

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DE PELÍCULAS EM ENVIDRAÇADOS

Júlia Oliveira Pereira

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Orientadores: Professor Doutor Antonio Heleno Domingues Moret Rodrigues
Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes

Júri

Presidente: Professor Doutor Joao Pedro Ramôa Ribeiro Correia
Orientador: Professora Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes
Vogal: Doutor António José Costa dos Santos

Novembro de 2015

*“So many of our dreams at first seem impossible,
then they seem improbable, and then,
when we summon the will,
they soon become inevitable.”*

By Christopher Reeve

Agradecimentos

O presente trabalho contou com a ajuda de inúmeras pessoas, a quem desejo expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em particular, gostaria de agradecer aos meus orientadores, o Professor António Moret Rodrigues e a Professora Maria da Glória Gomes, pela disponibilidade, paciência e permanente acompanhamento durante toda a realização deste trabalho.

Ao sócio gerente da empresa Impersol, o Carlos Miguel, pelo apoio, disponibilidade na recolha de informação e aconselhamento técnico sobre o tema.

Por fim, e não menos importante, quero agradecer à minha família e aos meus amigos por toda a paciência e apoio prestado. A todos eles o meu muito obrigado.

Resumo

Devido às condições climáticas extremas e com o objectivo de reduzir a utilização de gases de efeito estufa por meio do consumo de energia, este trabalho explora o impacto do uso de películas de controlo solar em envidraçados. Numa primeira fase, foi efectuado um estudo do impacto de películas de aplicação pelo interior e pelo exterior nas propriedades ópticas de diversos tipos de vidro. Os resultados revelam que as películas têm grande influência sobre o factor solar e a transmitância visível dos envidraçados e pouca influência no coeficiente de transmitância térmica do vidro, devido à reduzida espessura da película. Numa segunda fase, modelou-se através do programa EnergyPlus, um Gabinete no segundo piso no Instituto Superior Técnico em Lisboa, calibrando os parâmetros do mesmo através de dados experimentais obtidos numa campanha realizada em 2013. Através do modelo calibrado foram realizadas várias simulações, variando o tipo de película presente no envidraçado e simulando também uma situação do envidraçado com estore e sem estore, para a estação de aquecimento e de arrefecimento. Destas, foram recolhidos dados de iluminância, de consumo com iluminação no centro do gabinete, de temperatura interior e de necessidades energéticas com aquecimento e arrefecimento. Os resultados obtidos, após uma análise dos dados do desempenho térmico e energético, revelaram o potencial das películas de controle solar na redução das necessidades energéticas com arrefecimento do Gabinete de estudo. Foi possível concluir também que as necessidades energéticas com aquecimento e o consumo com iluminação aumentam. No entanto, a redução das necessidades totais com arrefecimento compensa o aumento das necessidades totais com aquecimento. Conclui-se que as necessidades nominais anuais de energia primária do Gabinete são bastante inferiores para um envidraçado com película quando comparadas com as obtidas para a situação do envidraçado com estore e sem película, bem como do envidraçado sem estore e sem película.

Palavras-chave: Películas de controlo solar, simulação térmica e energética de edifícios, EnergyPlus, desempenho térmico e energético, necessidades totais de energia

Abstract

Due to the extreme climatic conditions, and in order to reduce the use of greenhouse gases through energy consumption, this dissertation explores the impact of the use of a solar control window film in terms of energy efficiency in buildings. Initially, it was conducted a study on how window solar control films influence the optical properties of various types of glass. The results showed that window control films have a great influence on the solar factor and the visible transmittance of the glass and almost no influence on the solar heat coefficient, due to the reduced thickness of the films. In a second phase of this study, it was conducted.

a sensitivity modular analysis of an office on the second floor of Instituto Superior Técnico in Lisbon, using the software EnergyPlus. Experimental data from a campaign that took place in 2013 was used to calibrate the parameters. Simulations were made using different types of window films and also using blinds without window films, for the heating and cooling seasons. After a thermal and energetic analysis of the results in actual working conditions, the window films showed promising results in reducing the cooling energy demand of the Office during the cooling season. It was also possible to conclude that the heating energy demand in the heating season and the consumption with illumination throughout the year increased. However, the reduction in cooling energy demand in the cooling season was much higher than the increase in heating energy demand in the heating season. Therefore, higher energy savings throughout the year are achieved with the use of solar window films compared to the use of blinds.

Keywords: Solar control window film, EnergyPlus, thermal and energy simulation of buildings, heating and cooling energy demand, energy consumptions reduction

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	4
1.3 Organização do Trabalho	5
2. Películas de Controlo Solar em Envidraçados	7
2.1 Conforto Térmico	8
2.1.1 Envolvente de um Edifício	8
2.1.1.1 Ventilação	9
2.1.1.2 Orientação da fachada.....	9
2.1.1.3 Inércia Térmica	10
2.1.1.4 Área de Envidraçado.....	11
2.1.1.5 Sombreamento como Solução de Protecção Solar	12
2.1.2 Variáveis Climáticas	13
2.1.2.1 Radiação Solar e Geometria Solar	13
2.1.2.2 Temperatura do Ar	14
2.1.2.3 Humidade	14
2.1.2.4 Vento.....	14
2.1.3 Elementos Transparentes nas Fachadas	15
2.2 Películas	16
2.2.1 Contexto Histórico	16
2.2.2 Tipos de Películas Existentes no Mercado Português	17
2.2.3 Constituição Típica de uma Película de Controlo Solar	18
2.2.4 Processo de Fabrico.....	19
2.2.5 Simulação Energética de Películas em Envidraçados.....	20
2.2.6 Exemplos Práticos de Aplicação de Películas em Edifícios	21
3. Propriedades Ópticas de Envidraçados com Películas	27
3.1. Optics6	27
3.1.1. Descrição do Programa.....	27
3.2. Window	29
3.2.1. Descrição do Programa.....	29
3.3. Validação dos Programas Window 7.3.8 e Optics6	31
3.4. Casos de Estudo de Vidros com Diferentes Películas	32
3.5 Análise de Resultados para Películas pelo Interior	35
3.5.1 Influência no Factor Solar, g	36
3.5.2 Influência na Transmitância Visível, T_{vis}	39
3.5.3 Coeficiente de Transmissão Térmica, U	40
3.6 Análise de Resultados para Películas pelo Exterior	41
3.6.1 Influência no Factor Solar, g	41
3.6.2 Influência na Transmitância Visível, T_{vis}	44
3.6.3 Coeficiente de Transmissão Térmica, U	45
4. Descrição do Caso de Estudo e Campanha Experimental	47
4.1 Localização do Caso de Estudo	47
4.2 Modelo Geométrico 3D em SketchUp	48
4.3 Materiais Constituintes	49

4.4 Elementos Constituintes do Gabinete.....	50
5. Programa de Simulação EnergyPlus e Validação do Caso de Estudo.....	51
5.1 Descrição Geral do Programa EnergyPlus	51
5.2 Parâmetros de Entrada do EPLaunch no EnergyPlus	52
5.2.1 Parâmetros de Simulação.....	53
5.2.2 Localização e Clima.....	53
5.2.3 Calendários	55
5.2.4 Elementos das Superfícies	56
5.2.5 Zonas e Superfícies Térmicas	57
5.2.6 Ganhos Internos de Energia.....	60
5.2.7 Ventilação	61
5.2.8 Obtenção de Dados	62
5.3 Validação do Modelo.....	62
5.3.1 Considerações de Validação para a Campanha Experimental	63
5.3.2 Validação do Caso de Estudo	64
6. Desempenho Energético de Películas em Envidraçados	67
6.1 Condições de Análise	67
6.2 Análise do Desempenho Energético de Películas em Envidraçados para a Estação de Aquecimento	68
6.2.1 Películas de Aplicação pelo Interior	69
6.2.1.1 Análise de resultados – películas de aplicação pelo interior	69
6.2.1.5 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de interior	71
6.2.2 Películas de Aplicação pelo Exterior.....	73
6.2.2.1 Análise de resultados - películas de aplicação pelo exterior	74
6.2.2.2 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de exterior.....	75
6.3 Análise do Desempenho Energético de Películas em Envidraçados para a Estação de Arrefecimento	76
6.3.1 Películas de Aplicação pelo Interior	76
6.3.1.1 Análise de resultados - películas de aplicação pelo interior	77
6.3.1.2 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de interior	78
6.3.2 Películas de Aplicação pelo Exterior.....	81
6.3.2.1 Análise de resultados - películas de aplicação pelo exterior	81
6.3.2.2 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de exterior.....	82
6.4 Análise Global do Desempenho de Películas de Aplicação pelo Interior e pelo Exterior	83
7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	85
Referências Bibliográficas.....	89
Anexo A – Valores do factor solar, do coeficiente de transmissão térmica e transmitância visível de vidros com películas de aplicação pelo interior	I
Anexo B – Metodologia para a Alteração dos Dados Climáticos em Formato EPW.. V	V

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Emissão de CO ₂ devido a actividades humanas entre 1850 e 2012 (Adaptado de IPCC, 2014)..	1
Figura 1.2 - Consumo anual de energia primária em Portugal (milhares de tep) entre 2000 e 2013 (Pordata, 2015).....	2
Figura 1.3 - Parâmetros que influenciam o design de um edifício (Adaptado de Oral, Gül et al., 2003)	3
Figura 2.1 - Radiação Solar por Orientação de Fachada em Lisboa ao longo do ano (adaptado de Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, 2015)	12
Figura 2.2 - Estrutura típica de uma película de controlo solar (adaptado de SkinGlass, 2015)	18
Figura 2.3 - Temperatura média perto da clarabóia (Adaptado de [113])	22
Figura 2.4 - Vista aérea da clarabóia do centro comercial Diagonal Mar em Barcelona (Hanita Coatings, 2015)	23
Figura 2.5 - Vista Interior da Clarabóia do Centro Comercial Diagonal Mar em Barcelona (Hanita Coatings, 2015)	23
Figura 2.6 - Fachada do Edifício Thomas Cook em Zwijnaerde, Bélgica (Google Street View, 2015)	23
Figura 2.7 - Fachada Envidraçada do Edifício Thomas Cook em Zwijnaerde, Bélgica (Solar Gard, 2015)	23
Figura 2.8 - Vista Interior da Habitação nos subúrbios em Chicago Illinois nos EUA (Solar Gard, 2015)	25
Figura 2.9 - Vista Exterior da Habitação nos subúrbios em Chicago Illinois nos EUA (Solar Gard, 2015) ...	25
Figura 2.10 - Vista exterior da Habitação em Atlanta Geórgia, EUA (Llumar, 2015)	25
Figura 2.11 - Vista da fachada principal da Habitação em Atlanta Geórgia, EUA (Llumar, 2015)	25
Figura 3.1 - Método de cálculo das características da película sem o envidraçado no Optics6 (adaptado de Window 5.0 User Manual, 2001).....	28
Figura 3.2 - Passos a seguir para a criação de um vidro com película no Optics 6.....	29
Figura 3.3 - Resultado final de um vidro simples com película pelo interior	29
Figura 3.4 - Resultado final de um vidro duplo com película pelo interior	29
Figura 3.5 - Ligação entre a base de dados do Optics6 e do Window 7.3.8	30
Figura 3.6 - Importar a base de dados do Optics6 e do Window 7.3.8.....	31
Figura 3.7 - Código de produto da película (adaptado de Performance Window Film, 2014)	34
Figura 3.8 - Valores do factor g para vidros simples e laminados sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)	36
Figura 3.9 - Valores do factor g para vidros duplos sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)	37
Figura 3.10 - Valores do factor g para vidros duplos com protecção solar sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)	38
Figura 3.11 - Valores de transmitância visível para vidros simples e laminados sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)	39
Figura 3.12 - Valores do factor g para vidros simples e laminados sem película e com seis películas de aplicação pelo exterior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a verde, respectivamente) .	41
Figura 3.13 - Valores do factor g para vidros duplos sem película e com seis películas de aplicação pelo exterior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a verde, respectivamente)	42
Figura 3.14 - Valores do factor g para vidros duplos com protecção solar sem película e com seis películas de aplicação pelo exterior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a verde, respectivamente)	43
Figura 4.1 - Localização do Pavilhão de Engenharia Civil e Arquitectura e a sua orientação.....	47
Figura 4.2 - Vista da Fachada Este do Gabinete A (à esquerda e do Gabinete B (à direita)	47
Figura 4.3 - Planta tipo de dois gabinetes do 2º piso do Pavilhão de Engenharia Civil e Arquitectura na Fachada Este.....	48
Figura 4.4 - Modelo Geométrico do Gabinete de Estudo utilizando o Google SketchUp	48

Figura 4.5 - Modelo Geométrico com particular importância no sombreamento através de árvores utilizando o Google SketchUp.....	48
Figura 4.6 - Parede Este	50
Figura 4.7 - Parede Oeste	50
Figura 4.8 - Paredes Norte e Sul	50
Figura 4.9 - Laje de cocos de 40cm de altura total com forra de lajetas de 4cm e acabamento em corticite de 4mm.....	50
Figura 5.1 - Aparência do IDF-Editor do EP-Launch, EnergyPlus	52
Figura 5.2 - Aparência do EP-Launch do EnergyPlus	52
Figura 5.3 - Interface gráfica do Google SketchUp com o OpenStudio SketchUp plug-in instalado na barra de ferramentas	52
Figura 5.4 - Grupo Simulation Parameters.....	54
Figura 5.5 - Objecto SimulationControl	54
Figura 5.6 - Objecto Building	54
Figura 5.7 - Objecto ShadowCalculation	54
Figura 5.8 - Objecto SurfaceConvectionAlgorithm:Inside and outside.....	54
Figura 5.9 - Grupo Location and Climate.....	54
Figura 5.10 - Objecto Site:Location.....	54
Figura 5.11 - Objecto RunPeriod para Julho	55
Figura 5.12 - Grupo Schedules	55
Figura 5.13 - Objecto ScheduleCompact.....	55
Figura 5.14 - Objecto ScheduleTypeLimits.....	55
Figura 5.15 - Grupo Surface Construction Elements.....	56
Figura 5.16 - Objecto Material.....	57
Figura 5.17 - Objecto Material:AirGap.....	57
Figura 5.18 - Objecto Material:Glazing.....	57
Figura 5.19 - Objecto Material:Blind	57
Figura 5.20 - Objecto Construction.....	57
Figura 5.21 - Objecto GlobalGeometryRules.....	59
Figura 5.22 - Grupo ThermalZones and Surfaces	59
Figura 5.23 - Objecto Zone.....	59
Figura 5.24 - Objecto BuildingSurface:Detailed	59
Figura 5.25 - Objecto FenestrationSurface:Detailed	59
Figura 5.26 - Objecto WindowProperty:ShadingControl.....	59
Figura 5.27 - Objecto Shading:Site:Detailed	59
Figura 5.28 - Objecto Shading:Zone:Detailed	60
Figura 5.29 - Grupo Internal Gains.....	60
Figura 5.30 - Objecto People	61
Figura 5.31 - Objecto Lights para campanha de Outubro e Novembro	61
Figura 5.32 - Objecto ElectricEquipment	61
Figura 5.33 - Objecto ZoneInfiltration:DesignFlowRate	61
Figura 5.34 - Objecto ZoneInfiltration:DesignFlowRate para a campanha de Julho.....	61
Figura 5.35 - Grupo Outout Reporting	62
Figura 5.36 - Objecto Outout Reporting.....	62
Figura 5.37 - Objecto Output:Variable.....	62
Figura 5.38 - Objecto Output:Diagnostics	62
Figura 5.39 - Relação entre a radiação difusa e a radiação global horizontal para um ano tipo em Lisboa ..	63
Figura 5.40 - Comparação da temperatura interior obtida pela simulação em EnergyPlus com a medida experimentalmente entre 25 a 31 de Julho	64
Figura 5.41 - Comparação da temperatura interior obtida pela simulação em EnergyPlus com a medida experimentalmente entre 21 a 27 de Outubro	65
Figura 5.42 - Comparação da temperatura interior obtida pela simulação em EnergyPlus com a medida experimentalmente entre 24 a 30 de Novembro	65
Figura 6.1 - Agrupamento de películas de interior e de exterior conforme os valores do factor solar, g, e da transmitância visível, t_{vis} , do conjunto vidro-película, para um vidro de 6 mm	68
Figura 6.2 - Valores médios diários para o dia mais quente e o dia mais frio de: consumo com iluminação (W), Iluminância (lux), temperatura interior (°C), Necessidades de energia com aquecimento (W), para as situações com estore, sem estore e para sete películas de aplicação pelo interior	72

Figura 6.3 - Consumo de electricidade (W), Iluminância (lux), Consumo electricidade (W), Gastos com arrefecimento (W) com estore e sem estore e para as várias películas, para dois dias tipo, na estação de arrefecimento	79
Figura 6.4 - Desempenho energético do Gabinete de estudo com aplicação de películas pelo interior do envidraçado (com os valores algébricos da energia primária indicados na coluna respectiva)	83
Figura 6.5 - Desempenho energético do Gabinete de estudo com aplicação de películas pelo exterior do envidraçado (com os valores algébricos da energia primária indicados na coluna respectiva)	84

Índice de Tabelas

Tabela 2.1- Resumo dos estudos de simulação energética com películas.....	21
Tabela 2.2 - Resumo de casos de aplicação de películas em envidraçados de edifícios comerciais	22
Tabela 2.3 - Resumo de casos de aplicação de películas em envidraçados de edifícios residenciais	24
Tabela 3.1 - Tipo de vidro analisados, as suas características e finalidades	32
Tabela 3.2 - Propriedades de sete películas de aplicação pelo interior.....	35
Tabela 3.3 - Propriedades de seis películas de aplicação pelo exterior	35
Tabela 3.4 - Variação do valor g (%) para vidros simples e laminados com aplicação de sete películas pelo interior.....	36
Tabela 3.5 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com aplicação de sete películas pelo interior.....	38
Tabela 3.6 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com protecção solar com aplicação de sete películas pelo interior	39
Tabela 3.7 - Resultados da transmitância visível para vidros com diferentes películas de aplicação pelo interior.....	40
Tabela 3.8- Variação do factor solar g (%) para vidros simples e laminados com seis películas pelo exterior	41
Tabela 3.9 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com aplicação de seis películas pelo exterior	42
Tabela 3.10 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com protecção solar com aplicação de seis películas pelo exterior	43
Tabela 3.11 - Resultados da transmitância visível para vidros com diferentes películas exteriores	44
Tabela 4.1 - Materiais Constituintes do Gabinete de Estudo.....	49
Tabela 5.1 - Valor de RMSE e de MBE para a campanha de Julho, Outubro e Novembro.....	65
Tabela 6.1 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com aquecimento (Nec. aquecimento), para a estação de aquecimento para películas de interior	69
Tabela 6.2 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com aquecimento (Nec. aquecimento), para a estação de aquecimento para películas de exterior	74
Tabela 6.3 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com arrefecimento (Nec. arrefecimento), para a estação de arrefecimento para películas de interior	77
Tabela 6.4 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com arrefecimento (Nec. arrefecimento), para a estação de arrefecimento para películas de exterior.....	81

Simbologia

GEE: Gases de Efeito de Estufa

CO₂: Dióxido de Carbono

CH₄: Metano

N₂O: Óxido Nitroso

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers

UE: União Europeia

RCCTE: Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

INETI: Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

U: Coeficiente de transmissão térmica

g: Factor solar

ASP: Adesivos Sensíveis à Pressão

UV: Ultra-Violeta

R20: R20 SI SR HPR

R35: R35 SI SR HPR

R50: R50 SI SR HPR

N1020: N1020 SR CDF

N1035: N1035 SR CDF

Lep30: LEP 35 SR CDF

Lep70: LEP 70 SR CDF

PR70: PR 70 EXT

M: Média

Dp: Desvio Padrão

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Num contexto mundial, os estudos e as preocupações com as alterações climáticas estão cada vez mais presentes no dia a dia da população. As emissões de gases de efeito de estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) aumentaram desde a época pré-industrial (1950), impulsionados pelo largo crescimento económico e populacional, atingindo valores nunca antes registados, conforme se pode observar pela Figura 1.1. Os cientistas afirmam com 95% de certeza que o aquecimento global registado no último século é devido a actividade humana, tendo um impacto muito significativo nos continentes e nos oceanos (IPCC, 2014).

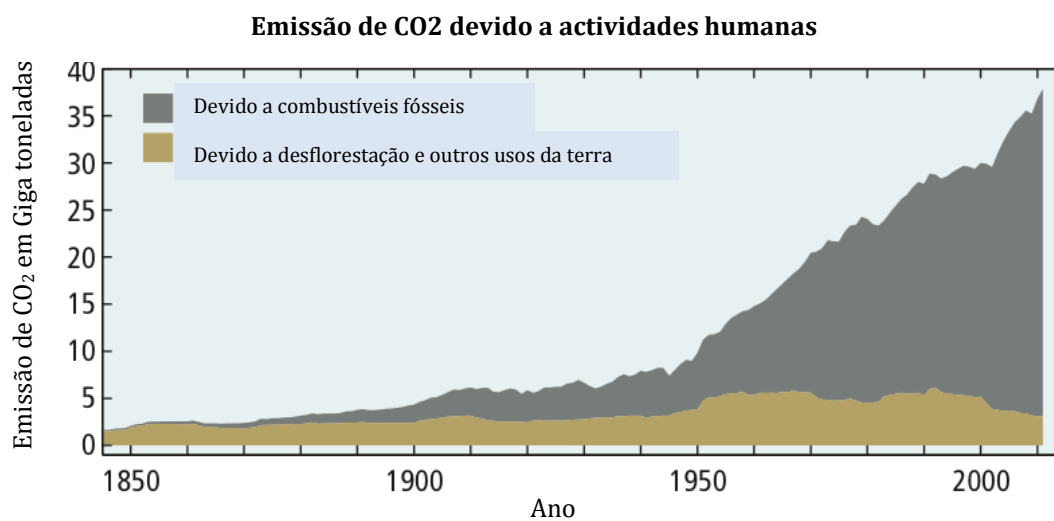


Figura 1.1 - Emissão de CO₂ devido a actividades humanas entre 1850 e 2012 (Adaptado de IPCC, 2014)

O sector industrial é um dos grandes responsáveis pela emissão de GEE e tem-se mostrado um dos sectores com mais custos efetivos na redução de emissão de GEE (IPCC, 2014). Segundo o 5º relatório síntese sobre alterações climáticas a quantificação de GEE é possível e traduz-se através da quantificação de processos de produção, modificação, transporte, armazenamento, reciclagem ou destruição. Por este motivo, e por ser tão extensa a diversidade de produtos e bens de consumo que a civilização produz, é necessário sistematizar, de forma acessível a todos, os métodos de quantificação de GEE provenientes desta cadeia de consumo. Esta é a principal ferramenta para se convocar estratégias de maior sustentabilidade, de redução de desperdícios e diminuição de gastos energéticos.

