 1.3.5	13,14	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.4.1	90,98	35,66
Sol. 1.4.2	29,82	35,66
Sol. 1.4.3	21,05	35,66
Sol. 1.4.4	17,79	35,66
Sol. 1.4.5	14,59	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.5.1	90,48	35,66
Sol. 1.5.2	28,94	35,66
Sol. 1.5.3	20,21	35,66
Sol. 1.5.4	16,98	35,66
Sol. 1.5.5	13,81	35,66

Tabela 5.8 - Necessidades de energia útil de aquecimento, com estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nic	Ni
Sol. 1.1.1	89,94	35,66
Sol. 1.1.2	29,27	35,66
Sol. 1.1.3	20,77	35,66
Sol. 1.1.4	17,64	35,66
Sol. 1.1.5	14,60	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.2.1	77,41	35,66
Sol. 1.2.2	28,41	35,66
Sol. 1.2.3	19,96	35,66
Sol. 1.2.4	16,87	35,66
Sol. 1.2.5	13,86	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.3.1	75,43	35,66
Sol. 1.3.2	27,56	35,66
Sol. 1.3.3	19,16	35,66
Sol. 1.3.4	16,10	35,66
Sol. 1.3.5	13,14	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.4.1	90,98	35,66
Sol. 1.4.2	29,82	35,66
Sol. 1.4.3	21,05	35,66
Sol. 1.4.4	17,79	35,66
Sol. 1.4.5	14,59	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.5.1	90,48	35,66
Sol. 1.5.2	28,94	35,66
Sol. 1.5.3	20,21	35,66
Sol. 1.5.4	16,98	35,66
Sol. 1.5.5	13,81	35,66

b) Energia útil de arrefecimento

Também no que respeita aos valores de Nvc assinala-se uma diferença considerável entre a situação sem estores e com estores, como se pode ver nas tabelas 5.9 e 5.10. Salienta-se que as soluções com vão envidraçado com baixo emissivo cumprem os requisitos das necessidades em todas as soluções. Os valores mais baixos correspondem à utilização de caixilharia em PVC, solução muito utilizada no mercado nos dias de hoje.

Tabela 5.9 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, sem estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nvc	Nv
Sol. 1.1.1	11,32	11,89
Sol. 1.1.2	25,57	11,89
Sol. 1.1.3	27,88	11,89
Sol. 1.1.4	29,16	11,89
Sol. 1.1.5	30,01	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.2.1	13,82	11,89
Sol. 1.2.2	25,88	11,89
Sol. 1.2.3	28,20	11,89
Sol. 1.2.4	29,49	11,89
Sol. 1.2.5	30,34	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.3.1	14,26	11,89
Sol. 1.3.2	26,20	11,89
Sol. 1.3.3	28,53	11,89
Sol. 1.3.4	29,82	11,89
Sol. 1.3.5	30,67	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.4.1	5,55	11,89
Sol. 1.4.2	16,64	11,89
Sol. 1.4.3	18,78	11,89
Sol. 1.4.4	20,01	11,89
Sol. 1.4.5	20,83	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.5.1	5,65	11,89
Sol. 1.5.2	16,93	11,89
Sol. 1.5.3	19,09	11,89
Sol. 1.5.4	20,33	11,89
Sol. 1.5.5	21,15	11,89

Tabela 5.10 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, com estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nvc	Nv
Sol. 1.1.1	3,15	11,89
Sol. 1.1.2	11,09	11,89
Sol. 1.1.3	12,86	11,89
Sol. 1.1.4	13,96	11,89
Sol. 1.1.5	14,68	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.2.1	4,21	11,89
Sol. 1.2.2	11,33	11,89
Sol. 1.2.3	13,13	11,89
Sol. 1.2.4	14,24	11,89
Sol. 1.2.5	14,97	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.3.1	4,41	11,89
Sol. 1.3.2	11,58	11,89
Sol. 1.3.3	13,41	11,89
Sol. 1.3.4	14,54	11,89
Sol. 1.3.5	15,27	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.4.1	1,74	11,89
Sol. 1.4.2	7,69	11,89
Sol. 1.4.3	9,26	11,89
Sol. 1.4.4	10,28	11,89
Sol. 1.4.5	10,95	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.5.1	1,78	11,89
Sol. 1.5.2	7,91	11,89
Sol. 1.5.3	9,51	11,89
Sol. 1.5.4	10,55	11,89
Sol. 1.5.5	11,24	11,89

c) Energia primária

A análise dos valores nas tabelas 5.11 e 5.12 revela, tal como expectável, também uma diminuição das necessidades de energia primária. A comparação destes valores com os da situação de orientação solar inicial permite concluir que esta solução é mais benéfica na

estação de arrefecimento e ligeiramente menos eficaz na estação de aquecimento. No caso da situação com estores, esta solução acaba por apresentar melhores valores que a inicial, apesar da diferença pouco substancial.