Estudos recentes realizados em Portugal referem que o clima português sofreu, ao longo do século XX, uma evolução do seu sistema climático, caracterizado por três períodos de mudança da temperatura média, com um aumento da temperatura entre 1910 e 1945, uma diminuição entre 1946 e 1975 e por um aumento mais acelerado entre 1976 e 2000. Estas variações no sistema climático português seguem a mesma tendência da observada a nível global. De facto, as séries temporais de temperatura máxima e mínima apresentam uma tendência que se manifesta a nível global; ambas aumentaram no último quarto de século e na mesma proporção e, mais recentemente, verificou-se que o

valor da temperatura mínima aumentou em valores superiores aos da temperatura máxima média, o que conduz a uma diminuição da amplitude térmica (Agência Portuguesa do Ambiente, 2015).

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (2012), Portugal tem vindo a reduzir a sua dependência energética do exterior desde 2005, passando de 88,8% de energia importada para 79,4% em 2012. Do ponto de vista da energia primária, houve um aumento do gás natural e das energias renováveis e uma diminuição no consumo do petróleo e do carvão entre 2000 e 2013 (Pordata, 2015). Na Figura 1.2 pode-se observar a evolução dos consumos anuais com energia primária em Portugal.

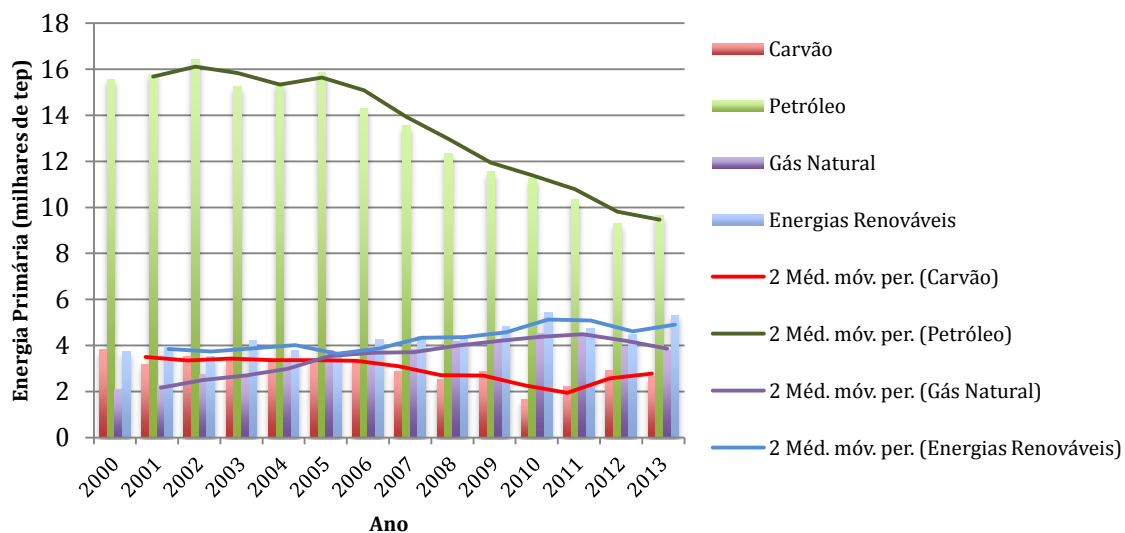


Figura 1.2 - Consumo anual de energia primária em Portugal (milhares de tep) entre 2000 e 2013 (Pordata, 2015)

O sector da construção é responsável por cerca de 40% do consumo anual da energia mundial, o que representa cerca de 30% da emissão dos gases de efeito de estufa no nosso planeta (United Nations Environment Programme, 2009). Desta forma, o sector da construção é um dos potenciais candidatos na realização de mudanças significativas em termos de custo benefício para a redução da concentração dos GEE na atmosfera. Um dos pontos chave deste relatório é que o sector da construção tem o menor custo benefício na redução significativa dos GEE, ao contrário de outros sectores como a indústria.

Com as preocupações crescentes com a emissão de GEE novas directivas têm surgido. A directiva de 2010/31/UE (Directive 2010/31/UE, 2010) vem vincular a importância de se reduzir os consumos de energia no sector da construção estabelecendo uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e das frações autónomas. De acordo com esta directiva, devem ser estabelecidos requisitos respeitantes: à aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e das frações autónomas novas; à aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações; elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos, e sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado; aos planos nacionais, para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia; à certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas; à inspeção regular das instalações de aquecimento e de

ar condicionado nos edifícios; aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

Em 2012, é publicada a directiva 2012/27/UE (Directive 2012/27/UE, 2012) que vem reforçar a necessidade de se atingir 20% de eficiência energética até 2020 pelos estados membros da UE, desenvolvendo novas medidas que preveem a eliminação de obstáculos e deficiências no mercado da energia bem como objectivos nacionais indicativos em matéria de eficiência energética para 2020.

Na arquitectura moderna, o uso de envidraçados nas fachadas dos edifícios não residenciais aumentou significativamente nos últimos anos. Este aumento deve-se principalmente a características estéticas que conferem um aspecto visual apelativo e moderno e pela entrada de luz natural nos edifícios, reduzindo os gastos de energia relativos ao conforto visual na utilização do mesmo. No entanto, o aumento dos envidraçados nas fachadas colocou pressões adicionais nas cargas térmicas contribuindo para um aumento significativo nos sistemas de arrefecimento e aquecimento eléctricos, aumentando a factura energética e contribuindo activamente para o aumento da emissão de GEE, especialmente em regiões com verões quentes e prolongados (Faggembau et al., 2003).

As fachadas desempenham um papel fundamental no desempenho térmico de um edifício funcionando como uma barreira entre o ambiente exterior e interior e são concebidas segundo vários factores como se pode observar na Figura 1.3. Uma das suas funções mais importantes centra-se no controlo de factores ambientais externos como a temperatura, a luz natural e o som, mantendo as condições de conforto na sua utilização com o mínimo de consumo energético (Oral, Gül et al., 2003).

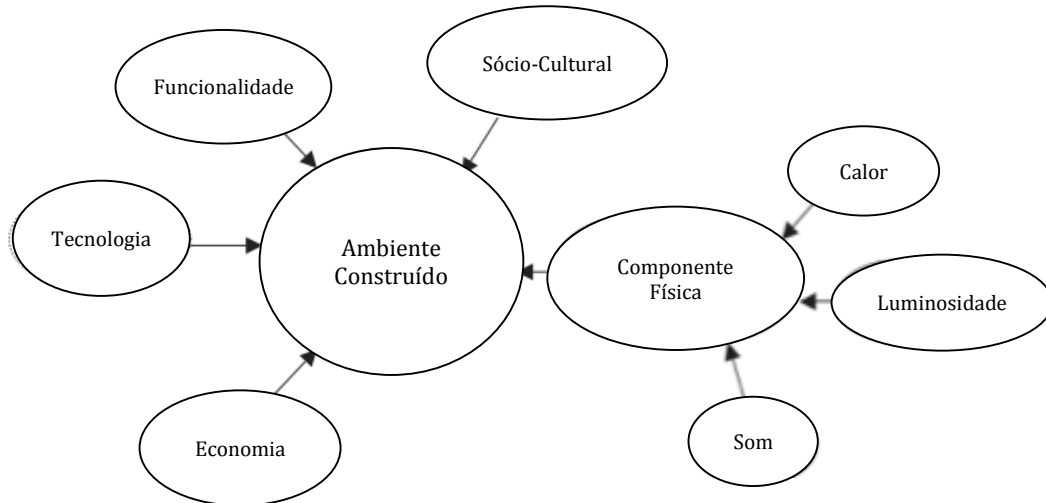


Figura 1.3 - Parâmetros que influenciam o design de um edifício (Adaptado de Oral, Gül et al., 2003)

Estas questões motivaram o estudo e o desenvolvimento de novas tecnologias para controlo dos ganhos e perdas de energia em edifícios, como por exemplo, os vidros coloridos, reflectivos, ou de baixa emissividade, os vidros duplos e os sistemas de sombreamento manual ou automático.

Todos estes sistemas de redução de ganhos energéticos pelos envidraçados implicam uma reconstrução no edifício existente ou um planeamento rigoroso durante a fase de projecto para um

correcta aplicação no edifício. As películas de controlo solar podem desempenhar um papel fundamental no campo da reabilitação de edifícios existentes, melhorando as características de absorção e reflexão da radiação solar incidente no envidraçado, diminuindo o recurso a sistemas de arrefecimento eléctrico e contribuindo para uma diminuição da emissão dos GEE no sector da construção.

Do ponto de vista estatístico, os dados mais recentes sobre a construção em Portugal apontam que o parque habitacional do país cresceu a uma taxa anual média superior a 1% até 2008. A partir desse ano, as taxas de crescimento têm vindo a diminuir, registando um mínimo de 0,3% em 2013 (Instituto Nacional de Estatística, 2013). Estes dados realçam a importância que os produtos de reabilitação podem ter na redução dos gastos energéticos para se atingirem os objectivos da União Europeia na estabilização e redução das emissões de GEE no sector da construção.

No presente estudo será investigado o desempenho de um envidraçado com a aplicação de películas de controlo solar nos consumos energéticos de um Gabinete de estudo que foi algo de um estudo experimental realizado em 2013.

1.2 Objectivos

Esta dissertação tem como objectivo principal analisar a influência da utilização de películas de controlo solar em envidraçados do ponto de vista do seu desempenho térmico e energético. O estudo foi realizado utilizando o programa Window e Optics para modelar as características ópticas de diferentes combinações de películas e tipos de envidraçados. A avaliação das variações energéticas foi realizada no programa computacional EnergyPlus, que permite variar parâmetros como a área de envidraçado, o tipo de película no envidraçado, o tipo de estore, a orientação do envidraçado, a região climática, entre outros.

Para a concretização do objetivo principal foram realizadas diferentes tarefas:

- Modelação óptica do desempenho de películas em diferentes tipos de vidro com os programas Optics e Window;
- Comparação das propriedades ópticas de diferentes sistemas de envidraçados com diversos tipos de películas;
- Modelação de um gabinete de escritórios com o programa de simulação energética EnergyPlus;
- Comparação entre medições experimentais e resultados da modelação de modo a validar o modelo;
- Avaliação do consumo com iluminação e das necessidades energéticas com aquecimento e arrefecimento de várias combinações de películas no envidraçado de um gabinete de escritórios;
- Comparação do consumo energético do envidraçado de um gabinete de escritórios sem película e sem estore, com estore e sem película, e por aplicação de diversas películas de controlo solar sem a utilização de estore.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em sete capítulos e dois anexos, entre os quais se insere este primeiro capítulo de introdução.

O segundo capítulo aborda o tema do conforto térmico e os conceitos que lhe estão intrinsecamente relacionados como o impacto na envolvente de um edifício e a influência de variáveis climáticas e introduz o tema das películas. No tema das películas é feita uma breve introdução histórica, apresentando os tipos de películas comercializadas em Portugal, a constituição típica de uma película de controlo solar, o seu processo de fabrico, uma análise bibliográfica de estudos relativos a análises de consumos energéticos de películas em envidraçados e, por último, descreve-se quatro casos práticos de aplicação de películas.

O terceiro capítulo engloba um estudo realizado utilizando sete tipos de películas de aplicação pelo interior e seis tipos de películas de aplicação pelo exterior em vinte vidros diferentes, através dos programas Window e Optics, analisando o desempenho das películas nas propriedades ópticas dos envidraçados.

No quarto capítulo apresenta-se o gabinete caso de estudo, descrevendo a sua localização, a modelação 3D no programa Google SketchUp e os materiais e elementos constituintes.

No capítulo cinco é apresentado o programa EnergyPlus onde são descritos os parâmetros de entrada necessários para a validação do caso de estudo. Neste capítulo é também apresentado a calibração do gabinete de escritório caso de estudo e são descritas as condições de validação adoptadas.

O sexto capítulo tem por finalidade a avaliação do desempenho energético de sete películas de aplicação pelo interior e de seis películas de aplicação pelo exterior utilizando o modelo validado do Gabinete caso de estudo, variando apenas certos parâmetros do programa, nomeadamente, o tipo de película no envidraçado e a utilização, ou não, de estore.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho e as propostas para desenvolvimentos futuros.

No anexo A são apresentados os valores do factor solar, do coeficiente de transmissão térmica e da transmitância visível de vidros com películas de aplicação pelo interior e com películas de aplicação pelo exterior.

No anexo B é possível encontrar uma metodologia para a alteração dos dados climáticos em formato epw para utilizar no programa EnergyPlus.

2. Películas de Controlo Solar em Envidraçados

Um dos propósitos da engenharia e da arquitetura moderna é proporcionar ao homem condições térmicas apropriadas ao conforto ambiental no interior dos edifícios, independentemente das condições climáticas exteriores. O conceito de conforto no ambiente construído está relacionado com a sensação de conforto que um indivíduo experiencia relativamente a um acontecimento, sem que sinta preocupação ou incómodo. Um ambiente confortável deve proporcionar bem estar e condições satisfatórias de qualidade aos seus ocupantes aumentando a sua produtividade (Vischer, 2007).

Estatísticas recentes indicam que o consumo energético dos edifícios aumentou e representa cerca de 40% do consumo mundial de energia que constitui 30% da emissão de GEE anual (IPCC, 2014). Por forma a combater esta tendência, inúmeros estudos têm sido conduzidos com o intuito de encontrar soluções para melhorar o desempenho energético dos edificados, desde modelações virtuais, estudos de análise e desempenho de zonas específicas ou do conjunto total do edifício e optimização de materiais ou medidas a aplicar pré ou pós construção (Huang, 2015). No entanto, o desempenho energético dos edifícios envolve uma grande variedade de factores físicos e sociais combinados com variáveis climáticas que tornam este tema numa área complexa de investigação. Assim, os estudos têm evoluído para investigações direccionadas para factores específicos como, por exemplo, o estudo de materiais passíveis de serem usados na envolvente, a orientação das fachadas, sistemas de ventilação natural, dispositivos de sombreamento, películas de controlo solar, entre outros (Huang, 2015).

A utilização do vidro na construção tem tido uma expressão cada vez mais significativa, resultando em rácios de envidraçado na fachada muito elevados, especialmente em edifícios não residenciais (Moretti and Belloni, 2015). Isto porque o vidro confere boas características estéticas e permite a entrada de luz natural contribuindo para poupanças de energia com iluminação eléctrica e melhorando o conforto visual no interior do edifício. No entanto, os ganhos solares pelos envidraçados, especialmente em climas com verões quentes e prolongados, contribuem de forma muito significativa para as cargas térmicas de arrefecimento e podem originar problemas de encadeamento, perturbando a produtividade dos utilizadores.

Segundo a norma EN 15755-1 – *Glass in building - Adhesive backed polymeric filmed glass – Part 1: Definitions and requirements (2014)*, um vidro com película polimérica adesiva é definido como um vidro que tem as suas características e desempenho alterados pela aplicação de uma película polimérica adesiva. Existem inúmeras películas no mercado produzidas com o intuito de modificar características específicas do vidro como: o factor solar do vidro, g , a transmitância visível, T_{vis} , a emissividade, ϵ , a transmitância ultra-violeta, UV_t , a privacidade, a aparência (razões estéticas), o comportamento perante um impacto, a segurança, a atenuação das frequências electromagnéticas e a protecção das superfícies do envidraçado.

O presente capítulo fará uma introdução ao conforto térmico em edificações, desenvolvendo temas como a envolvente do edifício, as variáveis climáticas e os elementos transparentes nas fachadas. Seguidamente será abordado o tema das películas em envidraçados, onde se apresenta o contexto histórico, os tipos de películas existentes no mercado português, a constituição típica de uma película de

controlo solar, o processo de fabrico e, por último, uma análise bibliográfica sobre os estudos realizados sobre o tema e os seus resultados, por forma a se compreender a importância que este tipo de solução pode apresentar na melhoria das condições interiores e exteriores de um edifício.

2.1 Conforto Térmico

De acordo com a *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (2010) - ASHRAE, o conforto térmico define-se como “o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. Deste modo, entende-se que a não satisfação do ser humano pode ser causada por sensação de desconforto tanto pelo calor como pelo frio.

O conforto térmico não é um conceito exato, depende sim de uma interação entre o homem e o meio ambiente que o circunda. Para se analisar o conforto térmico é necessário ter em conta variáveis ambientais quantificáveis e variáveis pessoais não quantificáveis como o estado mental, o metabolismo, o vestuário e os hábitos pessoais (Mallick, 1996).

Segundo um estudo efectuado em Bangladesh por Mallick (1996) a zona de conforto para as pessoas desse país abrange valores de temperatura e de humidade mais elevados do que os ditados pela ASHRAE. Isto indica que a tolerância a certas variáveis climáticas varia conforme a exposição da pessoa, a longo prazo, a certos tipos de clima.

Outros estudos efectuados na Tailândia (Khedari et al, 2015) demonstraram que o conforto térmico pode ocorrer para intervalos de temperatura distintos conforme os hábitos da pessoa e a região em que vive. As temperaturas máximas de conforto encontradas foram superiores em 4 e 5,5°C para dois estudos quando comparadas com as temperaturas máximas de conforto referidas pela ASHRAE.

Estes estudos demonstram a responsabilidade que os profissionais da área têm em procurar as melhores soluções construtivas para a envolvente de um edifício por forma a satisfazerem os requisitos de conforto de uma dada pessoa, ou grupo de pessoas, para um clima específico.

2.1.1 Envolvente de um Edifício

Desde a crise energética de 1970 que os gastos energéticos impulsionados pelo crescimento populacional e pelas atividades económicas são um dos maiores problemas da atualidade, aumentando a possibilidade de ocorrência de eventos ambientais graves e irreversíveis, tanto para as pessoas como para os ecossistemas (IPCC, 2014).

Comparativamente com outros sectores, as poupanças energéticas em edifícios implicam mudanças simples e mais eficazes do que em sectores como a indústria e os transportes, em que as mudanças teriam repercussões ambientais difíceis de se estimar. Desta forma, é importante desenvolver estratégias que conduzam a menores consumos de energia nos edifícios.

A maioria das decisões sobre a envolvente de um edifício são tomadas na fase inicial do projeto, quando se define a arquitetura e o design do edifício. Nesta fase são tomadas decisões que influenciam o desempenho energético e a performance geral do edifício que irão definir a pegada ecológica do mesmo. Porém, existem aspectos a ter em conta para se atingir um alto desempenho energético como a ventilação

natural, a orientação da fachada, a cor aplicada na envolvente, a inércia térmica, os dispositivos de sombreamento, entre outros. Estes parâmetros não são fáceis de definir, pois podem ser contraditórios entre si e exigem uma análise pormenorizada para cada caso de estudo.

2.1.1.1 Ventilação

A ventilação natural é o processo de renovação do ar de um espaço fechado com o objetivo de controlar a pureza e o percurso do ar no interior. Este conceito está relacionado com a qualidade do conforto no interior dos edifícios, usando para esse processo, um recurso renovável, a temperatura do exterior e a renovação do ar a uma taxa adequada, para assegurar a boa qualidade do ar interior (Ventilação Natural, 2015).

Segundo Rodrigues et al. (2009), o conhecimento dos processos de ventilação que se observa naturalmente ou através de meios mecânicos, devem assegurar mínimos de renovação de ar. Assim, para manter a qualidade do ar devemos conhecer as saídas pelas juntas e frinchas das janelas e das portas em função da pressão do vento e das temperaturas verificadas; limitar os poluentes e manter a quantidade de oxigénio necessária; renovar o ar interior reduzindo os riscos de condensações e assegurar temperaturas e velocidades do ar confortáveis. No entanto, a renovação do ar interior deve estar limitada de modo a conservar o conforto interior sem dispêndios de energia por trocas de calor que possam ocorrer. Segundo os mesmos autores deve-se dar preferência à ventilação natural (frequente em edifícios residenciais), ao invés da ventilação por meios mecânicos (edifícios com sistemas de climatização centralizada), ou por combinação dos dois processos (sistema híbrido) para garantir a higiene e salubridade do ar interior, reduzindo assim os gastos energéticos.

A ventilação é também uma das formas mais eficazes para arrefecer a temperatura no interior das habitações, reduzindo os ganhos excessivos de calor. No entanto, podem acontecer situações de movimentação de ar menos confortáveis por ser difícil controlar a velocidade do ar e o nível de ventilação.

2.1.1.2 Orientação da fachada

A orientação da fachada de um edifício deve ter em conta a análise do clima local, considerando a radiação solar, a velocidade e a direção dos ventos predominantes, de forma a proporcionar ganhos ou perdas de calor no interior das habitações.

Uma boa prática de projeto privilegia a orientação da fachada do edifício para Sul, pois potencia ganhos solares, a habitação torna-se mais confortável e as necessidades energéticas com aquecimento são menores. Pelo contrário, uma orientação excessiva a Norte, devido ao défice solar registado nesta direção, pode provocar temperaturas interiores que não satisfazem os requisitos mínimos de conforto e provocar um aumento das necessidades energéticas com sistemas mecânicos de aquecimento no interior.

As habitações orientadas a Este e a Oeste recebem raios solares mais intensos e, por vezes, é necessário criar sombras no exterior para impedir a penetração de raios solares e o ganho de calor excessivo durante o Verão. Por exemplo, algumas casas no Alentejo com alçados orientados a Oeste têm vãos pequenos para diminuir os ganhos solares durante o Verão (Orientação das fachadas, 2015).

Outro factor importante é a distância existente entre os edifícios, pois determina a existência de sombras permanentes sobre as fachadas adjacentes. Assim, é importante saber a distância adequada para excluir sombras indesejadas especialmente se incidirem sobre fachadas orientadas a Sul. Para estas fachadas é importante considerar a sombra que cada edifício projeta sobre o próximo, tendo em conta o ângulo solar de Inverno (28° em média, em Portugal, a 21 de Dezembro) por forma a maximizar o desempenho energético do edificado.

No Verão, uma solução possível consiste em criar sombras com árvores, arbustos ou trepadeiras de folha caduca nos espaços contíguos às fachadas orientadas a Sul. Durante o verão a folhagem faz sombra e durante o Inverno solta a folhagem deixando os raios solares entrarem nas habitações pelas áreas envidraçadas orientadas a Sul.

Relativamente aos espaços interiores é importante estudar o panorama geral, assim como a orientação solar, criando zonas com recepção solar direta e zonas com sombreamento para promover o conforto dos utilizadores e incitar a sua permanência no interior do edifício.

2.1.1.3 Inércia Térmica

Segundo Rodrigues et al. (2009), a inércia térmica está relacionada com a aptidão de um elemento para armazenar calor e só o libertar passado algum tempo. Pode ser utilizada para promover a absorção dos ganhos de calor durante o dia (reduzindo a carga de arrefecimento) e libertá-los à noite (reduzindo a carga de aquecimento).

Os materiais pesados e maciços que integram a composição dos edifícios conferem aos espaços interiores estabilidade térmica devido à sua inércia térmica. Esses materiais interagem lentamente com as temperaturas do meio que os rodeia e raramente atingem as temperaturas de pico (quente e fria) sentidas ao longo do dia, pelo facto de estas não se manterem durante o tempo necessário para se atingir um equilíbrio entre a temperatura do material e as temperaturas de pico. No Verão é possível sentirmos uma sensação de frescura quando estamos num edifício de paredes maciças em granito e, no Inverno, uma sensação de conforto, quando o interior está a uma temperatura superior à do ambiente exterior.

As perdas térmicas para o exterior por materiais com boas inércias térmicas não é desejável, sendo importante conjugar o isolamento térmico pelo exterior com os materiais existentes na fachada para reduzir perdas indesejáveis. Deve-se também evitar revestir os materiais pesados com materiais leves que funcionem como barreira às trocas térmicas entre os materiais com elevada inércia térmica e o ambiente interior.

A ligação da inércia térmica com a ventilação natural, nas noites quentes, faz com que o calor acumulado nos materiais pesados se liberte durante a noite e se restabeleça a capacidade de acumular e absorver o calor excessivo no dia seguinte. Assim, evita-se a saturação da inércia térmica por acumulação de calor.

A cor das superfícies influencia a sua capacidade de absorção térmica e de reflexão da luz. As cores claras e brilhantes refletem melhor a radiação, porque têm uma menor absorção e são adequadas para climas quentes como o Centro e o Sul de Portugal. As cores mais escuras ou opacas absorvem mais a

radiação, o que aumenta a temperatura no interior e são recomendadas para climas frios, como o Norte de Portugal (Inércia Térmica, 2015).

2.1.1.4 Área de Envidraçado

Para promover um ambiente interior confortável é necessário encontrar um equilíbrio entre a área de envidraçado e as superfícies opacas, por forma a haver um controlo sobre os ganhos e as perdas energéticas entre o ambiente interior e o exterior. Deve ser efetuado um estudo prévio, em fase de projeto, que visa otimizar o desempenho do edificado, estudando as áreas de envidraçado para cada fachada conforme a sua orientação. Por exemplo, nas fachadas orientadas a Sul um rácio elevado entre envidraçado e materiais opacos pode aumentar os ganhos solares diretos no período de Inverno, enquanto que um rácio baixo na fachada orientada a Norte contribui para a diminuição das perdas térmicas.

O envidraçado da fachada orientada a Sul permite ganhos solares na estação de aquecimento (Inverno) quando o Sol está mais baixo e reduz os ganhos solares durante a estação de arrefecimento (Verão) quando o sol está mais alto. Essas fachadas devem ter incorporado sistemas de sombreamento exterior que permitam controlar a luminosidade e a radiação direta que incide sobre os materiais transparentes, sem haver perda da visibilidade para o exterior e sem comprometer a ventilação, mantendo a temperatura interior em níveis adequados de conforto e preservando a qualidade do ar interior. Em Portugal, devido a um conjunto de fatores, recomenda-se que a área de envidraçado do alçado Sul não ultrapasse 35% (Proporção Adequada das Areas Envidraçadas, 2015).

Nas fachadas orientadas a Este e a Oeste, os efeitos da radiação solar são semelhantes, variando apenas no período do dia em que se regista os valores máximos de radiação solar incidente. A Oeste verifica-se maiores ganhos solares durante o período da tarde, enquanto que na orientação Este estes se verificam da parte da manhã. A orientação a Oeste é a mais problemática, pois a radiação incide desde as 12 horas até ao pôr-do-sol provocando a saturação da capacidade de absorção e acumulação da massa térmica do edifício (consultar tópico anterior sobre inércia térmica para uma melhor compreensão), contribuindo para o aumento da temperatura interior. Assim, é recomendável adotar um dimensionamento em termos de área, tipo de vidro e dispositivos de sombreamento mais conservadores na fachada Oeste comparativamente com a fachada Este.

Durante todo o ano, a fachada orientada a Norte regista perdas elevadas e os ganhos solares são reduzidos, tornando-a na fachada mais fria. Isto acontece porque durante a estação de aquecimento não recebe radiação direta, apenas recebe radiação difusa e, durante a estação de arrefecimento recebe pequenas frações de radiação direta no princípio da manhã e no final da tarde. Esta orientação é a ideal para integrar sistemas de ventilação natural promovendo o arrefecimento do ambiente interior e reduzindo possíveis custos com dispositivos mecânicos de arrefecimento.

Na Figura 2.1 é possível observar as variações da radiação solar ao longo do ano para a cidade de Lisboa.

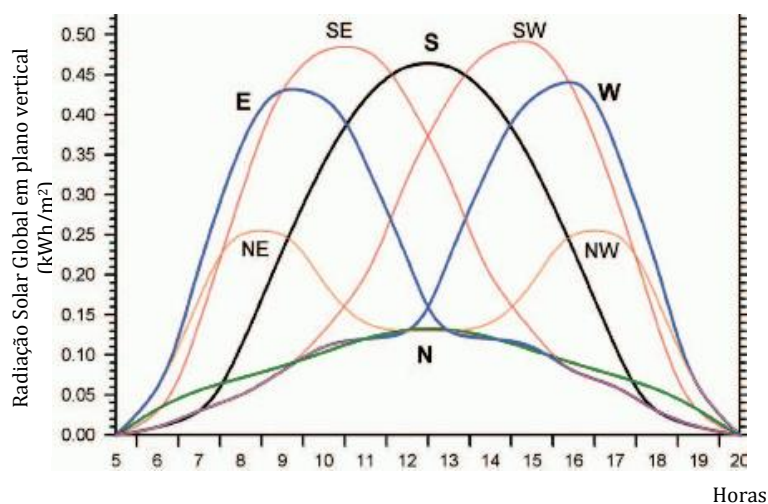


Figura 2.1 - Radiação Solar por Orientação de Fachada em Lisboa ao longo do ano (adaptado de *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, 2015*)

2.1.1.5 Sombreamento como Solução de Protecção Solar

A prevenção ou a protecção dos edifícios aos ganhos solares deve ser considerada através de soluções arquitectónicas adequadas ao tipo de edifício e ao clima em que se insere. A utilização de dispositivos de sombreamento permite o controlo da entrada de radiação solar no interior durante períodos de aquecimento e o bloqueio da mesma em períodos de arrefecimento. Existem diversos tipos de dispositivos de sombreamento como os estores venezianos, as portadas, os estores de lona e as cortinas que, além de versáteis, conferem privacidade no interior. Para além destes, existe uma variedade de elementos construtivos como as palas, os beirados e as varandas que conseguem reduzir a incidência da radiação solar.

O objetivo de analisar individualmente e em conjunto os parâmetros definidos neste subcapítulo é caminhar para um edifício com desempenhos energéticos cada vez mais elevados, dando prioridade a sistemas passivos no controlo do conforto interior.

O conceito de edifício de energia zero tem sido amplamente discutido e analisado por vários estados membros da UE. Estes edifícios têm por finalidade tornar a procura e a oferta energéticas praticamente equivalentes, onde a produção de energia eléctrica provem de fontes de energia renovável. Estes devem ser concebidos com as mínimas necessidades energéticas através da adopção de certas medidas como, por exemplo (INETI, 2015):

- elevados níveis de isolamento e selagem em toda a envolvente do edifício;
- sistemas eléctricos, produtos e equipamentos electrónicos altamente eficientes (incluindo eletrodomésticos no caso dos edifícios de habitação);
- localização, orientação solar e enquadramentos adequados;
- design pensado para cada caso específico.

É de salientar que, apesar de o conceito de edifícios de energia zero, ou Zero-Energy Building na literatura inglesa, não ser um conceito recente, ainda não existem metodologias específicas para

desenvolver este tipo de edifício devido ao elevado número de variáveis que tal implicaria. Desta forma, o contínuo aprofundamento de materiais e metodologias que contribuam para a redução dos gastos energéticos torna-se fundamental para diminuir a pegada ecológica provocada pelo sector da construção e torná-lo numa área competitiva em termos das emissões de GEE.

2.1.2 Variáveis Climáticas

Os aspectos climáticos constituem um elemento importante a ter em conta na elaboração do projecto de uma construção e podem ser analisados pela consulta dos dados meteorológicos do local. Um adequado planeamento por parte do projectista permite que o edifício tenha condições de conforto satisfatórias, de tal forma que as características do ambiente interior não sejam totalmente controladas pelas características do ambiente exterior. Os elementos mais importantes de serem analisados são a radiação e a geometria solar, a temperatura, a humidade e a velocidade do vento (Rodrigues et al., 2009).

2.1.2.1 Radiação Solar e Geometria Solar

A radiação solar é a energia emitida pelo sol e transmitida sob a forma de radiação electromagnética. Os gases presentes na nossa atmosfera constituem um factor determinante na quantidade e qualidade da radiação recebidas, uma vez que estes promovem fenómenos como a absorção, a reflexão, a refração e a difusão da radiação. Desta forma, a radiação global que atinge a superfície terrestre e que afeta o desempenho térmico dos edifícios é decomposta em radiação direta (atravessa a atmosfera unidirecionalmente) e em radiação difusa (sofre múltiplas reflexões nas partículas em suspensão na atmosfera) e, dependendo das condições meteorológicas, a percentagem de cada uma pode variar significativamente (Rodrigues et al., 2009).

Estas partículas em suspensão na atmosfera dão lugar a uma distribuição espectral da radiação solar que pode ser analisada e classificada através do espectro electromagnético. Neste espectro podemos encontrar comprimentos de onda maiores (ondas rádio, infra-vermelha e radiação visível) em oposição a ondas de comprimentos menores (ultra-violeta, raios X e raios gama). A radiação solar na superfície terrestre compreende ondas com comprimentos entre os 100 nm a 1mm, ou seja, desde o ultra-violeta ao infra-vermelho, respectivamente.

Para além da radiação direta e da radiação difusa é ainda necessário ter em conta a radiação reflectida por um corpo ou superfície, expressa pelo albedo. O albedo é a medida da radiação solar reflectida e pode ser obtida pelo quociente entre a radiação reflectida e a radiação recebida pelo corpo. Este depende da rugosidade e do tipo de material, variando entre 3% e 85% da radiação total incidente (Faustino, 2013).

Quando a radiação solar incide sobre superfícies transparentes como os envidraçados das fachadas, esta é absorvida e emitida sobre a forma de ondas no espectro do infravermelho e visível, promovendo o aquecimento dos elementos internos. Posteriormente, os elementos re-emitem sobre a forma de radiação infra-vermelha, contribuindo mais, ou menos, para o aquecimento do ambiente circundante conforme o valor do albedo dos elementos for maior, ou menor, respetivamente. O vidro, por

sua vez, bloqueia a radiação de comprimento de onda larga (a partir de $3,5\mu\text{m}$), não dissipando o calor e contribuindo, desta forma, para o aumento da temperatura no interior.

2.1.2.2 Temperatura do Ar

A temperatura na superfície terrestre é determinada basicamente pela taxa de aquecimento e arrefecimento da superfície terrestre devido à ação direta dos raios solares que sobre ela incidem.

Portugal é caracterizado por ter um clima temperado com diferenças notórias entre a estação de aquecimento e a estação de arrefecimento. Desta forma, o dimensionamento do edificado deve ser orientado para atender às melhores condições de conforto tanto no Inverno como no Verão.

De acordo com o RCCTE (RCCTE, 2006), o país encontra-se dividido em três zonas climáticas de Inverno (I_1, I_2 e I_3) e em três zonas climáticas de Verão (V_1, V_2 e V_3). Este zonamento vem dar ênfase à diversidade da ação climática que existe sobre os edifícios e servir de guia na definição das melhores soluções a adoptar para cada região.

2.1.2.3 Humidade

A humidade presente no ar é regulada pela vegetação e pelo ciclo hídrico. As chuvas, os lagos, os rios, e os mares contribuem para a evaporação de água, enquanto que a vegetação contribui através de fenómenos de evapotranspiração.

Em ambientes urbanos, a excessiva ocupação dos solos pelos edifícios e vias de comunicação conduziram à diminuição de espaços verdes provocando uma redução na humidade relativa do ar.

Em Portugal Continental, a humidade do ar não tem uma influência direta significativa no comportamento higrotérmico de edifícios (Rodrigues et al., 2009). Apesar disso, a contribuição da humidade para fenómenos de condensação e para dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar no Verão não devem ser desprezados.

2.1.2.4 Vento

A radiação solar que atinge a superfície terrestre varia conforme a latitude que se está a considerar, provocando um aquecimento desigual do globo terrestre. Este diferencial de temperatura gera energia potencial que se transforma em energia cinética pela elevação do ar quente na região do equador, abrindo caminho para a entrada de ar frio que vem do Norte e do Sul. O vento é também influenciado por fatores como a diferença de altitude, diferentes topografias ou pelo atrito do solo.

A velocidade do vento e a sua direção predominante têm um impacto muito significativo na análise e no dimensionamento dos sistemas de ventilação natural dos edifícios, no seu comportamento térmico e no controlo das humidades interiores (Rodrigues et al., 2009). Desta forma o RCCTE impõe um valor mínimo de renovações de ar por hora de 0,6.

2.1.3 Elementos Transparentes nas Fachadas

O vidro é um material muito utilizado na indústria da construção civil, pois permite a entrada de luminosidade, proporciona uma sensação de conforto e confere amplitude ao ambiente interior.

Da radiação incidente sobre o envidraçado uma parte é reflectida directamente para o ambiente exterior, outra parte é transmitida directamente para o ambiente interior e a restante é absorvida pelo vidro. Da radiação absorvida, parte é transmitida posteriormente para o exterior e outra parte para o interior (Rodrigues et al, 2009).

Quando exposto à radiação solar, o envidraçado realiza trocas de calor entre o ambiente interior e o ambiente exterior. Este fenómeno ocorre sobre três mecanismos distintos, condução através do vidro e do caixilho, radiação através das superfícies do envidraçado e convecção pelo ar da câmara de preenchimento no caso de se tratar de vidros duplos ou múltiplos (Faustino, 2013). Desta forma, uma escolha adequada do tipo de vidro a aplicar em fase de projecto tem repercussões muito significativas em termos de conforto interior e de poupanças com necessidades energéticas futuras do edifício.

Actualmente existe uma gama muito variada de vidros disponíveis no mercado com várias funções e finalidades e, por isso, é necessário compreender e analisar alguns parâmetros como o coeficiente de transmissão térmica, o factor solar, o coeficiente de transmissão luminosa e o coeficiente de reflexão luminosa, para se poder definir o vidro que melhor se ajusta às características pretendidas.

O coeficiente de transmissão térmica (U) nos vidros quantifica o fluxo de calor que atravessa uma superfície de 1m^2 de envidraçado numa hora, separando dois ambientes com diferenças de temperatura de 1°C . Este parâmetro é deduzido considerando um regime permanente e tem em consideração os três fenómenos de transmissão de calor (condução, convecção e radiação). Quanto maior o valor de U de um vidro menor é a sua resistência térmica e menor será o isolamento entre o ambiente exterior e o interior.

O factor solar do vidro (g) define a relação entre o ganho de calor através do vidro (pela parcela da transmitância e pela parcela da absortância) e a radiação solar total incidente. Este parâmetro indica a parcela de radiação solar que atravessa o vidro para o ambiente interior, ou seja, quanto maior for o factor solar maiores são os ganhos solares pelo envidraçado.

O factor solar depende também do ângulo de incidência solar, mas, segundo Rodrigues et al., (2009) as propriedades ópticas do vidro só se alteram para valores de inclinação dos raios solares muito elevados sendo que, até ângulos de incidência de 50° , estas propriedades mantêm-se praticamente inalteradas. Segundo Faustino (2013), o factor solar dos vidros que se encontram actualmente no mercado varia entre 0,10 (para vidros duplos de cor azul) e 0,90 (para vidros simples claros).

O coeficiente de transmissão luminosa traduz a percentagem do fluxo luminoso transmitido através do vidro para o ambiente interior. Quanto maior for este factor maior é a iluminação natural no interior do edifício e melhor é a visibilidade entre o interior e o exterior. No entanto, se este coeficiente for elevado pode provocar problemas de encandeamento que podem dificultar o trabalho com aparelhos com ecrãs. Os vidros actualmente disponíveis no mercado têm coeficientes de transmissão luminosa que variam entre 5% e 91% (Faustino, 2013).

O coeficiente de reflexão luminosa indica a percentagem de radiação no espectro visível que é directamente reflectida pelo vidro. Em termos práticos, este parâmetro define a capacidade que o vidro

tem de se comportar como um espelho. Quanto mais elevado for este coeficiente, menor será a transmitância e, conseqüentemente, menor será a luz natural presente no ambiente interior. Para os vidros disponíveis no mercado, este coeficiente pode variar entre 5% e 60% (Faustino, 2013).

Por vezes os vidros existentes nas fachadas dos edifícios são deficientes quanto ao isolamento de energia desejado, tornando o ambiente interior desconfortável e danificando objectos como peças de mobiliário. A película de controlo solar, desenvolvida para a aplicação em envidraçados na indústria da construção civil, tem como objectivo principal reduzir as cargas térmicas de um espaço interior, impedindo a passagem de radiação em todo o espectro de radiação solar ou até impedindo a passagem de radiação de certos comprimentos de onda específicos (foto-selectiva) conforme o objectivo final que se pretenda atingir. Este tema será abordado no subcapítulo 2.2 do presente capítulo.

2.2 Películas

2.2.1 Contexto Histórico

O conceito de película de controlo solar é relativamente recente. Em 1960 desenvolveram-se as primeiras películas cujo principal objectivo era controlar os ganhos e as perdas energéticas resultantes da radiação solar. Estas conseguiam bloquear grande parte da radiação em todo o espectro electromagnético. Esta descoberta, aparentemente benéfica no controlo dos ganhos energéticos, levantou grandes problemas de visibilidade no interior dos edifícios com a redução da radiação no espectro da luz visível. Em alguns casos, houve necessidade de se recorrer a aparelhos de iluminação artificial para garantir os níveis mínimos de conforto visual, conduzindo ao aumento dos consumos energéticos e criando fontes de calor internas que, sem a aplicação da película, não existiam. Além disso, a absorção excessiva de radiação solar pela película fazia aumentar a temperatura do vidro com o qual estava em contacto conduzindo a expansões maiores do que as previstas, o que, por vezes, conduzia à rotura do vidro, especialmente nos casos de vidros duplos com película aplicada pelo interior (Florida Solar Energy Center, 2015).

Estas conseqüências estavam em desacordo com o próprio conceito de película e incentivaram a investigação e o desenvolvimento de novos materiais que pudessem ser incorporados no processo de fabrico para a atenuação dos efeitos indesejados.

Nos anos 70, com a revolução industrial no seu auge, houve necessidade de se desenvolver películas mais eficientes e capazes de dar resposta às necessidades de conforto térmico nos edificadados. A incorporação de fibras de poliéster nas películas mostrou-se bastante eficiente na absorção e reflexão de radiação infra-vermelha reduzindo o calor perdido para o exterior e sem o inconveniente de diminuir a luz visível que atravessa os envidraçados (Short History of Window Film, 2015). O desenvolvimento e a investigação neste ramo caminham cada vez mais para a produção de películas espectralmente selectivas, que permitam maiores valores de transmitância para certos comprimentos de onda desejáveis ao conforto no ambiente interior e, ao mesmo tempo, impedem a transmissão de radiação noutros comprimentos de onda não desejáveis.

Actualmente existe uma gama muito variada de películas de aplicação pelo interior e de aplicação pelo exterior no mercado com diversas finalidades. A sua eficiência está directamente relacionada com o

clima, a orientação da fachada e as condições de sombreamento interior e exterior. É de salientar que as películas de aplicação pelo exterior têm uma durabilidade muito inferior às películas de aplicação pelo interior pelo facto de estarem em contacto directo com o ambiente exterior, expondo-as às condições climáticas exteriores e a possíveis danos por parte de pessoas ou objectos e, conseqüentemente, sofrerem um desgaste mais acentuado com o tempo.

2.2.2 Tipos de Películas Existentes no Mercado Português

Existe uma gama muito variada de películas que, quando bem seleccionadas e aplicadas, contribuem significativamente para a melhoria do desempenho térmico e energético dos envidraçados. Estas películas podem ser utilizadas na melhoria de envidraçados para automóveis ou edifícios. No entanto, no âmbito de estudo deste trabalho, apenas serão apresentadas as películas utilizadas na indústria da construção civil.

Existem películas com diversos objectivos para aplicação em construções existentes. Seguidamente apresenta-se uma lista das películas comercializadas pelos principais distribuidores em Portugal e as suas principais características (Llumar, 2015).