Tabela 5.11 - Necessidades de energia primária, sem estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt
Sol. 1.1.1	100,72	65,53	Sol. 1.2.1	93,96	65,53	Sol. 1.3.1	92,93	65,53	Sol. 1.4.1	96,92	65,53	Sol. 1.5.1	96,66	65,53
Sol. 1.1.2	69,71	65,53	Sol. 1.2.2	69,36	65,53	Sol. 1.3.2	69,01	65,53	Sol. 1.4.2	63,12	65,53	Sol. 1.5.2	62,73	65,53
Sol. 1.1.3	65,61	65,53	Sol. 1.2.3	65,30	65,53	Sol. 1.3.3	65,00	65,53	Sol. 1.4.3	58,69	65,53	Sol. 1.5.3	58,36	65,53
Sol. 1.1.4	64,44	65,53	Sol. 1.2.4	64,16	65,53	Sol. 1.3.4	63,88	65,53	Sol. 1.4.4	57,39	65,53	Sol. 1.5.4	57,08	65,53
Sol. 1.1.5	62,99	65,53	Sol. 1.2.5	62,74	65,53	Sol. 1.3.5	62,49	65,53	Sol. 1.4.5	55,81	65,53	Sol. 1.5.5	55,52	65,53

Tabela 5.12 - Necessidades de energia primária, com estores, sem elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt
Sol. 1.1.1	94,33	65,53	Sol. 1.2.1	86,46	65,53	Sol. 1.3.1	85,24	65,53	Sol. 1.4.1	93,94	65,53	Sol. 1.5.1	93,63	65,53
Sol. 1.1.2	58,39	65,53	Sol. 1.2.2	57,99	65,53	Sol. 1.3.2	57,59	65,53	Sol. 1.4.2	56,13	65,53	Sol. 1.5.2	55,69	65,53
Sol. 1.1.3	53,88	65,53	Sol. 1.2.3	53,53	65,53	Sol. 1.3.3	53,19	65,53	Sol. 1.4.3	51,26	65,53	Sol. 1.5.3	50,87	65,53
Sol. 1.1.4	52,56	65,53	Sol. 1.2.4	52,25	65,53	Sol. 1.3.4	51,94	65,53	Sol. 1.4.4	49,79	65,53	Sol. 1.5.4	49,44	65,53
Sol. 1.1.5	51,01	65,53	Sol. 1.2.5	50,73	65,53	Sol. 1.3.5	50,46	65,53	Sol. 1.4.5	48,09	65,53	Sol. 1.5.5	47,78	65,53

II. Simulação com elementos fixos de sombreamento

a) Energia útil de aquecimento

Tal como nos resultados anteriores, onde não há elementos fixos de sombreamento, os valores das necessidades de aquecimento são iguais em ambos os casos, pelas razões anteriormente apresentadas. No entanto, com base nas tabelas 5.13 e 5.14 é possível observar um ligeiro aumento das necessidades, em comparação com a solução sem palas. A explicação para esse facto é, segundo cremos, a mesma que atrás nos referimos e que está relacionada com o facto das palas estarem localizadas a sudeste, e poderem cortar alguns ganhos solares, que neste caso seriam desejáveis.

Tabela 5.13 - Necessidades de energia útil de aquecimento, sem estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni		Nic	Ni
Sol. 1.1.1	90,73	35,66	Sol. 1.2.1	78,19	35,66	Sol. 1.3.1	76,21	35,66	Sol. 1.4.1	91,49	35,66	Sol. 1.5.1	90,97	35,66
Sol. 1.1.2	29,94	35,66	Sol. 1.2.2	29,08	35,66	Sol. 1.3.2	28,23	35,66	Sol. 1.4.2	30,28	35,66	Sol. 1.5.2	29,41	35,66
Sol. 1.1.3	21,37	35,66	Sol. 1.2.3	20,56	35,66	Sol. 1.3.3	19,75	35,66	Sol. 1.4.3	21,47	35,66	Sol. 1.5.3	20,63	35,66
Sol. 1.1.4	18,21	35,66	Sol. 1.2.4	17,43	35,66	Sol. 1.3.4	16,65	35,66	Sol. 1.4.4	18,19	35,66	Sol. 1.5.4	17,37	35,66
Sol. 1.1.5	15,12	35,66	Sol. 1.2.5	14,37	35,66	Sol. 1.3.5	13,64	35,66	Sol. 1.4.5	14,96	35,66	Sol. 1.5.5	14,18	35,66