- **Controlo Solar:** diminuem o fator solar do envidraçado, ajudando a controlar os aumentos de temperatura nos espaços interiores, contribuindo para a redução dos consumos de energia com sistemas de arrefecimento.
- **Protecção dos raios Ultra-Violeta (UV):** Impedem a entrada da radiação no espectro da radiação UV, protegendo os materiais no seu interior, como o mobiliário, os pavimentos, as cortinas. São muito recomendadas para aplicação em museus ou galerias de arte, pois ajudam a prevenir o envelhecimento precoce causado pela exposição prolongada aos raios UV.
- **Películas de Baixa Emissividade:** melhoram o isolamento térmico do vidro e contribuem para a redução dos gastos com energia tanto no verão como no inverno, mantendo a temperatura interior nos níveis de conforto desejado.
- **Películas de Redução de Encadeamento/Brilho:** Reduzem o encadeamento e as reflexões provocadas em aparelhos electrónicos, melhorando as condições de trabalho no interior.
- **Películas de Protecção e Segurança:** têm a capacidade de absorver energia proveniente de um impacto e segurar os estilhaços resultantes de uma quebra, protegendo pessoas e bens materiais e contribuindo para a durabilidade do vidro. São recomendadas para aplicação em envidraçados escolares, de centros de saúde e complexos desportivos.
- **Películas de Protecção:** retardam ou impedem a entrada de pessoas no interior das habitações, constituindo uma barreira na entrada de intrusos. Podem também ter a função de impedir a visibilidade do exterior para o interior, preservando a privacidade dos utilizadores.
- **Películas Anti-graffiti:** são transparentes e funcionam como uma camada de sacrifício. Quando o vidro é alvo de vandalismo a película pode ser facilmente removida sem deixar traços dos estragos causados. Mesmo com a utilização e remoção de várias destas películas nos vidros, o custo continua a ser menor do que substituir o vidro existente por um novo.

- **Películas Decorativas:** existe uma oferta muito grande de películas para a decoração de interiores com variadas gamas de cores e padrões que melhoram a estética de um envidraçado e aumentam o leque de possibilidades de novos designs nos edifícios.

2.2.3 Constituição Típica de uma Película de Controlo Solar

As películas de controlo solar têm como função modificar o factor solar de um envidraçado, através da modificação de parâmetros como a transmissão, a reflexão, a absorção, a transmissão de raios UV e a transmissão de luz visível (*High Performance Window Film, 2014*).

As películas são constituídas por várias membranas de diferentes materiais intercaladas entre si. Na Figura 2.2 podemos ver a estrutura típica de uma película de controlo solar.

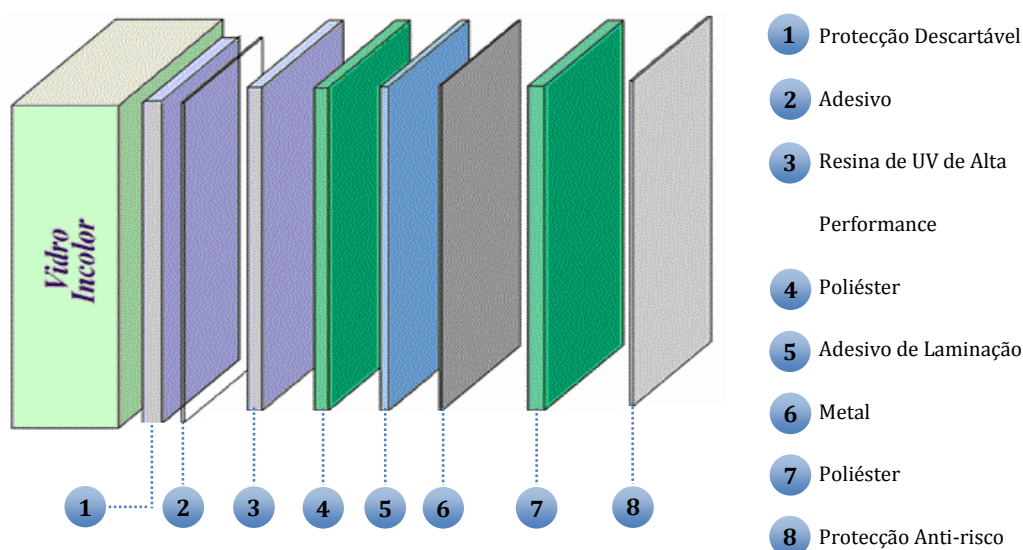


Figura 2.2 - Estrutura típica de uma película de controlo solar (adaptado de SkinGlass, 2015)

Como se observa na Figura 2.2 pode-se encontrar oito camadas distintas numa película de controlo solar (European Window Film Association, 2015):

1. Protecção Descartável: esta película é geralmente de poliéster e serve para proteger o adesivo de possíveis contaminações se estivesse exposto ao ar livre. Só deve ser removida antes da sua aplicação no envidraçado.

2. Adesivo: os adesivos utilizados na película de controlo solar podem ser de dois tipos, adesivos sensíveis à pressão (ASP) e adesivos activados com água. Os ASP formam uma ligação com o vidro através da aplicação de forças de pressão, sem a necessidade de se aplicar qualquer tipo de solvente, água ou calor para garantir a ligação entre as duas superfícies. Pelo contrário, os adesivos activados com água, tal como o nome indica, necessitam de água para garantirem uma correta aderência, formando ligações químicas fortes com a superfície do vidro; estas reações

químicas conferem grande durabilidade e um aspecto mais transparente do que os ASP; no entanto, a sua remoção ou substituição pode ser bastante complicada devido à forte aderência com o vidro.

3. Resina de UV de alto desempenho: tem como função prevenir a entrada de radiação no espectro do ultravioleta protegendo as camadas de poliéster e o adesivo de laminação. Pode estar incorporada nos adesivos ou na própria camada de poliéster. Esta resina melhora o desempenho térmico da película de controlo solar contribuindo para reduzir os ganhos solares e proteger o conteúdo interior do edifício de degradações precoces por exposição aos raios UV.

4 e 7. Poliéster: a membrana de poliéster oferece boas características ópticas, térmicas, mecânicas, físicas e químicas à película. É bastante durável, resistente, flexível e resiste a altas e baixas temperaturas. Pode ter diferentes tipos de acabamento, como as resina de UV ou os adesivos, o que o torna um material bastante versátil. Nas películas de controlo solar existem várias camadas de poliéster, ligadas através de processos de laminação, melhorando a capacidade da película para absorver e reflectir radiação. O poliéster pode ter incorporado óxidos metálicos com a finalidade de reflectir radiação com diferentes comprimentos de onda.

5. Adesivo de laminação: o adesivo de laminação serve para unir várias camadas de poliéster através de processos de laminação. Por vezes, vêm incorporados nas próprias membranas de poliéster.

6. Metal: o metal presente nas películas de controlo solar vem incorporado na membrana de poliéster e tem como função reduzir os ganhos solares pelo envidraçado. O metal utilizado é normalmente o alumínio e pode reduzir os ganhos solares em cerca de 80% e reduzir a radiação visível em cerca de 15 a 70%.

8. Protecção anti-risco: esta camada de acabamento fica em contacto com o ambiente interior do edificado e tem como função proteger a película do desgaste normal, de acidentes e de variações no ambiente interior.

2.2.4 Processo de Fabrico

Muitas películas são fabricadas com depósitos de metais no respetivo substrato de poliéster. Estas possuem bastantes propriedades de controlo solar, pois conseguem reflectir uma grande quantidade de radiação solar. São tradicionalmente designadas por películas refletoras ou metalizadas. Há, ainda, novas películas no mercado que contêm metal ou óxidos metálicos, mas que não aparentam, visualmente, ser refletoras.

Existem dois processos de fabrico para as películas metalizadas:

- Metalização ou Metallizing;
- Pulverização Catódica ou Sputtering.

Ambos os processos são conhecidos como um revestimento a vácuo na indústria das películas em envidraçados.

A metalização é o processo através do qual um metal, geralmente o alumínio, é aplicado em camada (o chamado coating ou revestimento) no substrato de poliéster da película, ao qual é adicionada, por laminação, outra camada de poliéster. Estes produtos são excelentes no controlo solar, sendo capazes de refletir 80% do total de radiação solar. Como este processo de metalização pode ser controlado, a espessura da camada de alumínio pode ser fabricada com precisão. A variedade de tolerâncias permitida pelas diferentes espessuras permite que haja diferentes níveis de transmissão de luz visível, variando geralmente entre 15-70%, afetando positivamente a performance do produto.

A combinação da camada com o substrato de alumínio com outro substrato tingido, em vez de transparente, permite que haja várias versões coloridas deste tipo de películas. Estas, por sua vez, poderão ter um aspeto uniforme com vários níveis de transmissão de luz e de controlo solar.

A pulverização catódica ou sputtering é um processo de fabrico que inclui uma grande câmara de vácuo, uma atmosfera de gás inerte (ou reativo) e energia elétrica. A energia elétrica transmite uma carga negativa aos átomos ou moléculas do gás. A pressão de vácuo (que é extremamente menor do que a pressão da atmosfera normal) permite que as partículas eletricamente negativas circulem livremente a alta velocidade na câmara de vácuo. Quando estas partículas negativas embatem num cátodo (que é o metal que será aplicado na película), os átomos desse metal são expulsos a grande velocidade. Estes embates criam o substrato para a película, uma fina camada de óxido metálico.

Este tipo de películas têm um excelente desempenho no controlo solar, tal como as resultantes do processo de metalização. Diferem, especialmente, na versatilidade inerente ao processo de fabrico, uma vez que neste último várias camadas de diferentes metais podem ser aplicadas a uma mesma película, resultando em cores únicas e elevados níveis de transmissão seletiva.

2.2.5 Simulação Energética de Películas em Envidraçados

Li et al. (2004) realizou um estudo em dois escritórios sediados em Hong-Kong, com sistemas de arrefecimento e com um rácio de envidraçado elevado onde, num deles, foram instaladas películas de controlo solar. O outro escritório, em tudo idêntico, permaneceu com os envidraçados sem películas. Em ambos os espaços, foram feitas várias medições e avaliações diárias de parâmetros como os ganhos de energia solar, os níveis de iluminação interior e de consumo elétrico. Concluiu-se o seguinte: no escritório com o uso de película, foi refletida até 30% do total de radiação solar, que foi tanto maior quanto maior a quantidade de radiação solar recebida; a redução da transmissão de luz visível manteve-se constante, independentemente da radiação captada; os impactos na poupança energética dependeram de outros fatores, como a forma arquitetónica do edifício e hora do dia.

Li et al. (2008) analisou a performance energética e de iluminação num espaço de escritórios amplo e dotado de sistema de arrefecimento. Para tal, foram feitas medições e avaliações em dois estádios diferentes: no primeiro, foram usados, apenas, controlos de escurecimento fotoelétricos e, na segunda etapa, avaliou-se o impacto da combinação destes últimos com o uso de películas de controlo solar nos envidraçados do espaço. Os parâmetros avaliados foram o consumo de energia com iluminação elétrica e sistemas de arrefecimento, a transmissão de luz visível e de radiação solar. Os resultados disseram respeito: à poupança de energia elétrica, pela iluminação e arrefecimento, que foi consideravelmente

reduzida na presença das películas de controlo solar; às variações sazonais que influenciaram significativamente o uso dos sistemas de arrefecimento.

Yin et al. (2012) estudou a poupança energética permitida pela aplicação de películas de controlo solar num edifício comercial em Shanghai. Para o efeito, confrontou duas simulações anuais do desempenho energético do mesmo edifício, uma com o uso da película e outra sem película. O consumo energético diário foi a variável aferida. Foi possível concluir que: o uso de películas permitiu reduzir tanto o tempo como o pico mensal de consumo de eletricidade; a zona norte do edifício foi o local com menos ganhos energéticos por radiação solar, pelo que o uso de película de controlo solar nesta região teve pouco impacto; apesar de o uso de películas ter reduzido os custos anuais e os picos mensais do consumo de eletricidade, aumentou a necessidade de iluminação pela diminuição da transmissão de luz visível.

Moretti et al. (2015) investigou o impacto do uso de películas de controlo solar versus a sua ausência em dois escritórios idênticos de um edifício localizado na Perugia. Para tal, avaliou a radiação solar recebida, o conforto térmico, a iluminação interior e a luz visível transmitida. Os resultados mostraram que: houve uma redução de 60% nos ganhos de energia por radiação solar, independentemente das variáveis climatéricas; o uso de películas permitiu reduzir a média diária de iluminação elétrica em cerca de 50%, tanto em dias soalheiros como em tempo encoberto; a diminuição de 30% no uso de sistemas de arrefecimento permitiu atingir o conforto térmico sem recurso a energia elétrica.

Na Tabela 2.1 pode-se observar os resultados destes quatro estudos.

Tabela 2.1- Resumo dos estudos de simulação energética com películas

Referência	Clima	Tipo de edificio	Tipo de película	Variação de Temperatura	Poupança energética	
					Luz elétrica	Arrefecimento
Li et al (2004)	Subtropical	Comercial construído em 1985	Película de controlo solar	-	-0.113 kWh/dia	0.59 kWh/dia
Li et al (2008)	Subtropical	Comercial	Película de controlo solar	-	Entre 0.72 e 1.24kWh/dia, (16.8% a 28.9%)	Entre 37 e 62kWh/dia
Yin et al (2012)	Subtropical	Museu	Película de controlo solar tipo SnS-CuxS	-	7.3-8.0%,	56% e 44%
Moretti et al (2015)	Moderado	Multifuncional	Película de controlo solar	-2°C a -3°C com uso de película e sem sistema de arrefecimento	Cerca de 15 %	Cerca de 29%

2.2.6 Exemplos Práticos de Aplicação de Películas em Edifícios

Na Tabela 2.2 e na Tabela 2.3 apresentam-se casos práticos de aplicação de películas em edifícios comerciais e em edifícios residenciais, respectivamente.

Tabela 2.2 - Resumo de casos de aplicação de películas em envidraçados de edifícios comerciais

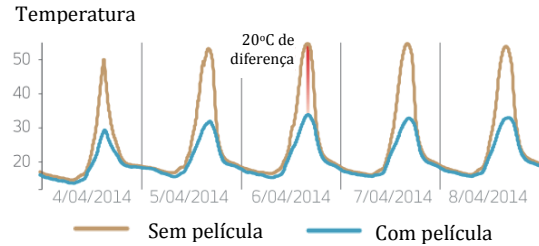
Caso de Estudo	Características do Edifício	Problema	Solução	Resultado	Fonte
Centro Comercial Diagonal Mar em Barcelona, Espanha (Figura 2.4 e Figura 2.5). Intervenção realizada em Abril de 2015.	O centro comercial Diagonal Mar foi construído em 2002 e é um dos maiores da Catalunha, tem 88.000 m ² de área útil e atrai mais de 16 milhões de visitantes por ano. Este edifício tem uma cobertura em clarabóia de 4.000 m ² que permite a entrada de luz natural.	Devido à elevada área de envidraçado na cobertura, a zona da restauração que se situa no último piso do centro comercial apresentava temperaturas elevadas, causando mesmo ofuscação nas zonas de trabalho e conduzindo ao mau estar dos trabalhadores e à diminuição da produtividade no local de trabalho.	Foram aplicados 4.000 m ² de película de controlo solar pelo exterior (XTRM SkyLite S20X) nos vidros da clarabóia. Características da película Hanita Coatings (2015): - Transmitância de luz visível: 15% - Reflexão de luz visível (interior): 63% - Redução da radiação UV: 99,9% - Total de energia reflectida: 64% - Total de energia transmitida: 10% - Total de energia absorvida: 26% - Redução do brilho: 83% - Coeficiente de Sombreamento: 0,20 - Factor solar: 0,17 - Redução de energia: 83%	A aplicação da película nas clarabóias diminuiu o aquecimento excessivo e a luz solar. A temperatura na cobertura reduziu em cerca de 20°C, em comparação com o mês de Junho do ano anterior. Estima-se que os custos com arrefecimento foram reduzidos em cerca de 11%, contribuindo para uma economia anual estimada em 20.000 euros.  <p>Temperatura</p> <p>4/04/2014 5/04/2014 6/04/2014 7/04/2014 8/04/2014</p> <p>— Sem película — Com película</p> <p>20°C de diferença</p> <p>Figura 2.3 - Temperatura média perto da clarabóia (Adaptado de [113])</p>	Hanita Coatings (2015)
Empresa Thomas Cook HQ - Zwijnaerde, Bélgica (Figura 2.6 e Figura 2.7)	É um edifício de escritórios com 6000 trabalhadores construído em 1996 e com 2000 m ² de área de envidraçado. Tem três pisos onde o piso intermédio é o piso térreo e contém um átrio todo envidraçado.	Temperaturas superiores a 30 ° C (ambiente de trabalho desagradável). Problemas de ofuscação que põem em causa a produtividade dos trabalhadores. A ventilação é reduzida especialmente nas zonas onde se registam as temperaturas mais elevadas e não existem sistemas de ar condicionado em todos os espaços.	Foram instalados quase 1000m ² de película Solar Gard Silver 35 de controlo solar. Características da película Solar Gard, 2015: - Transmitância de luz visível: 33% - Reflexão de luz visível (interior): 36% - Redução da radiação UV: >99% - Total de energia reflectida: 32% - Total de energia transmitida: 23% - Total de energia absorvida: 45% - Redução do brilho: 61% - Coeficiente de sombreamento: 0,41 - Factor solar: 0,35 - Redução de energia: 64%	A película de controlo solar instalada promoveu a rejeição de 61% da radiação solar e maximizou a luz que entrava pelas janelas devido a um uso menor dos estores solares. Reduziu 62% o brilho solar. O ambiente de trabalho melhorou e as queixas de má disposição no escritório devido ao excesso de calor acabaram. A instalação da película ocorreu em duas semanas sem provocar distúrbios no normal funcionamento do escritório.	Solar Gard, 2015



Figura 2.4 - Vista aérea da clarabóia do centro comercial Diagonal Mar em Barcelona (Hanita Coatings, 2015)



Figura 2.5 - Vista Interior da Clarabóia do Centro Comercial Diagonal Mar em Barcelona (Hanita Coatings, 2015)



Figura 2.6 - Fachada do Edifício Thomas Cook em Zwijnaerde, Bélgica (Google Street View, 2015)



Figura 2.7 - Fachada Envidraçada do Edifício Thomas Cook em Zwijnaerde, Bélgica (Solar Gard, 2015)

Tabela 2.3 - Resumo de casos de aplicação de películas em envidraçados de edifícios residenciais

Caso de Estudo	Características do Edifício	Problema	Solução	Resultado	Fonte
Habitação nos subúrbios de Chicago, Illinois, EUA (Figura 2.8 e Figura 2.9)	Residência com 4300 m ² , com tetos altos e janelas grandes que permitem a entrada de muita luz natural. Está localizada junto a um lago, com vista sobre a água de quase todas as divisões.	As janelas deixavam entrar muita radiação causando problemas de encadeamento, ganho excessivo de calor solar e variações desconfortáveis do ambiente interno. Soluções como cortinas, estores ou persianas alteram a estética do edifício e impedem a vista para o exterior.	Aplicação de 46 m ² de película Solar Gard Stainless Steel 30 Solar Gard (2015) com as seguintes características: - Transmitância de luz visível: 34% - Reflexão de luz visível (interior): 17% - Redução da radiação UV: >99% - Total de energia reflectida: 16% - Total de energia transmitida: 30% - Total de energia absorvida: 54% - Redução do brilho: 62% - Coeficiente de sombreamento: 0.54 - Factor solar: 0.46 - Redução de energia: 54%	O desempenho da película instalada: preservou as vistas panorâmicas para o lago, bloqueou mais de metade do total da energia solar incidente e quase toda a energia ultravioleta (>99%). O clima no interior da habitação ficou mais confortável, as mobílias e obras de arte ficaram protegidas de danos relacionados com a exposição aos raios UV e os custos com a energia baixaram.	Solar Gard, 2015
Habitação privada em Atlanta, Georgia, EUA (Figura 2.10 e Figura 2.11)	Habitação em Atlanta com 1022 m ² de área. Com grande área de envidraçados em quase todas as fachadas.	Elevados níveis de ofuscamento e de calor no interior da habitação. Seis aparelhos de ar condicionado funcionavam regularmente e em simultâneo, mas eram ineficazes em eliminar a presença de inúmeros pontos quentes e frios ao longo do espaço. Neste caso de estudo a preservação da vista era um dos requisitos exigidos.	Foram instaladas películas de controlo solar DR-25 SR CDF e DR-35 SR CDF com as seguintes características, respectivamente Llumar (2015): - Transmitância de luz visível: 22% / 36% - Reflexão de luz visível (interior): 13% / 13% - Redução da radiação UV: >99% / >99% - Total de energia reflectida: 26% / 19% - Total de energia transmitida: 25% / 35% - Total de energia absorvida: 49% / 46% - Redução do brilho: 76% / 60% - Coeficiente de sombreamento: 0.41 / 0.52 - Factor solar: 0.35 / 0.44 - Redução de energia: 65% / 56%	Redução dos raios UV em 99; Redução de 65% do total da energia solar, o que minimizou os ganhos de calor, proporcionando mais conforto, e reduzindo substancialmente os custos com a energia de arrefecimento mecânica; A claridade óptica das películas manteve a vista para o exterior inalterada.	Llumar, 2015



Figura 2.8 - Vista Interior da Habitação nos subúrbios em Chicago Illinois nos EUA (Solar Gard, 2015)



Figura 2.9 - Vista Exterior da Habitação nos subúrbios em Chicago Illinois nos EUA (Solar Gard, 2015)



Figura 2.10 - Vista exterior da Habitação em Atlanta Geórgia, EUA (Llumar, 2015)



Figura 2.11 - Vista da fachada principal da Habitação em Atlanta Geórgia, EUA (Llumar, 2015)

3. Propriedades Ópticas de Envidraçados com Películas

O conhecimento das propriedades térmicas e ópticas dos sistemas de envidraçados são essenciais para garantir um bom desempenho térmico e energético dos edifícios. Desta forma, o desenvolvimento e actualização de programas que permitam determinar os desempenhos de diferentes combinações de produtos são fundamentais para a indústria da construção, permitindo, tanto a arquitectos como a engenheiros, fazer um planeamento rigoroso dos produtos a aplicar, procurando o melhor desempenho energético do edificado.

Neste capítulo serão introduzidos os princípios e as finalidades dos programas Window e Optics. Para cada programa serão apresentados as aproximações admitidas e as ferramentas utilizadas para a construção de diferentes casos de estudo onde se combinam várias películas com diferentes vidros. Por fim, serão apresentados e analisados os resultados do factor solar, da transmitância visível e do coeficiente de transmissão térmica para películas de aplicação pelo interior e para películas de aplicação pelo exterior.