Tabela 5.14 - Necessidades de energia útil de aquecimento, com estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nic	Ni
Sol. 1.1.1	90,73	35,66
Sol. 1.1.2	29,94	35,66
Sol. 1.1.3	21,37	35,66
Sol. 1.1.4	18,21	35,66
Sol. 1.1.5	15,12	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.2.1	78,19	35,66
Sol. 1.2.2	29,08	35,66
Sol. 1.2.3	20,56	35,66
Sol. 1.2.4	17,43	35,66
Sol. 1.2.5	14,37	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.3.1	76,21	35,66
Sol. 1.3.2	28,23	35,66
Sol. 1.3.3	19,75	35,66
Sol. 1.3.4	16,65	35,66
Sol. 1.3.5	13,64	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.4.1	91,49	35,66
Sol. 1.4.2	30,28	35,66
Sol. 1.4.3	21,47	35,66
Sol. 1.4.4	18,19	35,66
Sol. 1.4.5	14,96	35,66

	Nic	Ni
Sol. 1.5.1	90,97	35,66
Sol. 1.5.2	29,41	35,66
Sol. 1.5.3	20,63	35,66
Sol. 1.5.4	17,37	35,66
Sol. 1.5.5	14,18	35,66

b) Energia útil de arrefecimento

Ao observar as tabelas 5.15 e 5.16 e fazendo uma comparação entre esta solução e a inicial, verifica-se, como seria expectável, um pequeno decréscimo das necessidades.

Nesta simulação com elementos fixos de sombreamento importa ainda salientar que os vãos envidraçados, inicialmente com exposição a Este e Oeste, passam agora a ter exposição nos quadrantes Sudeste e Noroeste, respectivamente.

Tabela 5.15 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, sem estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nvc	Nv
Sol. 1.1.1	11,20	11,89
Sol. 1.1.2	25,39	11,89
Sol. 1.1.3	27,69	11,89
Sol. 1.1.4	28,97	11,89
Sol. 1.1.5	29,82	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.2.1	13,68	11,89
Sol. 1.2.2	25,70	11,89
Sol. 1.2.3	28,02	11,89
Sol. 1.2.4	29,30	11,89
Sol. 1.2.5	30,15	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.3.1	14,11	11,89
Sol. 1.3.2	26,01	11,89
Sol. 1.3.3	28,34	11,89
Sol. 1.3.4	29,63	11,89
Sol. 1.3.5	30,49	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.4.1	5,49	11,89
Sol. 1.4.2	16,53	11,89
Sol. 1.4.3	18,66	11,89
Sol. 1.4.4	19,89	11,89
Sol. 1.4.5	20,71	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.5.1	5,59	11,89
Sol. 1.5.2	16,82	11,89
Sol. 1.5.3	18,97	11,89
Sol. 1.5.4	20,21	11,89
Sol. 1.5.5	21,03	11,89

Tabela 5.16 - Necessidades de energia útil de arrefecimento, com estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Nvc	Nv
Sol. 1.1.1	3,06	11,89
Sol. 1.1.2	10,88	11,89
Sol. 1.1.3	12,63	11,89
Sol. 1.1.4	13,72	11,89
Sol. 1.1.5	14,44	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.2.1	4,10	11,89
Sol. 1.2.2	11,12	11,89
Sol. 1.2.3	12,90	11,89
Sol. 1.2.4	14,01	11,89
Sol. 1.2.5	14,73	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.3.1	4,30	11,89
Sol. 1.3.2	11,36	11,89
Sol. 1.3.3	13,18	11,89
Sol. 1.3.4	14,30	11,89
Sol. 1.3.5	15,03	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.4.1	1,69	11,89
Sol. 1.4.2	7,57	11,89
Sol. 1.4.3	9,11	11,89
Sol. 1.4.4	10,13	11,89
Sol. 1.4.5	10,80	11,89

	Nvc	Nv
Sol. 1.5.1	1,74	11,89
Sol. 1.5.2	7,78	11,89
Sol. 1.5.3	9,37	11,89
Sol. 1.5.4	10,40	11,89
Sol. 1.5.5	11,08	11,89

c) Energia primária

Também no caso da energia primária a maioria das soluções cumpre o regulamento quando os estores estão activos, tal como se pode observar na tabela 5.18.

A análise dos dados atrás apresentados permite tirar algumas conclusões relativas às diferentes situações de cálculo. Em primeiro lugar, existe uma diferença notória na gestão dos estores, originando valores diferenciados nas situações em que estão activos e naquelas em que não estão, como se observa na tabela 5.17. Como é sabido, os principais ganhos solares de uma habitação são através dos vãos envidraçados. Se estes não tiverem os dispositivos móveis em funcionamento, as diferenças, nomeadamente nas necessidades de arrefecimento,

são bastante grandes. Em segundo lugar, o próprio tipo de vão envidraçado tem influência nesses mesmos ganhos, pois como foi possível observar, as soluções que contemplam um factor solar mais baixo têm também valores de necessidades menores.