3.1. Optics6

3.1.1. Descrição do Programa

O Optics6 é um programa americano que contém uma vasta biblioteca de vidros monolíticos e laminados, revestimentos, adesivos de laminação e películas, previamente aprovados pela International Glazing Database (IGDB). Com estes elementos é possível criar vários casos de estudo que envolvam vidros simples, laminados e com proteções metálicas, usando várias películas disponíveis no mercado. Ao contrário de outros programas, este software torna-se muito prático para um utilizador comum, pois é possível construir o sistema de vidro e película que se pretende analisar, sabendo as características ópticas de cada um dos elementos separadamente.

Para se submeter uma nova película a aprovação pela IGDB e poder utilizá-la no Optics, os testes devem seguir as normas ditadas pela National Fenestration Rating Council (NFRC). O envidraçado deve ser um vidro simples sem revestimento, com uma transmissão solar superior a 0,820 e uma transmitância visível superior a 0,890, garantindo, desta forma, que a película terá valores de transmitância semelhantes ou inferiores aos do vidro sobre a qual está aplicada. Os vidros que satisfazem estes critérios são: o vidro simples de 3mm, o vidro simples de 3mm com baixo teor de ferro e o vidro simples de 6mm com baixo teor de ferro. O vidro sobre o qual foi aplicada a película, deve ser sujeito a testes separados para determinar as suas características ópticas e os dados devem ser submetidos juntamente com os dados da película com o envidraçado (Therm6.3/Window6.3, 2013).

Com este tipo de dados, o programa Optics é capaz de retirar os dados da película, conforme se pode observar na Figura 3.1.

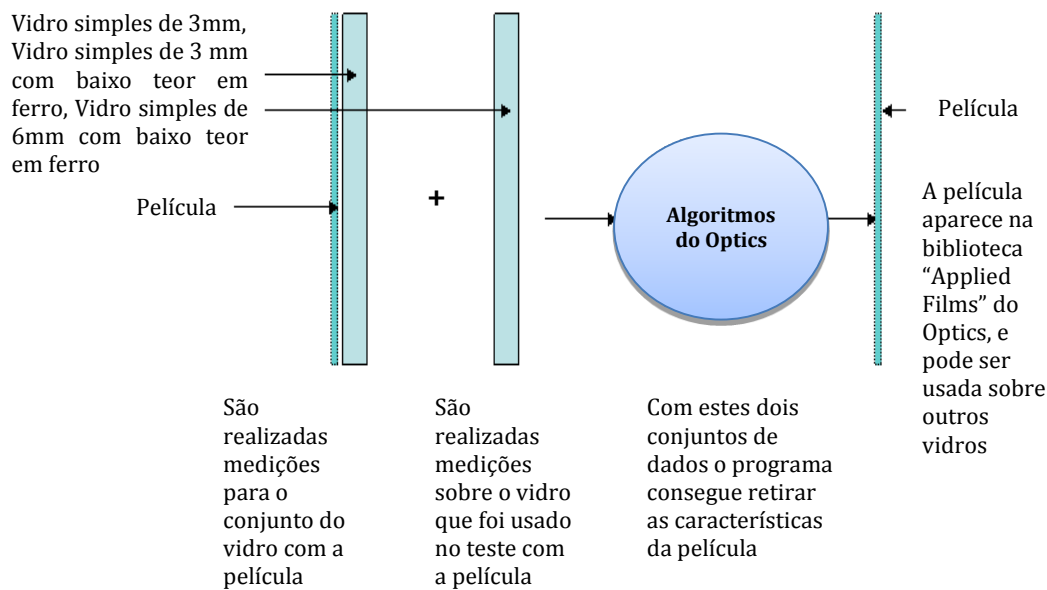


Figura 3.1 - Método de cálculo das características da película sem o envidraçado no Optics6 (adaptado de Window 5.0 User Manual, 2001)

3.1.2. Criação de um Sistema de Vidro e Película

Para a criação de um sistema de vidro e película no Optics6, têm de ser seguidos os seguintes passos (Figura 3.2):

- Utilizar o comando *database – create new user database* para a criação de uma nova base de dados do utilizador. Esta base de dados deve ser guardada com a extensão *.mdb* para poder ser utilizada pelo programa Window7.3;
- Na aba *Glazing System* clicar no botão de layer, #1, ficando este a amarelo e seleccionar a biblioteca *monolithic*. Nesta biblioteca pode-se encontrar diversos vidros de diferentes marcas e espessuras, p.e. "Planilux 4mm", clicando duas vezes no mesmo ou arrastando até ao botão de layer;
- Para aplicar películas ou revestimentos sobre o vidro basta clicar com o botão direito do rato sobre o botão de layer, #1 e seleccionar a opção *Add Film* ou *Add Coating*, respectivamente;
- Na janela *Change Glazing* clicar no campo *Film Name* e seleccionar a película a aplicar;
- Por fim, gravar este conjunto seleccionando o botão de layer #1, através do comando *File – Save as*. Para visualizar o resultado final pode-se usar a aba *Schematic* (Figura 3.3 e Figura 3.4);
- Para criar um vidro laminado deve ser seleccionado a aba *Laminate* onde a layer #1 corresponde ao vidro exterior, a layer #2 corresponde ao adesivo de laminação (aba *Add Interlayer*) e a layer #3 corresponde ao vidro interior. Para aplicar uma película no vidro laminado segue-se os passos anteriores;
- Para guardar um vidro laminado tem de se seleccionar o botão *Lamin.* e usar o comando *File – Save as*.

Nota: Para guardar um sistema de envidraçado deve-se atribuir um nome que identifique claramente o sistema e definir um ID apropriado por forma a não haver sobreposição de elementos na biblioteca do Optics.

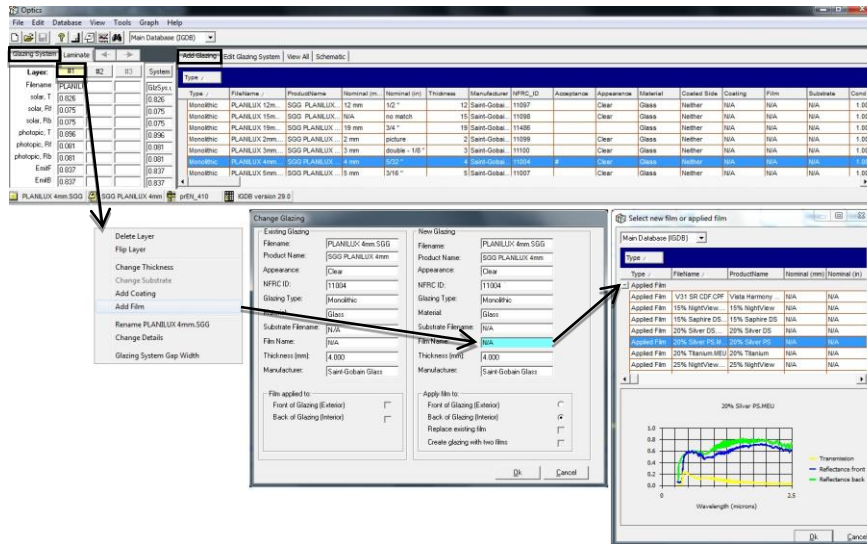


Figura 3.2 - Passos a seguir para a criação de um vidro com película no Optics 6

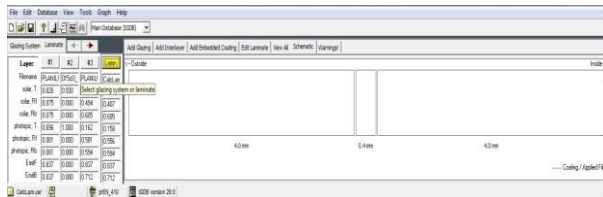


Figura 3.4 - Resultado final de um vidro duplo com película pelo interior

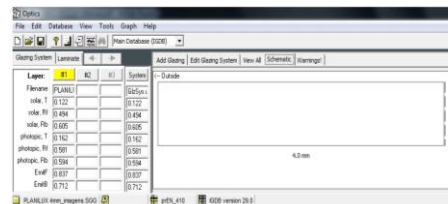


Figura 3.3 - Resultado final de um vidro simples com película pelo interior

3.2. Window


3.2.1. Descrição do Programa

O Window é uma interface que permite calcular parâmetros térmicos e ópticos de conjuntos de envidraçados, consistentes com as normas ASHRAE SPC142, ISO15099, e o National Fenestration Council (NFRC), em função das características do vidro, da câmara de preenchimento, da caixilharia utilizada e de diversos sistemas de sombreamento (Therm 6.3 / Window 6.3, 2013).

Foi desenvolvido pelo Lawrence Berkely National Laboratory (LBNL) e permite fazer ligação com outros programas como o Optics5, o THERM 5 e o RESFEN, aumentando as suas potencialidades e a biblioteca dos mesmos.

3.2.2. Criação de um Sistema de Vidro e Película

Para a determinação dos parâmetros ópticos de um sistema de vidro com película, têm de ser realizados os seguintes passos:

- Para estabelecer a ligação com a base de dados criada no Optics6 utiliza-se o comando *File – Preferences* e na aba *Optical Data*, selecciona-se o campo *Optics User database* e carrega-se o ficheiro com a extensão *.mdb* criado no Optics6 (Figura 3.5);
- Para importar a base de dados, selecciona-se o botão *Import* presente na aba *Glass Library*; no campo *Format* selecciona-se a opção *IGDB or Optics User Database* e, seguidamente, escolhe-se os ficheiros a importar atribuindo lhes um *ID* (Figura 3.6);
- Na ferramenta *Glazing System Library* seleccionar o botão *New* onde se define o nome, as condições ambientais (CEN) e o número de layers que compõem o sistema. O *Glass 1* é o vidro exterior, o *Gap 1* é o preenchimento da caixa de ar e o *Glass 2* é o vidro interior;
- Seleccionar o botão  onde aparece a biblioteca de dados do Window e a Importada do Optics6;
- Depois do sistema definido clicar em *Calc(F9)* ou F9 para efectuar os cálculos dos parâmetros específicos do sistema.

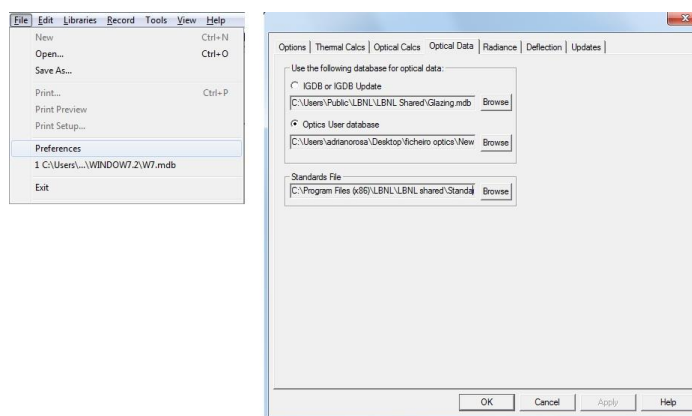


Figura 3.5 - Ligação entre a base de dados do Optics6 e do Window 7.3.8

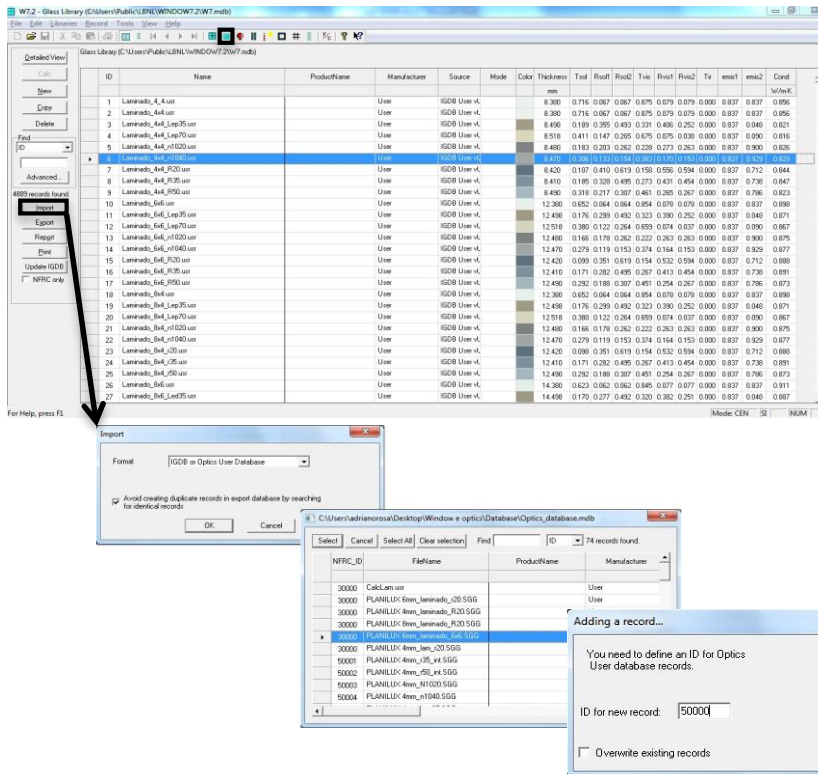


Figura 3.6 - Importar a base de dados do Optics6 e do Window 7.3.8

3.3. Validação dos Programas Window 7.3.8 e Optics6

Actualmente existem inúmeros programas de cálculo automático disponíveis para todo o tipo de materiais. A sua utilização em documentos científicos deve ser cuidadosa e, sempre que possível, os resultados devem ser comparados com os resultados existentes em regulamentos ou em fichas técnicas disponibilizadas por empresas credenciadas.

Os programas Optics6 e Window 7.3.8 foram desenvolvidos por laboratórios credenciados e com reconhecimento a nível mundial. Estes seguem a normalização definida na Europa ou nos Estados Unidos da América e são utilizados para desenvolver diversos estudos científicos referenciados e pelas próprias empresas de vidros e de películas.

Durante a realização deste trabalho todos os materiais utilizados para o estudo das propriedades ópticas dos envidraçados e das películas foram sujeitos a comparações com as fichas técnicas disponibilizadas pelas empresas. Em todos os casos, os valores fornecidos pelos programas não diferiam significativamente dos valores apresentados pelos fornecedores. Desta forma, considera-se que a validade destes programas ficou comprovada e que simulam correctamente o comportamento dos materiais.

3.4. Casos de Estudo de Vidros com Diferentes Películas

O objectivo deste estudo é perceber a influência que as películas comercializadas em Portugal têm na alteração das características ópticas de vários tipos de envidraçados. Desta forma, foram selecionados diferentes tipos de envidraçados, desde os vidros simples com várias espessuras, até aos vidros laminados e duplos com ou sem revestimento metálico. Na Tabela 3.1 são apresentados os tipos de vidro considerados e as suas características e finalidades.

Tabela 3.1 - Tipo de vidro analisados, as suas características e finalidades

Caso	Tipo de Vidro	Principais características	g	U	T_{vis}
A	Vidro Simples 4mm	<ul style="list-style-type: none"> • Vidro simples incolor fabricado através do processo “float” que garante elevada uniformidade e não apresenta praticamente distorção óptica; 	0,879	5,798	0,900
B	Vidro Simples 6mm	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizado para todo o tipo de utilizações interiores e exteriores e no fabrico de grande parte dos vidros transformados; • Elevado valor de g, U e T_{vis}, que permite elevada transmissão de energia e de visibilidade, mas apresenta má resistência térmica. 	0,861	5,731	0,892
C	Vidro Simples 8mm		0,844	5,666	0,884
D	Vidro Laminado 4x4mm	<ul style="list-style-type: none"> • São compostos por duas ou mais camadas de vidro ligadas por um ou mais filmes de polivinil butiral (PVB); 	0,804	5,609	0,875
E	Vidro Laminado 6x6mm	<ul style="list-style-type: none"> • É um vidro de segurança, pois em caso de rotura o PVB mantém os fragmentos agregados, mantendo a integridade e a resistência residual do vidro; 	0,768	5,486	0,854
F	Vidro Laminado 8x8mm	<ul style="list-style-type: none"> • Possuem elevados valores de g, U e T_{vis}, embora um pouco inferiores aos vidros simples. 	0,738	5,369	0,835
G	Vidro Laminado 8x4mm		0,768	5,486	0,854
H	Vidro Laminado 8x6mm		0,753	5,427	0,845
I	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (100%) de 16mm	<ul style="list-style-type: none"> • Têm elevados rendimentos térmicos (coeficiente de transmissão térmica cerca de duas vezes inferior ao do vidro simples e do vidro laminado); 	0,786	2,729	0,816
J	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (100%) de 16mm	<ul style="list-style-type: none"> • É constituído por dois vidros separados por um espaço hermeticamente preenchido com ar desidratado (100%); • Permite melhorar as características térmicas sem abrir mão da luminosidade. 	0,758	2,699	0,802
L	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (100%) de 16mm		0,734	2,670	0,787

Tabela 3.1 - Tipo de vidro analisados, as suas características e finalidades (cont.)

Caso	Tipo de Vidro	Principais características	g	U	T_{vis}
M	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm	<ul style="list-style-type: none"> A câmara de ar entre dois vidros é preenchida com 90% de ar e 10% de árgon. O árgon é um mau condutor de calor (gás raro) e tem elevada densidade conferindo um poder isolante superior ao sistema de envidraçado; Os valores de g, U e T_{vis} são um pouco inferiores aos dos vidros duplos com preenchimento na câmara com ar a 100%. 	0,786	2,608	0,816
N	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm		0,759	2,581	0,802
O	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm		0,734	2,554	0,787
P	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165	<ul style="list-style-type: none"> Vidro neutro com capa de protecção solar; É bastante selectivo, pois diminui praticamente para metade o valor de g quando comparado com vidros sem capa de protecção solar, diminuindo pouco o valor da transmitância visível; Confere melhor isolamento térmico que o vidro duplo sem protecção, diminuindo o valor de U em metade do seu valor. 	0,324	1,216	0,611
Q	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165		0,324	1,208	0,600
R	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165		0,335	1,201	0,587
S	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174	<ul style="list-style-type: none"> Vidro neutro com capa de protecção solar; A capa de protecção solar SKN174 confere valores de g e de T_{vis} um pouco superiores aos da protecção solar anterior SKN165, mantendo os valores de U praticamente inalterados; Foram consideradas duas protecções solares com o objectivo de perceber a influência que diversos tipos de películas têm em envidraçados com diferentes protecções solares incorporadas. 	0,399	1,216	0,692
T	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174		0,396	1,208	0,680
U	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174		0,389	1,201	0,668

Como o código de produto de películas não segue uma legenda universal, optou-se por referir uma legenda atribuída por um produtor mundial de películas como se apresenta na Figura 3.7.

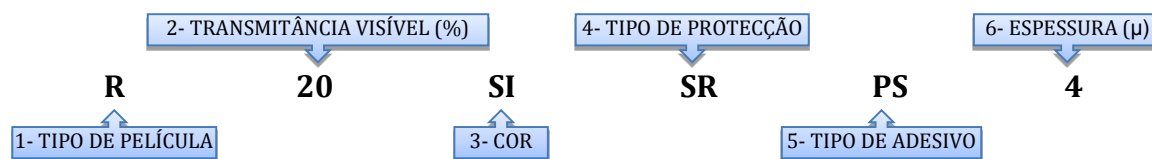


Figura 3.7 - Código de produto da película (adaptado de Performance Window Film, 2014)

Onde:

1- O tipo de película varia conforme a sua principal finalidade e pode ter as seguintes simbologias:

AU: Ultravioleta

G: Protecção Anti-graffiti

N: Neutras

NHE: Neutras aplicação pelo exterior

AIR: Especial

S: Segurança e protecção

NR: Não refletivas

R: Refletivas

RHE: Refletiva aplicação pelo exterior

RR: Refletiva de aplicação pelo exterior

UV: Barram os UVs

V: Duplamente refletivas

VE: Baixa emissividade

VS: Selectivas espectralmente

2- Valor de transmitância visível que atravessa o sistema vidro e película.

3- Os códigos de cor para as películas são:

BL: Azul

BR: Bronze

CG: Aspecto vidro estilhaçado

CL: Transparente

F: Aspecto fosco

GN: Verde

GO: Dourado

GR: Cinzento

M: Mate

OR: Laranja

RD: Vermelho

SI: Prateado

SS: Aço Inoxidável

W: Branco

YL: Amarelo

4- Camada de protecção anti-risco: SR= pelo interior, ER= pelo exterior

5- Tipo de adesivo:

HPR: Adesivo de alta resistência ao calor;

CDF: Adesivo com baixa aderência inicial e com elevada resistência ao calor;

PS: Adesivo utilizado em películas de protecção e segurança;

RPS: Adesivo de fácil remoção para a aplicação em envidraçados.

6- Espessura da película:

2: 50μ

6: 150μ

8: 200μ

15: 375μ

4: 100μ

7: 175μ

11: 275μ

Para perceber a influência que diversos tipos de películas têm na alteração das propriedades ópticas dos vidros, foram seleccionadas para análise sete tipos de películas de aplicação pelo interior e seis tipos de películas de aplicação pelo exterior. Na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3 são apresentadas as características de cada película objecto deste estudo.

Tabela 3.2 - Propriedades de sete películas de aplicação pelo interior

Películas de aplicação pelo interior	Transmissão (%)	Reflexão (%)	Absorção (%)	Emissividade	U (W/m ² K)	g	T _{vis} (%)	Redução do encadeamento (%)	Redução Total de Radiação Solar (%)
R20 SI SR HPR	14	53	33	0,71	5,3	0,21	18	79	79
R35 SI SR HPR	21	41	38	0,71	5,3	0,30	28	68	70
R50 SI SR HPR	36	27	37	0,79	5,5	0,45	47	46	55
N1020 SR CDF	21	26	53	0,90	5,8	0,33	23	73	67
N1040 SR CDF	36	16	48	0,93	5,8	0,46	39	55	54
LEP 35 SR CDF	22	46	32	0,04	3,3	0,26	34	61	74
LEP 70 SR CDF	47	19	34	0,10	3,5	0,52	70	21	48

Tabela 3.3 - Propriedades de seis películas de aplicação pelo exterior

Películas de aplicação pelo exterior	Transmissão (%)	Reflexão (%)	Absorção (%)	Emissividade	U (W/m ² K)	g	T _{vis} (%)	Redução do encadeamento (%)	Redução Total de Radiação Solar (%)
RHE20 SI ER HPR	10	62	28	0,87	5,7	0,17	14	85	83
RHE35 SI ER HPR	18	54	28	0,87	5,7	0,25	25	72	75
RHE50 SI ER HPR	33	32	35	0,87	5,7	0,41	45	49	59
NHE 1020 ER HPR	22	23	55	0,87	5,7	0,35	25	72	65
NHE 1035 ER HPR	33	18	49	0,87	5,7	0,44	38	57	56
PR 70 EXT	-	50	-	0,77	0,99	0,50	69	22	52

3.5 Análise de Resultados para Películas pelo Interior

Através dos programas Optics5 e Window 7.3.8 foi possível determinar o factor solar, o coeficiente de transmissão térmica e a transmissão visível de vários conjuntos de vidro com diversas películas de aplicação pelo interior. Este capítulo fará uma análise desses três parâmetros, em separado, apresentando sobre a forma de gráficos e de tabelas e fazendo uma breve análise de cada parâmetro.