Tabela 5.17 - Necessidades de energia primária, sem estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt
Sol. 1.1.1	101,16	65,53	Sol. 1.2.1	94,39	65,53	Sol. 1.3.1	93,35	65,53	Sol. 1.4.1	97,23	65,53	Sol. 1.5.1	96,95	65,53
Sol. 1.1.2	70,03	65,53	Sol. 1.2.2	69,68	65,53	Sol. 1.3.2	69,33	65,53	Sol. 1.4.2	63,35	65,53	Sol. 1.5.2	62,97	65,53
Sol. 1.1.3	65,88	65,53	Sol. 1.2.3	65,57	65,53	Sol. 1.3.3	65,27	65,53	Sol. 1.4.3	58,90	65,53	Sol. 1.5.3	58,55	65,53
Sol. 1.1.4	64,69	65,53	Sol. 1.2.4	64,40	65,53	Sol. 1.3.4	64,12	65,53	Sol. 1.4.4	57,58	65,53	Sol. 1.5.4	57,26	65,53
Sol. 1.1.5	63,21	65,53	Sol. 1.2.5	62,95	65,53	Sol. 1.3.5	62,69	65,53	Sol. 1.4.5	55,98	65,53	Sol. 1.5.5	55,68	65,53

Tabela 5.18 - Necessidades de energia primária, com estores, com elementos fixos de sombreamento e com orientação solar modificada

	Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt		Ntc	Nt
Sol. 1.1.1	94,80	65,53	Sol. 1.2.1	86,91	65,53	Sol. 1.3.1	85,69	65,53	Sol. 1.4.1	94,27	65,53	Sol. 1.5.1	93,93	65,53
Sol. 1.1.2	58,70	65,53	Sol. 1.2.2	58,29	65,53	Sol. 1.3.2	57,88	65,53	Sol. 1.4.2	56,35	65,53	Sol. 1.5.2	55,90	65,53
Sol. 1.1.3	54,12	65,53	Sol. 1.2.3	53,77	65,53	Sol. 1.3.3	53,42	65,53	Sol. 1.4.3	51,44	65,53	Sol. 1.5.3	51,05	65,53
Sol. 1.1.4	52,78	65,53	Sol. 1.2.4	52,45	65,53	Sol. 1.3.4	52,14	65,53	Sol. 1.4.4	49,95	65,53	Sol. 1.5.4	49,60	65,53
Sol. 1.1.5	51,19	65,53	Sol. 1.2.5	50,90	65,53	Sol. 1.3.5	50,62	65,53	Sol. 1.4.5	48,23	65,53	Sol. 1.5.5	47,91	65,53

6 CONCLUSÕES

A análise feita nos capítulos anteriores, com base nos resultados obtidos, demonstra que as necessidades energéticas regulamentares são cada vez mais exigentes, obrigando a que haja uma efectiva adaptação dos métodos construtivos por forma a que as mesmas sejam cumpridas, mas sobretudo com vista àquilo que deve ser uma visão de futuro, isto é, construções sustentáveis que privilegiem o aumento do conforto térmico e da sua eficiência energética.

Na análise dos resultados do capítulo 4, uma das conclusões que se pode retirar, prende-se com as necessidades de energia útil de aquecimento. Estas podem ser facilmente cumpridas com quase qualquer solução de melhoria. Porém, o mesmo não se verifica com as necessidades de arrefecimento, que em muitos casos apenas as soluções iniciais - sem isolamento térmico, ou mesmo com isolamento de menor espessura- são as que apresentam resultados regulamentarmente aceites.

Paralelamente a isto, os resultados obtidos no capítulo 3 mostraram que além do isolamento térmico também os vãos envidraçados são responsáveis por uma grande parte das trocas de calor do edifício. Observou-se que no caso em que estes elementos apresentavam um factor solar mais baixo, os ganhos solares eram significativamente menores e consequentemente as temperaturas interiores diminuía. A acrescer a isto, a existência de estores provou também ser benéfica no verão, tal como a utilização de palas de sombreamento, apesar deste último ter uma influência mais diminuta.

No cômputo geral, tanto os resultados obtidos com o Energyplus como com a folha de cálculo mostraram que a escolha dos vãos envidraçados e o isolamento das zonas opacas tem um peso muito grande no desempenho térmico do edifício.

Num cenário ideal, mas utópico, de acordo com estes valores, teríamos uma solução construtiva no inverno e outra no verão. Como isso não é possível, o mais sensato será optar por uma solução intermédia que cumpra os valores de inverno e verão mesmo que estes sejam próximos dos limites regulamentares.