3.5.1 Influência no Factor Solar, g

Na Figura 3.8 são apresentados os resultados do factor solar para vidros simples (casos de estudo de A a C) com três espessuras diferentes, 4mm, 6mm e 8mm e vidros laminados (casos de estudo de D a H) de 4x4mm, 6x6mm, 8x8mm, 8x4mm e 8x6mm, onde estão indicados os valores do factor solar sem película e o valor do factor solar para a película R20. Na Tabela 3.4 pode-se observar a variação provocada no factor solar quando são aplicadas as películas respectivas nos vidros de estudo.

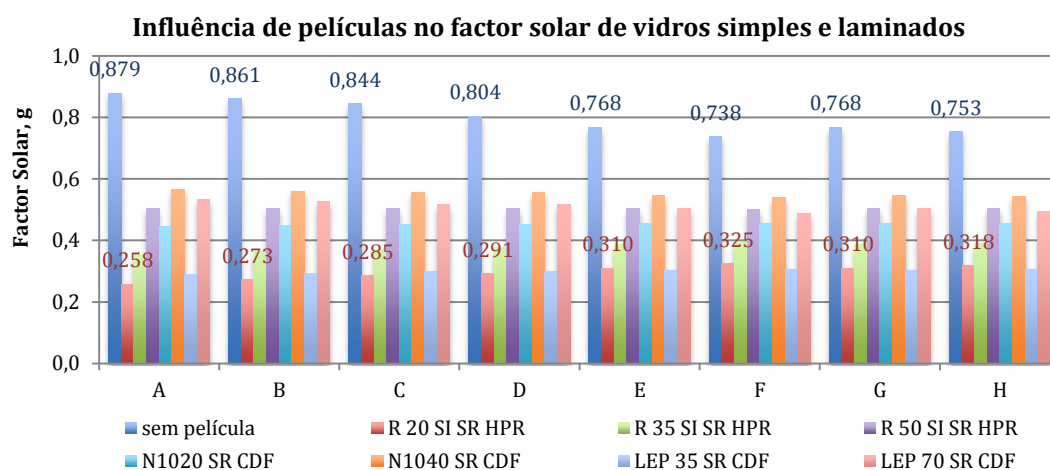


Figura 3.8 - Valores do factor g para vidros simples e laminados sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)

Tabela 3.4 - Variação do valor g (%) para vidros simples e laminados com aplicação de sete películas pelo interior

	Variação do valor g (%)						
	R 20 SI SR HPR	R 35 SI SR HPR	R 50 SI SR HPR	N1020 SR CDF	N1040 SR CDF	LEP 35 SR CDF	LEP 70 SR CDF
A	70,65	59,73	42,78	49,37	35,72	67,24	39,25
B	68,29	57,84	41,46	47,85	34,84	65,97	39,02
C	66,23	56,16	40,40	46,56	34,00	64,81	38,74
D	63,81	53,36	37,19	43,78	30,97	62,69	35,57
E	59,64	49,74	34,51	40,76	28,78	60,42	34,64
F	55,96	46,61	32,11	38,08	26,83	58,40	34,01
G	59,64	49,74	34,51	40,76	28,78	60,42	34,64
H	57,77	48,21	33,33	39,44	27,76	59,36	34,26

Pela análise da Figura 3.8 e da Tabela 3.4 conclui-se que:

- as películas interiores com maior impacto na redução do factor solar dos vidros estudados são as películas R20 e LEP 35, com reduções máximas de 70,65% e 67,24%, respectivamente, quando aplicadas em vidro simples de 4mm. Estas películas são caracterizadas pela sua elevada capacidade de reflexão proporcionando excelentes desempenhos na redução dos ganhos solares, do encadeamento e dos custos com arrefecimento;
- as películas interiores N1040 e a LEP 70 apresentam a pior redução no factor solar, com máximos de redução de 35,72% e 39,25%, respectivamente, quando aplicadas em vidro simples

de 4mm. Estas apresentam uma cor mais neutra, com baixos índices de reflexão solar e elevados índices de transmitância solar. Estas têm por objectivo proporcionar um balanço mais equilibrado entre vários factores como: a redução de ganhos solares, do encadeamento e da transmissão UV sem comprometer em demasia a passagem de luz natural que atravessa o vidro;

- analisando em detalhe as reduções no factor solar em vidros simples, é possível observar que à medida que a espessura do vidro aumenta, menor é a capacidade da película em reduzir o factor g, embora essa diferença não seja muito significativa (da ordem dos 1 a 4%);

- comparando o caso C (vidro simples de 8mm) e o caso D (vidro laminado de 4x4mm) pode-se constatar que existe uma redução entre 2 a 3% na variação do factor g constante para todas as películas interiores, demonstrando que o adesivo de laminação tem pouca influência na performance da mesma;

- comparando o caso E (vidro laminado de 6x6mm) e o caso G (vidro laminado de 8x4mm) conclui-se que os resultados são iguais, para todas as películas objecto de estudo, reforçando a ideia de que a influência das películas sobre o factor g em vidros laminados apenas depende da espessura total do vidro e não do adesivo de laminação.

Na Figura 3.9 são apresentados os resultados do factor solar para vidros duplos com câmara de preenchimento com ar (100%) (casos de estudo de I a L) e vidros duplos com câmara de preenchimento de ar (90%) e argon (10%) (casos de estudo de M a O) ambos para três espessuras diferentes, 4x4mm, 6x6mm e 8x8mm. Na Figura 3.9 estão também indicados os valores do factor solar sem película e o valor do factor solar para a película R20. Na Tabela 3.5 pode-se observar a variação provocada no factor solar quando são aplicadas as películas respectivas nos vidros de I a O.

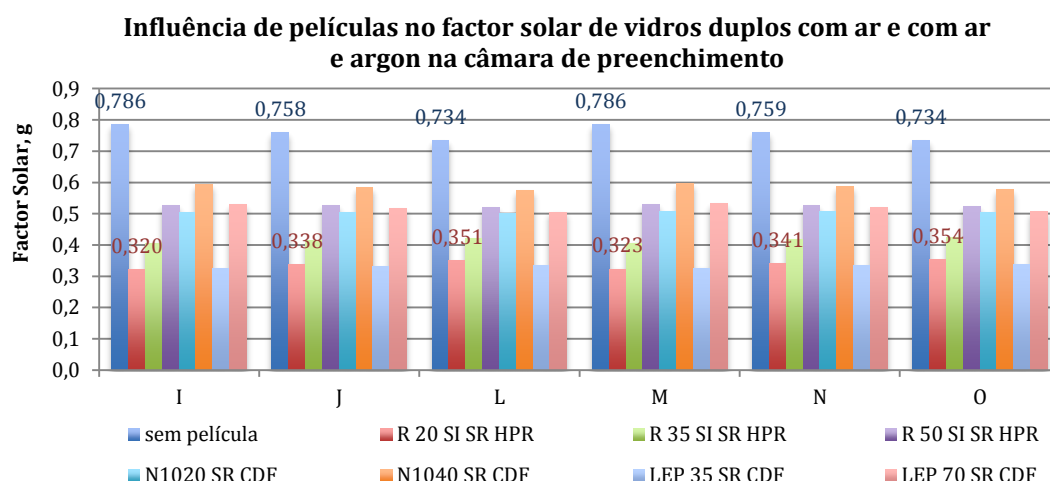


Figura 3.9 - Valores do factor g para vidros duplos sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)

Tabela 3.5 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com aplicação de sete películas pelo interior

Variação do valor g (%)							
	R 20 SI SR HPR	R 35 SI SR HPR	R 50 SI SR HPR	N1020 SR CDF	N1040 SR CDF	LEP 35 SR CDF	LEP 70 SR CDF
I	59,29	48,60	32,95	36,01	24,43	58,78	32,57
J	55,41	45,51	30,74	33,77	22,96	56,46	31,79
L	52,18	42,78	29,02	31,88	21,80	54,50	31,20
M	58,91	48,35	32,57	35,50	24,05	58,52	32,32
N	55,07	45,19	30,57	33,33	22,66	56,13	31,49
O	51,77	42,51	28,75	31,47	21,53	54,22	30,93

Pela análise dos resultados observados na Figura 3.9 e na Tabela 3.5 conclui-se que:

- a influência das películas interiores sobre o factor solar diminui significativamente quando comparada com os valores obtidos para os vidros simples e para os vidros laminados;
- comparando o caso I (vidro duplo 4x4m) com o caso C (vidro simples de 8mm) e o caso D (vidro laminado de 4x4m), ambos com a mesma espessura total de vidro, verifica-se que a influência da película interior no factor solar do vidro diminui, cerca de 6 a 11% para os vidros simples e 3 a 8% para os vidros laminados;
- os valores obtidos para os vidros com câmara de ar (100%) e os vidros com câmara de ar (90%) e argón (10%) são muito semelhantes, apresentando diferenças inferiores a 1% entre si. Isto indica que a performance de uma película interior, na alteração do factor solar do vidro, não é influenciada pelo tipo de preenchimento da câmara de ar.

Na Figura 3.10 apresenta-se os resultados do factor solar para vidros duplos com dois tipos de protecção solar, a SKN165 (casos de estudo de P a R) e a SKN174 (casos de estudo de S a U) ambos para três espessuras diferentes, 4x4mm, 6x6mm e 8x8mm, onde estão indicados os valores do factor solar sem película e o valor do factor solar para a película R20. Na Tabela 3.6 apresenta-se a variação provocada na transmitância visível quando são aplicadas películas nos vidros de P a U.

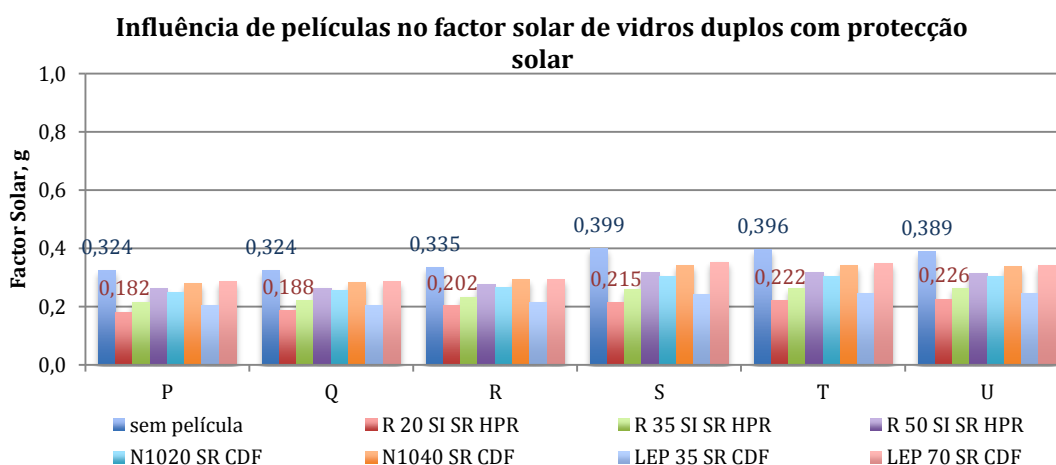


Figura 3.10 - Valores do factor g para vidros duplos com protecção solar sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)

Tabela 3.6 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com protecção solar com aplicação de sete películas pelo interior

	Variação do valor g (%)						
	R 20 SI SR HPR	R 35 SI SR HPR	R 50 SI SR HPR	N1020 SR CDF	N1040 SR CDF	LEP 35 SR CDF	LEP 70 SR CDF
P	43,83	33,33	19,14	22,84	13,58	37,65	11,73
Q	41,98	31,79	18,52	21,60	12,96	36,73	12,04
R	39,70	30,45	17,91	20,60	12,54	35,82	12,24
S	46,12	35,09	20,55	23,81	14,29	39,35	11,53
T	43,94	33,59	19,70	22,98	13,64	38,38	11,87
U	41,90	32,13	19,02	21,85	13,37	37,28	12,34

Pela análise dos resultados observados na Figura 3.10 e na Tabela 3.6 conclui-se que:

- o desempenho das películas interiores em vidros duplos com protecção solar é muito inferior quando comparada com vidros semelhantes sem protecção solar;
- comparando o caso P (vidro duplo 4x4m com SKN165) com o caso I (vidro duplo 4x4m) e o caso M (vidro duplo 4x4 com ar e argon) verifica-se que as películas têm um desempenho inferior registando-se uma diminuição de performance máxima para a película LEP70 que, nos casos I e M, apresenta uma variação de 32,57% e 32,32%, respectivamente, e no caso P apresenta uma variação no factor g de apenas 11,73%. A diminuição de performance para as espessuras 6x6m e 8x8m é da mesma ordem de grandeza que a observada para a espessura 4x4m;
- as películas N1040 e LEP70, que são películas mais neutras, não apresentam variação significativa na diminuição do factor solar de vidros com protecção solar, registando-se valores baixos de 13,58% e de 11,73%, respectivamente;
- os resultados obtidos na redução do factor solar para os vidros duplos com protecção solar SKN165 e SKN174 são muito semelhantes, indicando que o desempenho da película interior não é influenciado pelo tipo de protecção solar aplicada.

3.5.2 Influência na Transmitância Visível, T_{vis}

Na Figura 3.11 e na Tabela 3.7 apresentam-se os resultados obtidos para os valores da transmitância visível dos vidros de A a U com e sem aplicação de películas pelo interior do envidraçado.

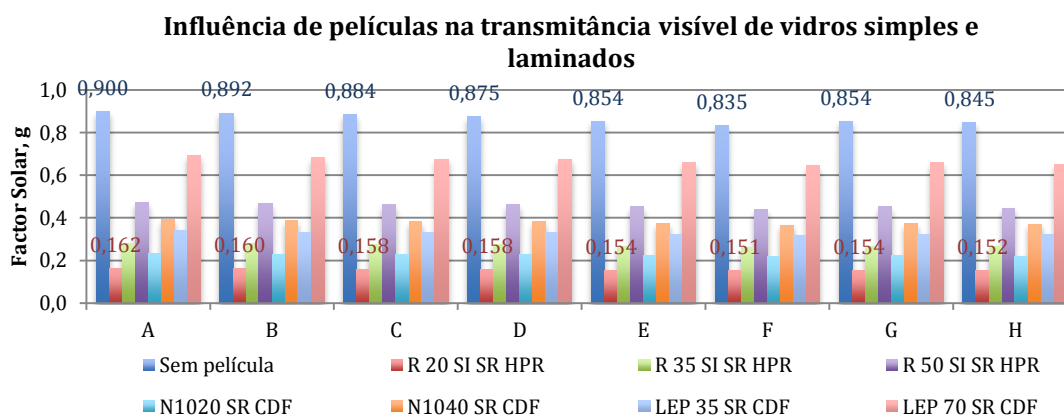


Figura 3.11 - Valores de transmitância visível para vidros simples e laminados sem película e com sete películas de aplicação pelo interior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a vermelho, respectivamente)

Tabela 3.7 - Resultados da transmitância visível para vidros com diferentes películas de aplicação pelo interior

	Vidro	Película pelo Interior						
		R 20 SI SR HPR	R 35 SI SR HPR	R 50 SI SR HPR	N1020 SR CDF	N1040 SR CDF	LEP 35 SR CDF	LEP 70 SR CDF
A	0,900	0,162	0,280	0,472	0,233	0,393	0,340	0,591
B	0,892	0,160	0,277	0,467	0,230	0,388	0,332	0,583
C	0,884	0,158	0,273	0,462	0,228	0,383	0,332	0,575
D	0,875	0,158	0,273	0,461	0,228	0,383	0,331	0,575
E	0,854	0,154	0,267	0,451	0,222	0,374	0,323	0,559
F	0,835	0,151	0,261	0,440	0,217	0,366	0,316	0,544
G	0,854	0,154	0,267	0,451	0,222	0,374	0,323	0,559
H	0,845	0,152	0,264	0,446	0,220	0,370	0,320	0,551
I	0,816	0,153	0,262	0,435	0,215	0,359	0,324	0,526
J	0,802	0,150	0,256	0,426	0,210	0,251	0,330	0,513
L	0,787	0,146	0,251	0,417	0,206	0,344	0,303	0,500
M	0,816	0,153	0,262	0,435	0,215	0,359	0,317	0,526
N	0,802	0,150	0,256	0,426	0,210	0,351	0,310	0,513
O	0,787	0,146	0,251	0,417	0,206	0,344	0,303	0,500
P	0,611	0,116	0,198	0,328	0,162	0,269	0,239	0,368
Q	0,600	0,114	0,194	0,321	0,158	0,264	0,234	0,358
R	0,587	0,111	0,189	0,313	0,154	0,257	0,228	0,347
S	0,692	0,128	0,220	0,367	0,181	0,303	0,265	0,431
T	0,680	0,125	0,215	0,360	0,177	0,297	0,260	0,420
U	0,668	0,122	0,210	0,351	0,173	0,289	0,253	0,406
ΔT_{vis} (%)		81 a 82	67 a 69	46 a 48	73 a 74	56 a 57	60 a 63	23 a 24

Da análise da Tabela 3.7 pode concluir-se que:

- os valores da transmitância visível do vidro, depois da aplicação da película, podem variar significativamente de película para película, desde valores muito baixos como é o caso da película R 20 SI SR HPR (0,1 a 0,17) até valores mais elevados como é o exemplo da película LEP70 (0,3 a 0,6);
- para os casos analisados, o vidro sobre o qual se aplica a película tem pouca influência no resultado final da transmitância visível do conjunto. A sua variação mantém-se dentro de um intervalo pequeno de valores para todos os casos de A a U;
- os valores obtidos para a variação da transmitância visível de cada película são muito próximos dos valores apresentados pelos catálogos de comerciantes.

A Figura 3.11 apresenta a redução dos valores da transmitância visível para os casos de estudo de A a H. No entanto, todos os outros casos têm a mesma proporção na redução da transmitância visível resultando numa figura semelhante e, por isso, a Figura 3.11 pode ser representativa de todos os vidros objecto deste estudo.

3.5.3 Coeficiente de Transmissão Térmica, U

O coeficiente de transmissão térmica não sofre alterações pela aplicação de películas pelo interior. Isto deve-se ao facto da espessura das películas ser muito inferior à espessura do vidro.

No Anexo A na Tabela A.1 podem ser consultados os valores do factor solar, do coeficiente de transmissão térmica e da transmitância visível para todos os casos de estudo.

3.6 Análise de Resultados para Películas pelo Exterior

Através dos programas Optics5 e Window 7.3.8 foi possível determinar o factor solar, o coeficiente de transmissão térmica e a transmissão visível de vários conjuntos de vidro com diversas películas de aplicação pelo exterior. Este capítulo fará uma análise desses três parâmetros, em separado, apresentando gráficos e tabelas e fazendo uma breve análise de cada parâmetro.

3.6.1 Influência no Factor Solar, g

Na Figura 3.12 são apresentados os resultados do factor solar para vidros simples (casos de estudo de A a C) e vidros laminados (casos de estudo de D a H), onde é possível observar os valores do factor solar do envidraçado sem película e o valor do factor solar para a película R20. Na Tabela 3.8 pode-se observar a variação provocada no factor solar quando são aplicadas as películas respectivas nos vidros de estudo.

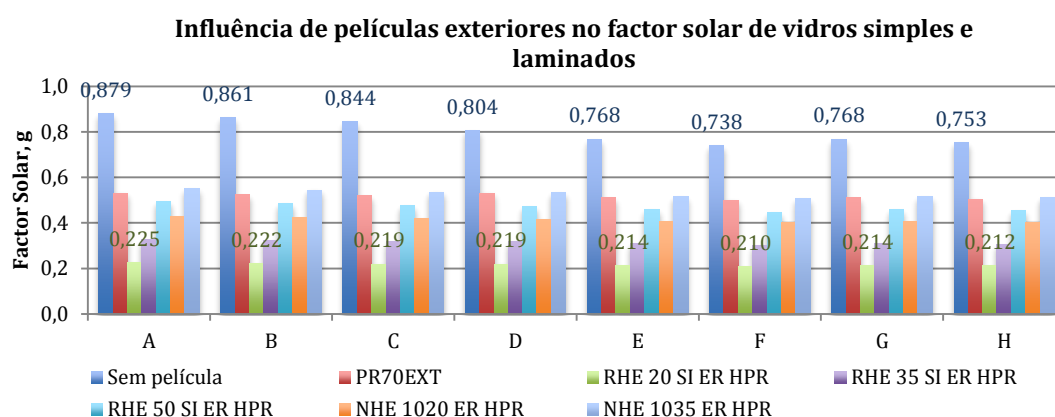


Figura 3.12 - Valores do factor g para vidros simples e laminados sem película e com seis películas de aplicação pelo exterior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a verde, respectivamente)

Tabela 3.8- Variação do factor solar g (%) para vidros simples e laminados com seis películas pelo exterior

	Variação do valor g (%)					
	PR70EXT	RHE 20 SI ER HPR	RHE 35 SI ER HPR	RHE 50 SI ER HPR	NHE 1020 ER HPR	NHE 1035 ER HPR
A	39,48	74,40	62,80	44,03	51,31	37,09
B	38,91	74,22	62,60	43,90	50,87	36,82
C	38,27	74,05	62,44	43,72	50,47	36,49
D	33,83	72,76	60,70	41,17	48,26	33,71
E	33,59	72,14	59,90	40,23	47,01	32,55
F	32,25	71,54	59,21	39,43	45,80	31,44
G	33,59	72,14	59,90	40,23	47,01	32,55
H	32,93	71,85	59,50	39,97	46,48	32,01

Pela análise da Figura 3.12 e da Tabela 3.8 conclui-se que:

- a película exterior com maior impacto na redução do factor solar dos vidros estudados é a película RHE20 SI ER HPR, com reduções máximas de 74,40% quando aplicadas em vidro simples de 4mm. A sua equivalente para aplicação pelo interior, R20 SI SR HPR, também é a película que apresenta maiores reduções no factor g pelo interior;
- tal como para as películas pelo interior, as películas pelo exterior diminuem a sua influência sobre o factor g à medida que a espessura do envidraçado aumenta;
- as películas PR70EXT e NHE1035 ER HPR são as películas que apresentam os piores resultados na redução do factor g dos vidros, reduzindo entre 32 a 40% e entre 31 a 37%, respectivamente;
- comparando o caso C (vidro simples de 8mm) e o caso D (vidro laminado de 4x4m) pode constatar-se que existe uma redução entre 1 a 4% na capacidade da película de reduzir o factor g. Estes valores são muito próximos dos valores obtidos para as películas pelo interior;
- comparando o caso E com o caso G pode-se concluir que a performance da película na redução do factor g depende da espessura total do vidro, independentemente das espessuras de cada camada de vidro laminado;

Na Figura 3.13 são apresentados os resultados do factor solar para vidros duplos com câmara de preenchimento com ar (100%) (casos de estudo de I a L) e vidros duplos com câmara de preenchimento de ar (90%) e argon (10%) (casos de estudo de M a O), onde estão indicados os valores do factor solar sem película e o valor do factor solar para a película R20. Na Tabela 3.9 pode observar-se a variação provocada no factor solar quando são aplicadas as películas respectivas nos vidros de I a O.