Para trabalhos futuros poderá ser feita uma análise com uma amostra mais diversificada, optando por uma maior variedade ao nível dos vãos envidraçados, ou com diferentes implantações do edifício permitindo assim obter resultados mais heterogéneos e uma apresentação gráfica mais elucidativa. Outro factor que também poderia ser interessante analisar seria o custo vs benefício de cada uma das soluções para perceber qual teria um maior impacto económico a longo prazo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DGEG, “Direção-Geral de Energia e Geologia,” [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/desempenho-energetico-de-edificios/>. [Acedido em 12 Dezembro 2023].
- [2] D. Aelenei, REH Light, Manual de apoio à aplicação da regulamentação referente ao comportamento térmico de edifícios de habitação, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2016.
- [3] “EnergyPlus TM. Input Output Reference,” 2021. [Online]. Available: https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v9.6.0/InputOutputReference.pdf. [Acedido em 10 Maio 2023].
- [4] Diário da República. Decreto-Lei n.º 40/90, 1990.
- [5] Diário da República. Decreto-Lei n.º80/2006, 4 de Abril de 2006.
- [6] F. Roussado, Avaliação dos Impactes Construtivos e Ambientais da Regulamentação Térmica (Dissertação de Mestrado), 2008.
- [7] Diário da República. Decreto-Lei n.º 118/2013, 2013.
- [8] Diário da República. Decreto-Lei n.º 251/2015, 2015.
- [9] Diário da República. Portaria n.º 138/2021, 2021.
- [10] P. B. Lourenço, F. Pinho, G. Vasconcelos e V. Lúcio, Paredes de Alvenaria - Reabilitação e Inovação (Livro de Atas), Lisboa, 2015.
- [11] M. M. Rodrigues, Eficiência Energética em Edifícios de Habitação Unifamiliares (Dissertação de Mestrado), Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Abril de 2020.

- [12] C. Europeia, "https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/qanda_24_1966," 12 Abril 2024. [Online]. [Acedido em 15 Setembro 2024].
- [13] F. M. A. Henriques, Comportamento Higrotérmico de Edifícios, FCT-UNL, 2019.
- [14] N. Gromicko e B. Gromicko, "Building Orientation for Optimum Energy," [Online]. Available: <https://www.nachi.org/building-orientation-optimum-energy.htm>. [Acedido em 9 Outubro 2023].
- [15] F. M. A. Henriques, Memória 775 - A Conservação do Património Histórico Edificado, Lisboa: LNEC, 1991.
- [16] A. Tavares, A. Costa e H. Varum, Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios, Guia de intervenção, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Junho de 2011.
- [17] B. Martins, C. Vital, D. Adão, F. d. Neves, L. Martins e M. Ramalho, O Mercado da Reabilitação - Enquadramento, Relevância e Perspectivas, AECOPS, 2009.
- [18] A. R. C. d. S. Ferreira, Estudo de Soluções de Otimização para Edifícios de Balanço Energético Nulo (Dissertação de Mestrado), FCT/UNL, Setembro de 2012.
- [19] C. A. P. Santos e L. Matias, Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (ITE 50), LNEC, Ed., Lisboa, 2006.
- [20] Diário da República. Decreto-Lei n.º 101-D/2015, 2015.

A.1 Fichas Técnicas dos vãos envidraçados

Climalit 6 (10 AIR) 6

Vidro 1	PLANICLEAR 6 mm
Câmara 1	AIR 10 mm
Vidro 2	PLANICLEAR 6 mm

Name: Ricardo Cordeiro
País: Portugal

Notes:

	FACTORES LUMINOSOS	EN410 (2011-04)		FACTORES ENERGÉTICOS	EN410 (2011-04)
	Transmissão Luminosa	81 %		Transmissão Directa (TE)	73 %
	Reflexão Exterior (RLe)	15 %		Reflexão Exterior (Ree)	13 %
	Reflexão Interior (RLi)	15 %		Reflexão Interior (Rei)	13 %
	TRANSMISSÃO TÉRMICA	EN673-2011		Absorção A1	8 %
	Ug	2.9 W/(m².K)		Absorção A2	6 %
	em Relação à Vertical	0 °		FACTORES SOLARES	EN410 (2011-04)
	DIMENSÕES DE FABRICO			Factores Solares (g)	0.78
	Espessura Nominal	22.00 mm		Coef. Sombreamento	0.89
	Peso	30.0 kg/m²		RESTITUIÇÃO DE COR	
	FATOR UV	EN410 (2011-04)		Transmissão Luminosa (Ra)	98
	TUV	52 %		Reflexão Exterior (Ra)	98
	CLASSE DE SEGURANÇA	EN 12600		RESISTÊNCIA ATAQUE MANUAL	EN 356
	Resistência ao Ensaio do Pêndulo NPD			Resistência Ataque Manual	NPD