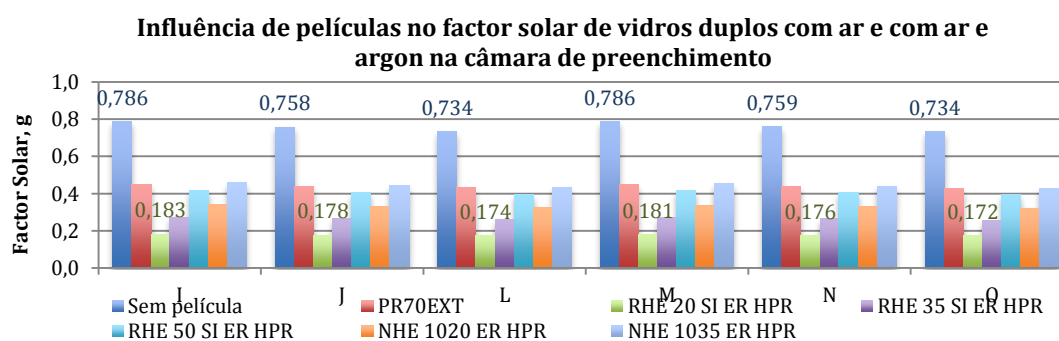


Figura 3.13 - Valores do factor g para vidros duplos sem película e com seis películas de aplicação pelo exterior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a verde, respectivamente)

Tabela 3.9 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com aplicação de seis películas pelo exterior

Variação do valor g (%)						
	PR70EXT	RHE 20 SI ER HPR	RHE 35 SI ER HPR	RHE 50 SI ER HPR	NHE 1020 ER HPR	NHE 1035 ER HPR
I	42,75	76,72	65,27	46,69	56,62	41,86
J	41,95	76,52	65,04	46,44	56,20	41,42
L	41,14	76,29	64,85	46,32	55,86	41,14
M	43,13	76,97	65,52	46,95	57,12	42,24
N	42,29	76,81	65,22	46,77	56,65	41,90
O	41,55	76,57	65,12	46,59	56,27	41,69

Pela análise dos resultados observados na Figura 3.13 e na Tabela 3.9 conclui-se que:

- o desempenho das películas na redução do factor g aumenta consideravelmente para os vidros duplos quando comparada com a redução causada para os vidros simples e laminados;
- comparando os vidros laminados e os vidros duplos com a mesma espessura total de vidro (4x4m, 6x6m e 8x8m), verifica-se um aumento médio considerável da variação do valor g de: 8,9% para PR70EXT, 4,38% para RHE 20 SI ER HPR, 5,14% para RHE 35 SI ER HPR, 6,20% para RHE 50 SI ER HPR, 9,20% para NHE 1020 ER HPR e 8,87 para NHE 1035 ER HPR;
- comparando os vidros de I a L e os de M a O pode-se verificar que a espessura tem pouca influência na variação do factor g, apresentando variações inferiores a 1% com o aumento de 2 mm de espessura em cada camada do vidro duplo;
- os valores obtidos para os vidros com câmara de ar (100%) e os vidros com câmara de ar (90%) e árgon (10%) são muito semelhantes, apresentando diferenças inferiores a 1% entre si para as três espessuras. Isto indica que a performance de uma película exterior, na alteração do factor solar do vidro, não é influenciada pelo tipo de preenchimento da câmara de ar.

Na Figura 3.14 apresenta-se os resultados do factor solar para vidros duplos com dois tipos de protecção solar, a SKN165 (casos de estudo de P a R) e a SKN174 (casos de estudo de S a U), onde estão indicados os valores do factor solar sem película e o valor do factor solar para a película R20. Na Tabela 3.10 apresenta-se a variação provocada na transmitância visível quando são aplicadas películas exteriores nos vidros de P a U.

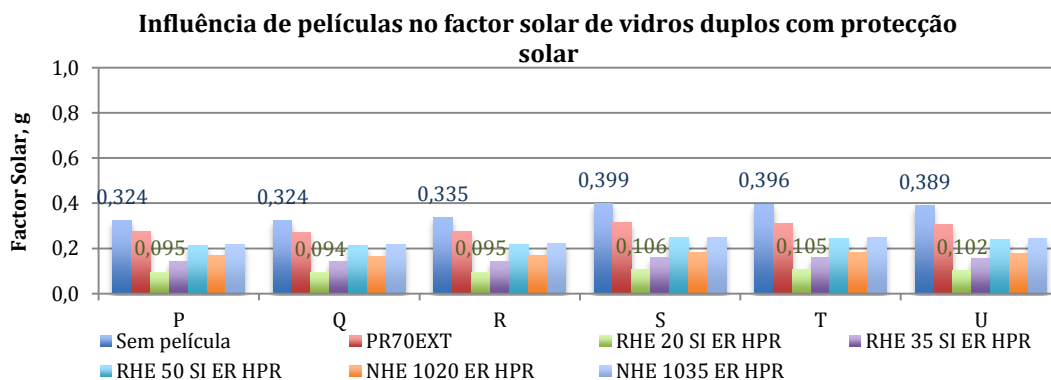


Figura 3.14 - Valores do factor g para vidros duplos com protecção solar sem película e com seis películas de aplicação pelo exterior obtidos através do Window 7.3.8 e do Optics5 (com os valores algébricos da situação sem película e da situação com película R20 indicados a azul e a verde, respectivamente)

Tabela 3.10 - Variação do valor g (%) para vidros duplos com protecção solar com aplicação de seis películas pelo exterior

Variação do factor g (%)						
	PR70EXT	RHE 20 SI ER HPR	RHE 35 SI ER HPR	RHE 50 SI ER HPR	NHE 1020 ER HPR	NHE 1035 ER HPR
P	15,74	70,68	56,17	34,26	48,46	32,72
Q	16,67	70,99	56,48	34,57	48,77	33,02
R	18,51	71,64	57,61	35,52	49,55	33,73
S	21,05	73,43	59,65	38,10	53,88	37,84
T	21,46	73,48	59,85	38,38	53,79	37,88
U	21,59	73,78	59,90	38,56	53,73	37,79

Pela análise dos resultados observados na Figura 3.14 e na Tabela 3.10 conclui-se que:

- a redução do factor solar das películas exteriores aplicadas em vidros duplos com protecção solar é significativamente menor quando comparado com vidros de igual espessura sem protecção solar. Esta característica também foi verificada para as películas interiores;
- comparando o caso P (vidro duplo 4x4m com SKN165) e S (vidro duplo 4x4m com SKN174) com o caso I (vidro duplo 4x4m) e o caso M (vidro duplo 4x4 com ar e argon) verifica-se que as películas têm um desempenho bastante inferior registando-se uma diminuição de performance máxima para a película PR70EXT que, nos casos I e M, apresenta uma redução de g de 42,75% e 43,13%, respectivamente, e nos casos P e S apresenta uma variação no factor g de apenas 15,74% e 21,05%, respectivamente. A diminuição de desempenho para as espessuras 6x6m e 8x8m é da mesma ordem de grandeza que a observada para a espessura 4x4m;
- comparando os vidros com protecção solar SKN165 e os vidros com protecção solar SKN174 com a mesma espessura total de vidro (4x4m, 6x6m e 8x8m) verifica-se um diferença média considerável da variação do valor g de: 4,8% para PR70EXT, 2,50% para RHE 20 SI ER HPR, 3,37% para RHE 35 SI ER HPR, 3,82% para RHE 50 SI ER HPR, 5,02% para NHE 1020 ER HPR e 4,85 para NHE 1035 ER HPR. Estes valores indicam que a redução do factor g de películas de aplicação pelo exterior são influenciadas pelo tipo de protecção solar existente no vidro.

3.6.2 Influência na Transmitância Visível, T_{vis}

Na Tabela 3.11 apresentam-se os resultados obtidos para os valores da transmitância visível dos vidros de A a U com e sem aplicação de películas exteriores.

Tabela 3.11 - Resultados da transmitância visível para vidros com diferentes películas exteriores

Vidro	Película pelo Exterior						
	PR70EXT	RHE 20 SI ER HPR	RHE 35 SI ER HPR	RHE 50 SI ER HPR	NHE 1020 ER HPR	NHE 1035 ER HPR	
A	0,900	0,713	0,162	0,280	0,472	0,233	0,393
B	0,892	0,705	0,160	0,277	0,467	0,230	0,388
C	0,884	0,697	0,158	0,273	0,462	0,228	0,383
D	0,875	0,713	0,158	0,273	0,461	0,228	0,383
E	0,854	0,681	0,154	0,267	0,451	0,222	0,374
F	0,835	0,665	0,151	0,261	0,440	0,217	0,366
G	0,854	0,681	0,154	0,267	0,451	0,222	0,374
H	0,845	0,673	0,152	0,264	0,446	0,220	0,370
I	0,816	0,646	0,153	0,262	0,435	0,215	0,359
J	0,802	0,633	0,150	0,256	0,426	0,210	0,351
L	0,787	0,620	0,146	0,251	0,417	0,206	0,344
M	0,816	0,646	0,153	0,262	0,435	0,215	0,359
N	0,802	0,633	0,150	0,256	0,426	0,210	0,351
O	0,787	0,620	0,146	0,251	0,417	0,206	0,344
P	0,611	0,486	0,117	0,199	0,329	0,162	0,27
Q	0,600	0,478	0,114	0,195	0,323	0,159	0,266
R	0,587	0,468	0,111	0,19	0,316	0,156	0,260
S	0,692	0,551	0,128	0,22	0,369	0,182	0,305
T	0,680	0,542	0,125	0,216	0,362	0,178	0,299
U	0,668	0,529	0,122	0,210	0,352	0,174	0,292
ΔT_{vis} (%)	11 a 21	80 a 82	67 a 69	46 a 48	73 a 74	56 a 57	

Da análise da Tabela 3.11 pode concluir-se que:

- os valores de transmitância visível podem variar em gamas muito distintas conforme a película que é aplicada no vidro. Esta conclusão também é válida para as películas interiores;
- a película PR70EXT apresenta valores de variação de T_{vis} entre 11 e 21% o que demonstra que sua performance na redução deste parâmetro óptico é influenciada pelo tipo de vidro sobre o qual é aplicada. No entanto, todas as outras películas objecto deste estudo demonstraram intervalos de variação de T_{vis} muito pequenos o que indica que a redução do T_{vis} é semelhante para todos os vidro objectos deste estudo;

3.6.3 Coeficiente de Transmissão Térmica, U

O coeficiente de transmissão térmica não sofre alterações pela aplicação de películas pelo exterior. Tal como foi concluído para as películas pelo interior, isto deve-se ao facto da espessura das películas ser muito inferior à espessura do vidro.

No Anexo A na Tabela A.2 podem ser consultados os valores do factor solar, do coeficiente de transmissão térmica e da transmitância visível para todos os casos de estudo.

A análise efectada no presente capítulo deste trabalho realça a importância que as películas de controlo solar podem ter em situações reais de reabilitação de edifícios existentes. De facto, a aplicação de uma película num envidraçado com propriedades ópticas não satisfatórias na manutenção do conforto térmico no interior de um edifício traduz-se em reduções do factor solar e da transmitância visível que podem ser muito benéficas para os utilizadores. Acresce a estas melhorias o facto de uma reabilitação dos elementos envidraçados de um edifício existente por aplicação de películas de controlo solar em toda a área de envidraçado ser normalmente menos dispendioso do que a substituição de todos os envidraçados do edifício.

4. Descrição do Caso de Estudo e Campanha Experimental

Neste capítulo irá descrever-se o caso de estudo do gabinete do Pavilhão de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, onde serão descritos os seguintes parâmetros: localização, modelação 3D em SketchUp, materiais e elementos constituintes.

4.1 Localização do Caso de Estudo

Com o objectivo de analisar a eficiência térmica de uma película de controlo solar, foram seleccionados dois gabinetes para a realização de uma campanha de monitorização térmica.

O caso de estudo é constituído por dois gabinetes adjacentes, o gabinete A (com película) e o gabinete B (sem película), no segundo piso do Pavilhão de Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico no Campus da Alameda. Este edifício situa-se no centro de Lisboa e foi inaugurado em 1993. Na Figura 4.1 apresenta-se uma imagem retirada do sítio da Internet Google Maps (2015) onde se apresenta o edifício e a sua orientação. Na Figura 4.2 pode-se observar uma imagem da parede Este dos gabinetes A e B, sendo esta a única superfície em contacto com o exterior.



Figura 4.1 - Localização do Pavilhão de Engenharia Civil e Arquitectura e a sua orientação



Figura 4.2 - Vista da Fachada Este do Gabinete A (à esquerda) e do Gabinete B (à direita)

Na Figura 4.3 pode-se observar a planta tipo para os gabinetes do segundo piso, com as medidas mais relevantes.

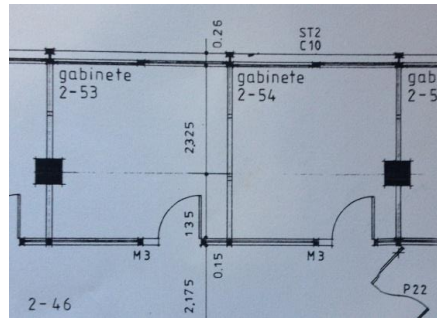


Figura 4.3 - Planta tipo de dois gabinetes do 2º piso do Pavilhão de Engenharia Civil e Arquitectura na Fachada Este

No entanto, devido às semelhanças dos dois gabinetes e à pouca diferença observada nos valores experimentais, optou-se por validar o modelo apenas para o gabinete B, sem película, por forma a poder analisar as diferenças existentes para diferentes películas aplicadas no envidraçado.

4.2 Modelo Geométrico 3D em SketchUp

Para a construção do modelo geométrico dos gabinetes recorreu-se ao programa Google SketchUp. Na Figura 4.4 e na Figura 4.5 pode observar-se o modelo geométrico final.

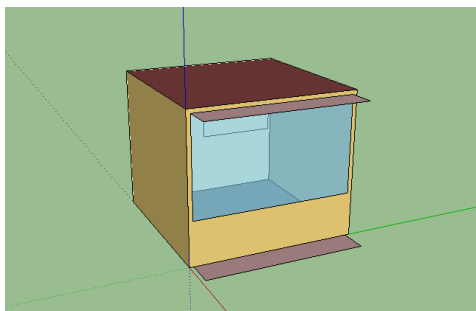


Figura 4.4 - Modelo Geométrico do Gabinete de Estudo utilizando o Google SketchUp

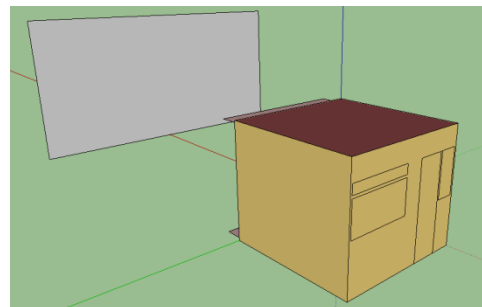


Figura 4.5 - Modelo Geométrico com particular importância no sombreamento através de árvores utilizando o Google SketchUp

Para a construção do modelo geométrico do Gabinete B utilizou-se as medidas interiores dos elementos constituintes, retiradas com o auxílio de uma fita métrica. A área em planta considerada foi de aproximadamente 13,5 m². As paredes interiores Norte e Sul do Gabinete (com uma área de 11,66 m²) estão em contacto com outros gabinetes com características climáticas semelhantes e a parede Oeste (com uma área de 11,50m²) está em contacto com um corredor interior não ventilado, permitindo considerar estas superfícies adiabáticas. O gabinete situa-se num piso intermédio com outro gabinete semelhante no piso superior e uma sala de aula sem ventilação ou sistema de arrefecimento e aquecimento eléctricos no piso inferior, assim, considerou-se o pavimento e a cobertura do gabinete em estudo também como superfícies adiabáticas. A parede e a janela localizadas na fachada Este estão em contacto com o exterior, estando expostas às condições climáticas do local. O pé direito admitido foi de 3,15 metros, considerando que o tecto falso existente no gabinete não apresenta resistência térmica significativa.

Em relação às condições de sombreamento, existe um jardim que provoca sombreamento na fachada Este do edifício e um prolongamento das lajes inferior e superior do gabinete que actuam como palas. Para a definição do jardim criou-se uma nova zona térmica usando o comando do OpenStudio SketchUp Plug-in *New EnergyPlus Shading Group* e definiu-se que a copa das árvores ultrapassa a altura do gabinete em dois metros. Para a construção da palas considerou-se as dimensões: 3,65m de comprimento (correspondente ao comprimento da janela) e 0,6m de largura.

Estas características geométricas ficam definidas no parâmetro de simulação *BuildingSurface:Detailed* presente no *ThermalZones and Surfaces* do IDF Editor.

É de salientar que é preciso definir o ângulo que o norte verdadeiro faz com o norte do compartimento desenhado no SketchUp no parâmetro de simulação *Building* do IDF Editor. Pela forma como o compartimento foi desenhado foi necessário definir um ângulo de 270° para tornar o Norte do SketchUp coincidente com o Norte verdadeiro. Estes parâmetros serão descritos em detalhe no capítulo 5.

4.3 Materiais Constituintes

As características dos materiais constituintes do Gabinete de estudo estão definidos na Tabela 4.1. Esta tabela é importante para o preenchimento do parâmetro de simulação *Material* presente no *Surface Construction Elements* do IDF Editor, que será descrito em detalhe no capítulo 5.

Tabela 4.1 - Materiais Constituintes do Gabinete de Estudo

Material	Tijolo cerâmico furado de 11	Reboco de 2 cm	Betão Armado <1% de armadura	Tijolo cerâmico furado de 7	Aglomerado de Cortiça prensada	Forra de Lajeta	Laje de Cocos
Rugosidade	Rugoso	Rugoso	Medianamente Rugoso	Rugoso	Medianamente Rugoso	Medianamente Rugoso	Medianamente Rugoso
Espessura (m)	0.11	0.02	0.08	0.07	0.004	0.04	0.4
Condutibilidade térmica (W/(m.°C))	0.407	1.3	2.0	0.368	0.065	0.77	1.944
Massa Volúmica (kg/m ³)	630*	1900	2400	818*	400	1900	2560*
Calor Específico (J/(kg.°C))	960	1000	940	960	170	960	940
Absortância Térmica	0.9	0.9	0.5	0.9	0.9	0.9	0.9
Absortância Solar	0.5	0.8	0.7	0.5	0.4	0.5	0.7
Absortância Visível	0.76	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

*Valores médios retirados de catálogos de fabricantes

4.4 Elementos Constituintes do Gabinete

Os materiais utilizados nos elementos constituintes do gabinete são os seguintes:

- Parede Exterior: parede dupla constituída por alvenaria de tijolo furado de 11 cm, revestida com reboco tradicional de 2 cm pelo interior, caixa-de-ar de 9 cm, e um painel pré-fabricado de betão armado (com % de armadura <1%) com 8 cm de espessura (Figura 4.6);
- Parede Interior Oeste: parede simples de alvenaria de tijolo furado de 7 cm com revestimento de reboco tradicional de 2 cm em ambas as faces (Figura 4.7);
- Paredes Interiores Norte e Sul: pladur duplo de 1 cm com uma camada de ar de 10 cm (Figura 4.8);
- Pavimento e cobertura: Laje de cocos de 40 cm com uma forra de lajetas de 4 cm e como acabamento um aglomerado de cortiça (corticite) de 4 mm (Figura 4.9);
- Envidraçado: constituído por um vidro simples de 6 mm de espessura com um caixilho de alumínio sem corte térmico.