Figura 6.1 - Vão envidraçado 1

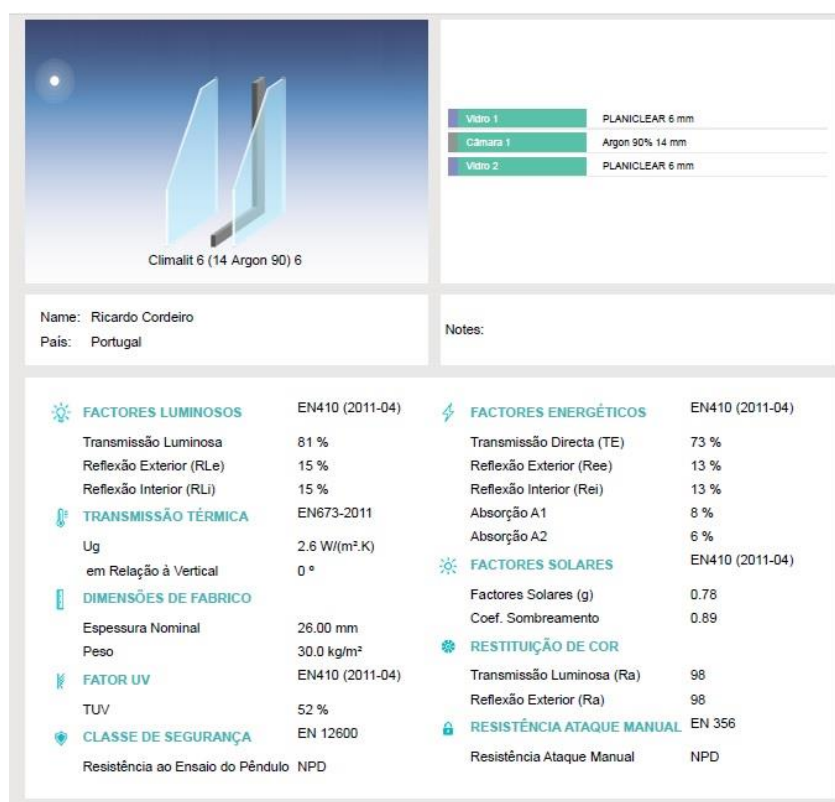


Figura 1.2 - Vão envidraçado 2

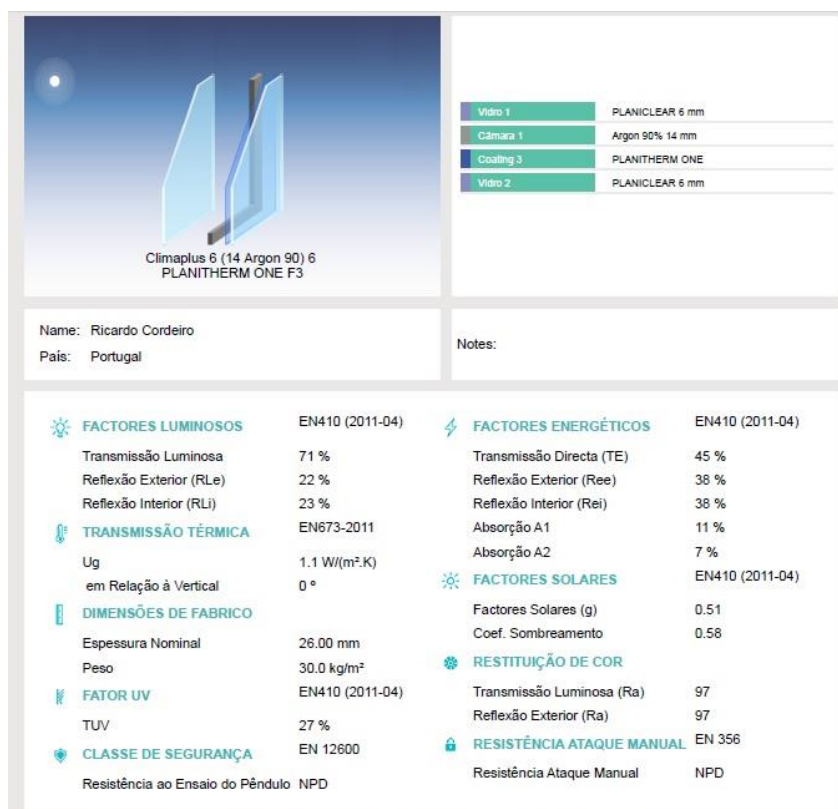


Figura 1.3 - Vão envidraçado 3

A.2 Pormenores construtivos

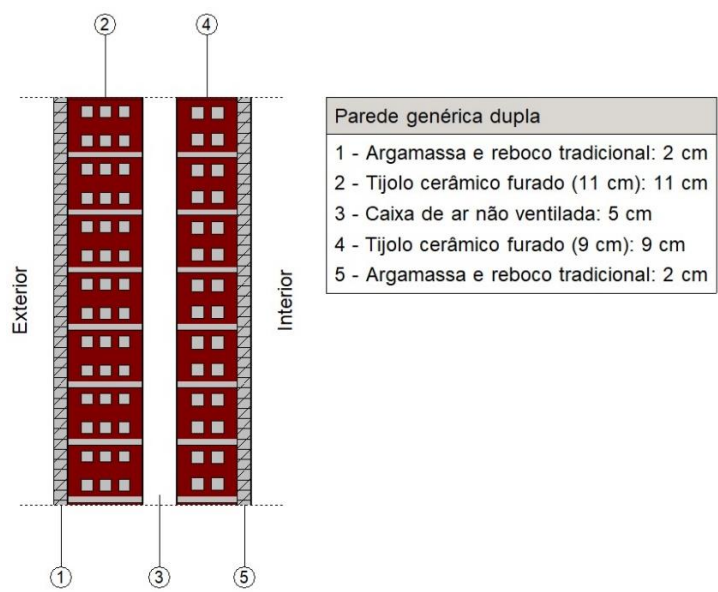


Figura 1.4 - Pormenor construtivo da zona corrente, com a solução construtiva inicial

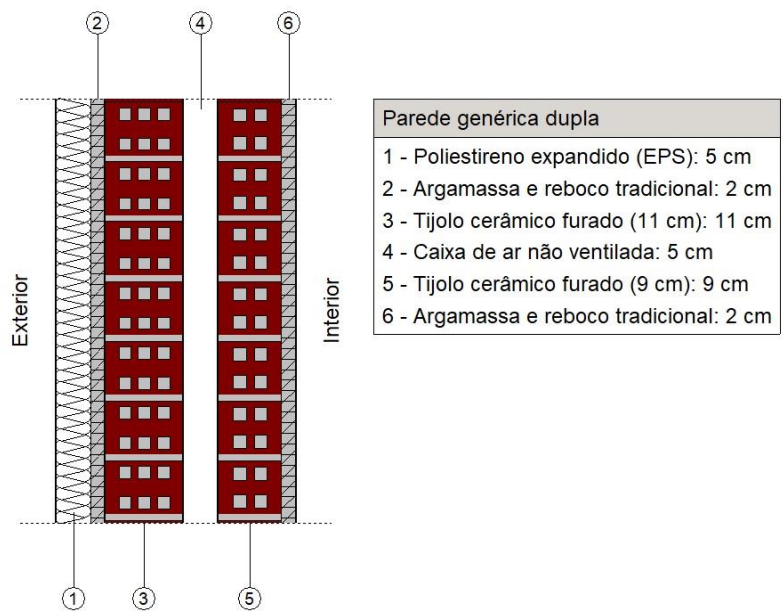


Figura 1.5 - Pormenor construtivo da zona corrente, numa situação tipo de melhoria

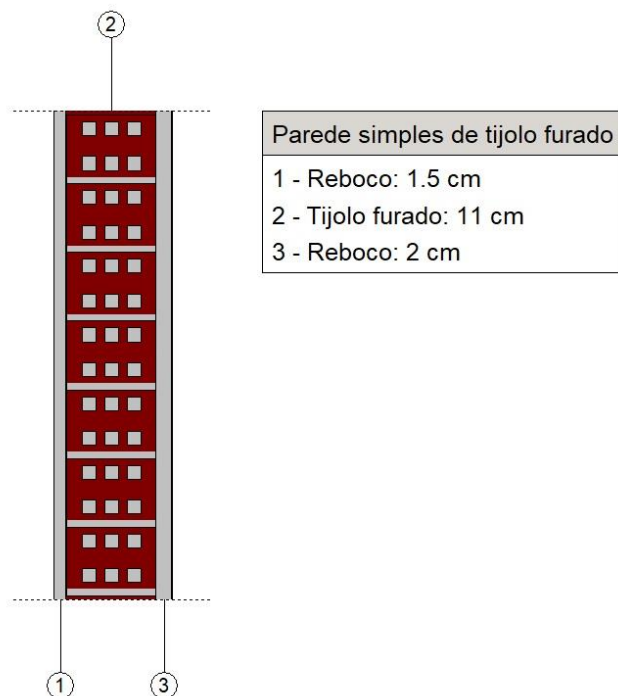


Figura 1.6 - Pormenor construtivo de uma parede interior

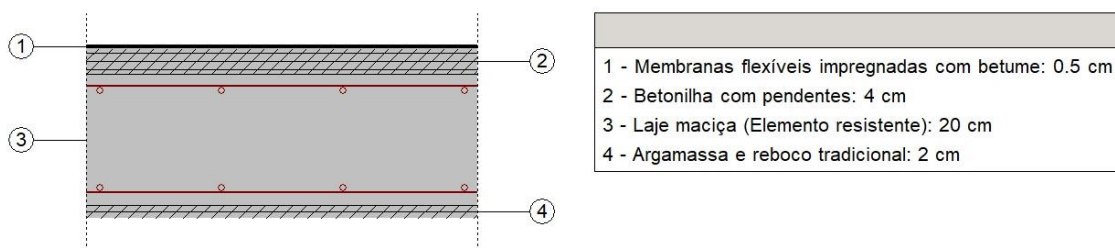


Figura 1.7 - Pormenor construtivo da cobertura, com a solução construtiva inicial

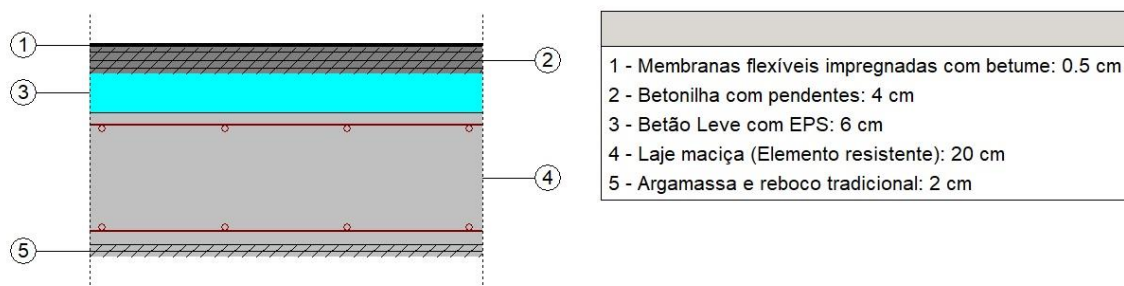


Figura 1.8 - Pormenor construtivo da cobertura, numa situação tipo de melhoria

A.3 Coeficientes de transmissão térmica

	Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)
Zona corrente	Reboco	0,02	1,3	0,02	1,1
	Alvenaria	0,11	-	0,29	
	Caixa-de-ar	0,05	-	0,18	
	Alvenaria	0,09	-	0,27	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,29	-	0,94	
Cobertura	Betão armado	0,2	2	0,10	3,9
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,22	-	0,26	
Pontes térmicas	Reboco	0,02	1,3	0,02	3,1
	Betão armado	0,25	2	0,13	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,29	-	0,33	
V.E.	-	-	-	-	2,9

Figura 1.9 - Solução construtiva 1.1.1

	Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)
Zona corrente	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,6
	ICB	0,03	0,039	0,77	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Alvenaria	0,11	-	0,29	
	Caixa-de-ar	0,05	-	0,18	
	Alvenaria	0,09	-	0,27	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,315	-	1,73	
Cobertura	Betonilha de regularização	0,03	1,3	0,02	1,1
	Betão leve com EPS	0,04	0,06	0,67	
	Betão armado	0,2	2	0,10	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,22	-	0,95	
Pontes térmicas	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,9
	ICB	0,03	0,039	0,77	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Betão armado	0,25	2	0,13	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,315	-	1,11	
V.E.	-	-	-	-	2,9

Figura 1.10 - Solução construtiva 1.1.2

	Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)
Zona corrente	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,4
	ICB	0,05	0,039	1,28	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Alvenaria	0,11	-	0,29	
	Caixa-de-ar	0,05	-	0,18	
	Alvenaria	0,09	-	0,27	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,335	-	2,24	
Cobertura	Betonilha de regularização	0,03	1,3	0,02	0,8
	Betão leve com EPS	0,06	0,06	1,00	
	Betão armado	0,2	2	0,10	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,22	-	1,28	
Pontes térmicas	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,6
	ICB	0,05	0,039	1,28	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Betão armado	0,25	2	0,13	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,335	-	1,63	
V.E.	-	-	-	-	2,9

Figura 1.11 - Solução construtiva 1.1.3

	Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)
Zona corrente	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,4
	ICB	0,07	0,039	1,79	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Alvenaria	0,11	-	0,29	
	Caixa-de-ar	0,05	-	0,18	
	Alvenaria	0,09	-	0,27	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,355	-	2,75	
Cobertura	Betonilha de regularização	0,03	1,3	0,02	0,6
	Betão leve com EPS	0,08	0,06	1,33	
	Betão armado	0,2	2	0,10	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,22	-	1,61	
Pontes térmicas	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,5
	ICB	0,07	0,039	1,79	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Betão armado	0,25	2	0,13	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,355	-	2,14	
V.E.	-	-	-	-	2,9

Figura 1.12 - Solução construtiva 1.1.4

	Material	Espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m2.°C/W)	U (W/m2.°C)
Zona corrente	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,3
	ICB	0,08	0,039	2,05	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Alvenaria	0,11	-	0,29	
	Caixa-de-ar	0,05	-	0,18	
	Alvenaria	0,09	-	0,27	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,365	-	3,01	
Cobertura	Betonilha de regularização	0,03	1,3	0,02	0,5
	Betão leve com EPS	0,1	0,06	1,67	
	Betão armado	0,2	2	0,10	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,22	-	1,95	
Pontes térmicas	Argamassa de regularização	0,01	0,45	0,02	0,4
	ICB	0,08	0,039	2,05	
	Argamassa de colagem	0,005	0,45	0,01	
	Betão armado	0,25	2	0,13	
	Reboco	0,02	1,3	0,02	
	Total	0,365	-	2,40	
V.E.	-	-	-	-	2,9

Figura 1.13 - Solução construtiva 1.1.5



2024

Ricardo Manuel Espada Cor-
deiro

ESTUDO DE REABILITAÇÃO DA ENVOLVENTE DE UM EDIFÍCIO UNIFAMILIAR