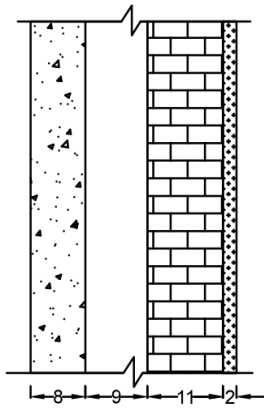


Figura 4.6 - Parede Este

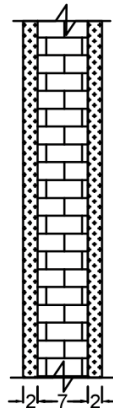


Figura 4.7 - Parede Oeste

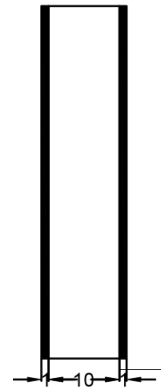


Figura 4.8 - Paredes Norte e Sul

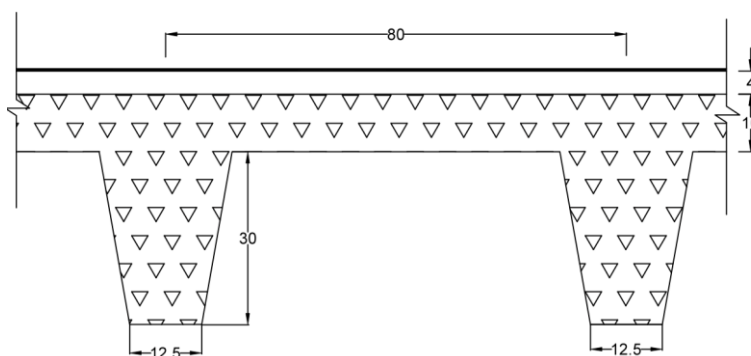


Figura 4.9 - Laje de cocos de 40cm de altura total com forra de lajetas de 4cm e acabamento em corticite de 4mm

5. Programa de Simulação EnergyPlus e Validação do Caso de Estudo

Este capítulo tem como objectivo a validação da campanha experimental realizada no Instituto Superior Técnico em 2013 no gabinete de estudo do pavilhão de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico de Lisboa com base em dados experimentais utilizando o programa EnergyPlus. Iniciar-se-à com uma breve descrição geral do programa EnergyPlus, onde serão descritos os campos de entrada necessários para a validação do caso de estudo e, por fim, será apresentada a metodologia utilizada para a validação do modelo.

5.1 Descrição Geral do Programa EnergyPlus

O programa EnergyPlus é um software gratuito desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (USDOE) que permite o estudo e a análise do desempenho energético de um edifício ou de uma zona específica do edifício para dadas condições meteorológicas (Getting Started with EnergyPlus, 2012).

No início da década de 70, o USDOE reconheceu a importância que o consumo de energia nos edifícios representa para o consumo de energia de um país. Desta forma, desenvolveu os programas BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e o DOE-2 (U.S. Department of Energy), ambos escritos em linguagem FORTRAN, com o intuito de simular o comportamento térmico e energético de um edifício. Estes programas, apesar de ainda serem utilizados para casos específicos, apresentam alguns problemas de interação entre algumas variáveis, como os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado. O EnergyPlus foi desenvolvido em linguagem FORTRAN 90 com o objectivo de eliminar as dificuldades e limitações associadas aos programas DOE-2 e BLAST, apresentando uma organização mais simples e de fácil utilização (Getting Started with EnergyPlus, 2012).

Este programa de simulação permite a definição de uma grande variedade de parâmetros que podem ser introduzidos, e posteriormente modificados, no IDF-Editor do EP-Launch em formato IDF (Input Data File). Estes parâmetros estão organizados por grupos e dentro de cada grupo podem-se definir vários objectos. O IDF-Editor contém diversos manuais de apoio que auxiliam na correcta utilização do programa e que podem ser consultados na opção *Help* (Figura 5.1). O manual *EnergyPlus I/O Reference* revela-se particularmente importante na correcta definição dos parâmetros de entrada e de saída que se pretendem obter, descrevendo os conceitos utilizados pelo programa e explicando como introduzir os dados dos objectos de simulação no IDF-Editor.

O EP-Launch também permite introduzir ficheiros climáticos com o formato EPW, executar simulações e detectar erros com vários níveis de gravidade (Figura 5.2). O ficheiro climático EPW pode ser alterado no *Weather Converter* do EnergyPlus, através de certos passos que podem ser consultados no Anexo C.

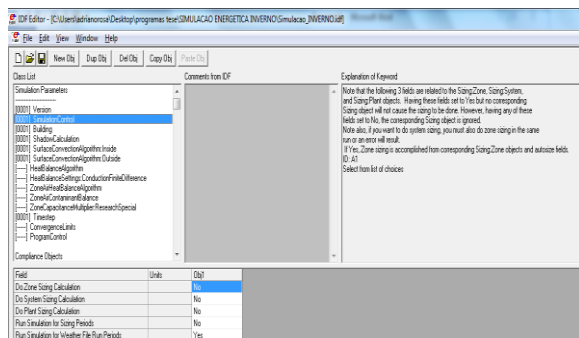


Figura 5.1 - Aparência do IDF-Editor do EP-Launch, EnergyPlus

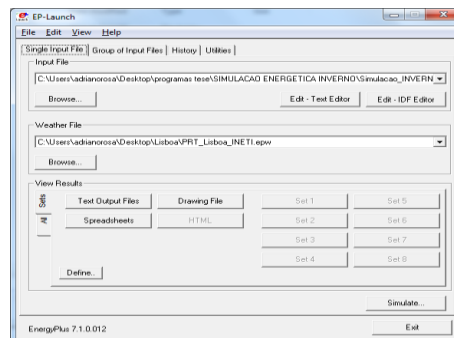


Figura 5.2 - Aparência do EP-Launch do EnergyPlus

O programa Google SketchUp permite criar objectos com geometrias definidas dentro de uma ou mais zonas térmicas de forma fácil e eficiente, e guardar esse ficheiro em formato IDF. Este programa tem uma ferramenta de extensão muito útil para auxiliar na modelação geométrica em 3D no Energyplus, o OpenStudio SketchUp Plug-in, disponível no sítio da internet OpenStudio Version X (20XX), que permite guardar os dados no ficheiro de modelação IDF do EnergyPlus, preenchendo automaticamente certos parâmetros do programa. Na Figura 5.3 pode-se observar a interface gráfica do programa SketchUp com o plug-in OpenStudio SketchUp já instalado na barra de ferramentas.

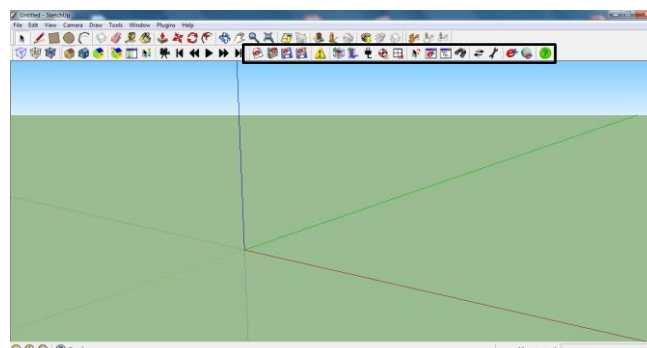


Figura 5.3 - Interface gráfica do Google SketchUp com o OpenStudio SketchUp plug-in instalado na barra de ferramentas

5.2 Parâmetros de Entrada do EPLaunch no EnergyPlus

Neste subcapítulo são descritos os parâmetros e os grupos introduzidos no IDF Editor do EnergyPlus para garantir uma correcta calibração da campanha experimental realizada no Instituto Superior Técnico em 2013. No final da descrição são apresentadas as figuras dos grupos e os objectos preenchidos. É de realçar que o IDF Editor contém muitos parâmetros e nem todos foram preenchidos por não serem relevantes para a simulação do caso em estudo.

5.2.1 Parâmetros de Simulação

O grupo *Simulation Parameters* (Figura 5.4) é de extrema importância e influencia a simulação de diversas formas. Neste grupo foram definidos os vários parâmetros que são constantes para as três simulações de Julho, Outubro e Novembro: *SimulationControl*, *Building*, *ShadowCalculation*, *SurfaceConvectionAlgorithm:Inside* e *Outside*; *TimeStep*:

- *SimulationControl* (Figura 5.5): permite especificar o tipo de cálculo que se pretende com a simulação através do preenchimento de cinco campos com YES/NO. Para o caso de estudo foi selecionado o campo *Run Simulation for Weather File Run Periods* para, desta forma, a simulação ser realizada em períodos específicos de tempo definidos, à posteriori, no parâmetro *RunPeriod*;

- *Building* (Figura 5.6): permite definir a orientação do edifício que afecta a forma como o programa tem em conta a radiação solar e a acção do vento (este parâmetro é a medida entre o Norte do modelo SketchUp e o Norte verdadeiro, a favor dos ponteiros do relógio), o tipo de ambiente em que o edifício se encontra (ambiente urbano), a convergência das cargas térmica e de temperatura (admitiu-se um desvio máximo de 0,04 e 0,4°C, respectivamente), o tipo de distribuição solar (optou-se pela *FullInteriorAndExterior* das cinco opções disponíveis por ser a que melhor se adequa ao sistema de envidraçado que se pretende estudar), o número de dias que devem ser testados antes de se verificar a convergência (considerou-se 25 dias por ser o número por defeito admitido pelo programa);

- *ShadowCalculation* (Figura 5.7): determina o tipo de sombreamento pela posição solar durante um período específico de dias e a forma como afecta diferentes partes do edifício. Adoptou-se o valor por defeito do programa de 20 dias por ser a média de dias entre os quais se registam mudanças significativas na posição do sol;

- *SurfaceConvectionAlgorithm:Inside* e *Outside* (Figura 5.8): define o tipo de convecção que ocorre nas superfícies interiores e exteriores que trocam calor com os respectivos ambientes. Existem cinco opções, sendo o TARP a opção que melhor descreve o caso de estudo;

- *Timestep*: define o número de intervalos de tempo contidos numa hora e tem de ser divisível por 60, por exemplo, o valor 1 equivale a um intervalo de uma hora enquanto que o valor 60 equivale a um intervalo de um minuto. Para todas as simulações deste trabalho optou-se por um timestep de 1.

5.2.2 Localização e Clima

O grupo *Location and Climate* permite definir as condições ambientais da simulação (Figura 5.9). Foram definidos os seguintes parâmetros: *Site:Location* e *RunPeriod*.

- *Site:Location* (Figura 5.10): define a latitude (38,73°), longitude (-9,15°), fuso horário (0) e a altitude (71metros), neste caso, para a cidade de Lisboa. Estes dados devem estar de acordo com os dados do ficheiro climático EPW, senão o programa assume como correctos os dados do ficheiro climático. Os valores definidos neste objecto são constantes para as três simulações;

- *RunPeriod*: permite definir os meses e os dias de começo e de término da simulação que se pretende e ainda o dia da semana em que se inicia a simulação. É de notar que o ficheiro EPW considerado contém informação horária para todos os dias de um ano tipo num período de 10 anos e que, ao se preencher este campo, restringe-se o período de simulação aos dias definidos sem ser necessário alterar o ficheiro climático. Foram realizadas três simulações para calibrar o modelo com os dados experimentais obtidos na campanha experimental realizada no Instituto Superior Técnico em 2013. Na Figura 5.11 apresenta-se o exemplo do preenchimento para uma semana de simulação no mês de Julho.

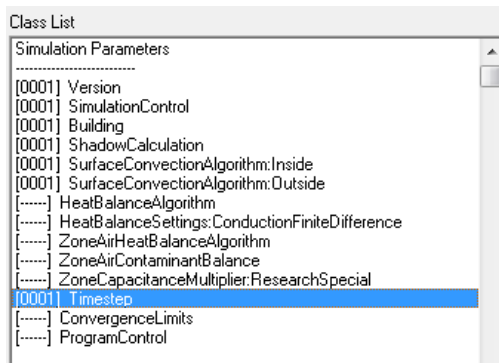


Figura 5.4 - Grupo Simulation Parameters

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		No
Do System Sizing Calculation		No
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes

Figura 5.5 - Objecto SimulationControl

Field	Units	Obj1
Name		Caso_Base_1st
North Axis	deg	270
Terrain		City
Loads Convergence Tolerance Value		0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution		FullInteriorAndExterior
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		

Figura 5.6 - Objecto Building

Field	Units	Obj1
Calculation Frequency		20
Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations		15000
Polygon Clipping Algorithm		
Sky Diffuse Modeling Algorithm		

Figura 5.7 - Objecto ShadowCalculation

Field	Units	Obj1
Algorithm		TARP

Figura 5.8 - Objecto SurfaceConvectionAlgorithm:Inside and outside

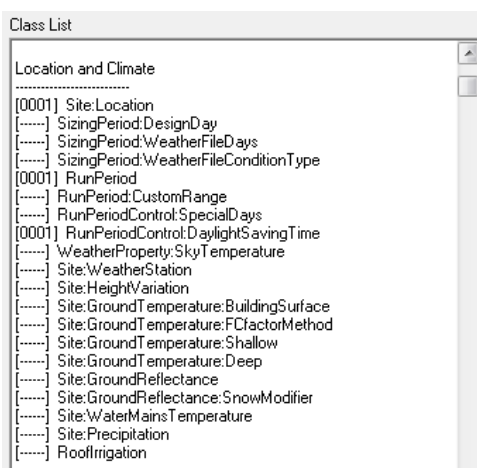


Figura 5.9 - Grupo Location and Climate

Field	Units	Obj1
Name		Lisboa
Latitude	deg	38.73
Longitude	deg	-9.15
Time Zone	hr	0
Elevation	m	71

Figura 5.10 - Objecto Site:Location

Field	Units	Obj1
Name		Campanha de verao
Begin Month		7
Begin Day of Month		25
End Month		7
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		Thursday
Use Weather File Holidays and Special Days		No
Use Weather File Daylight Saving Period		No
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		No
Use Weather File Snow Indicators		No
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		Yes
Start Year		

Figura 5.11 - Objecto RunPeriod para julho

5.2.3 Calendários

O grupo *Schedules* permite alterar de várias formas o horário ou as médias horárias de vários parâmetros como a densidade de ocupação, o controlo do termostato, as actividades, os dispositivos de sombreamento, a iluminação, etc (Figura 5.12). Os calendários definidos neste grupo foram iguais para as três simulações e foram definidos os seguintes tipos de calendários: *Site:Location* e *RunPeriod*.

- *Schedule:Compact* (Figura 5.13): este tipo de horário inclui toda a informação necessária para definir todos os dias de um ano. Se não forem definidos dias tipo num objecto, o output da simulação vai alertar para o facto, de nesses dias, todos os possíveis parâmetros serem considerados como zero. Se efectivamente não existirem dias tipo, este alerta não interfere com os resultados da simulação e pode ser ignorado;
- *ScheduleTypeLimits* (Figura 5.14): é utilizado para validar porções de outros horários e podem ser definidos dois tipos, o tipo *continuous* que pode assumir qualquer valor e o tipo *discrete* que define situações em que a variável só assume valores discretos.

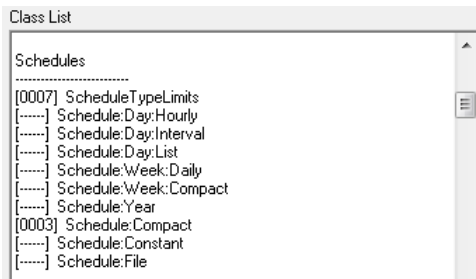


Figura 5.12 - Grupo Schedules

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Horario laboral	Always ON	actividade pessoa
Schedule Type Limits Name		Any Number	Fraction	Any Number
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: Weekdays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Unit: 09:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00
Field 4	varies	0	1	120
Field 5	varies	Unit: 18:00		
Field 6	varies	1		
Field 7	varies	Unit: 24:00		
Field 8	varies	0		
Field 9	varies	For: Saturday		
Field 10	varies	Unit: 24:00		
Field 11	varies	0		
Field 12	varies	For: Sunday		
Field 13	varies	Unit: 24:00		
Field 14	varies	0		

Figura 5.13 - Objecto ScheduleCompact

Field	Units	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Fraction	Temperature	On/Off	Control Type	Humidity
Lower Limit Value	varies	0	-60	0	0	10
Upper Limit Value	varies	1	200	1	4	90
Numeric Type		CONTINUOUS	CONTINUOUS	DISCRETE	DISCRETE	CONTINUOUS
Unit Type						

Figura 5.14 - Objecto ScheduleTypeLimits

5.2.4 Elementos das Superfícies

O grupo *Surface Construction Elements* permite descrever as propriedades, a configuração da envolvente do edifício e os elementos interiores (Figura 5.15). Definiram-se vários parâmetros que são constantes para as três campanhas experimentais, como: *Material*, *Material:AirGap*, *WindowMaterial:Glazing*, *WindowMaterial:Blind* e *Construction*:

- *Material* (Figura 5.16): serve para caracterizar apenas os materiais opacos. Neste grupo foram definidos os materiais presentes no capítulo anterior no parágrafo 4.1.4. Para a sua correcta definição é necessário conhecer os valores da espessura, da condutividade, da densidade e do calor específico de todos os materiais, bem como a sua rugosidade, numa escala qualitativa;
- *Material:AirGap* (Figura 5.17): é usado para descrever caixas de ar em elementos opacos da construção.
- *WindowMaterial:Glazing* (Figura 5.18): define panos simples de vidro com diferentes espessuras onde é necessário introduzir as propriedades ópticas ou as propriedade ópticas médias.
- *WindowMaterial:Blind* (Figura 5.19): este objecto especifica as propriedades de um estore com lamelas planas e paralelas, sejam horizontais ou verticais. É necessário definir a largura e o espaçamento das lamelas, a capacidade de reflexão da radiação directa e difusa e a transmissão visível das mesmas. Além desses parâmetros, é ainda possível definir a espessura, o ângulo de abertura e a condutividade das lamelas, que têm grande influência nos ganhos térmicos e energéticos, entre outros parâmetros. Para aplicar o estore num vidro é necessário definir em *FenestrationSurface:Detailed* do grupo *ThermalZones and Surfaces* o parâmetro *Shading Control Name*.
- *Construction* (Figura 5.20): é possível definir objectos que representam construções como paredes, coberturas, pavimentos ou janelas, através da junção de materiais definidos em *Material*, sempre do interior para o exterior da zona.
-

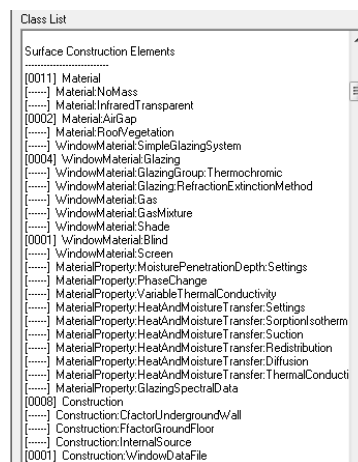


Figura 5.15 - Grupo Surface Construction Elements

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11
Name		TJ FUR 11	REBOCO 2 cm	BA 8cm	TJOLO 7cm	AGLOM CORTICA	FORRA DE LAJETAS	LAJE COCO	Pladur	estruque projectado	vidro interior	Madeira material
Roughness		Rough	Rough	MediumRough	Rough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	Smooth	MediumRough
Thickness	m	0.11	0.02	0.08	0.07	0.004	0.04	0.4	0.01	0.01	0.006	0.07
Conductivity	W/m-K	0.407	1.3	2	0.368	0.065	0.77	1.944	0.18	0.5	0.9	0.14
Density	kg/m3	630	1900	2400	818	400	1900	2560	800	1200	2500	600
Specific Heat	J/kg-K	960	1000	940	960	170	960	940	837	1090	750	1200
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.5	0.8	0.7	0.5	0.4	0.5	0.7	0.75	0.7	0.7	0.6
Visible Absorptance		0.76	0.65	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.75	0.7	0.7	0.6

Figura 5.16 - Objecto Material

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Caixa ar 9cm	Caixa de ar 5-10 cm
Thermal Resistance	m2-K/W	0.18	0.17

Figura 5.17 - Objecto Material:AirGap

Field	Units	Obj1
Name		Incolor 6mm
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	0.006
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.775
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.071
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.071
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.881
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.08
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.08
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84
Conductivity	W/m-K	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		1
Solar Diffusing		No

Figura 5.18 - Objecto Material:Glazing

Field	Units	Obj1
Name		Estore interior
Slat Orientation		Vertical
Slat Width	m	0.1
Slat Separation	m	0.08
Slat Thickness	m	0.00025
Slat Angle	deg	10
Slat Conductivity	W/m-K	0.2
Slat Beam Solar Transmittance		0
Front Side Slat Beam Solar Reflectance		0.8
Back Side Slat Beam Solar Reflectance		0.8
Slat Diffuse Solar Transmittance		0
Front Side Slat Diffuse Solar Reflectance		0.8
Back Side Slat Diffuse Solar Reflectance		0.8
Slat Beam Visible Transmittance		0.5
Front Side Slat Beam Visible Reflectance		0
Back Side Slat Beam Visible Reflectance		0
Slat Diffuse Visible Transmittance		0.5
Front Side Slat Diffuse Visible Reflectance		
Back Side Slat Diffuse Visible Reflectance		
Slat Infrared Hemispherical Transmittance		
Front Side Slat Infrared Hemispherical Emissivity		0.9
Back Side Slat Infrared Hemispherical Emissivity		0.9
Blind to Glass Distance	m	0.05
Blind Top Opening Multiplier		0.5
Blind Bottom Opening Multiplier		
Blind Left Side Opening Multiplier		0.5
Blind Right Side Opening Multiplier		0.5
Minimum Slat Angle	deg	0
Maximum Slat Angle	deg	180

Figura 5.19 - Objecto Material:Blind

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Parede Exterior	Parede Oeste	Pavimento	Vidro	Tecto	Paredes N/S	Vidro Interio
Outside Layer		REBOCO 2 cm	estruque projectado	LAJE COCO	Incolor 6mm	AGLOM CORTICA	Pladur	vidro interior
Layer 2		BA 8cm	TJOLO 7cm	FORRA DE LAJETAS		FORRA DE LAJETAS	Caixa de ar 5-10 cm	
Layer 3		Caixa ar 9cm	estruque projectado	AGLOM CORTICA		LAJE COCO	Pladur	
Layer 4		TJ FUR 11						
Layer 5		REBOCO 2 cm						

Figura 5.20 - Objecto Construction

5.2.5 Zonas e Superfícies Térmicas

O grupo *Thermal Zones and Surfaces* define as características da zona ou zonas térmicas de um edifício, os detalhes das superfícies do edifício e o sombreamento (Figura 5.22). À excepção do objecto *FenestrationSurface:Detailed* todos os objectos aqui definidos são iguais para as três simulações. Definiram-se os seguintes parâmetros: *GlobalGeometryRules*, *BuildingSurface:Detailed*, *FenestrationSurface:Detailed*, *WindowProperty:ShadingControl*, *ShadingSite:Detailed* e *ShadingZone:Detailed*:

- *GlobalGeometryRules* (Figura 5.23): permite definir as regras geométricas associadas aos vértices de cada superfície como o primeiro vértice, a ordem de numeração e o sistema de coordenadas.

- *Zone* (Figura 5.24): Este elemento define os parâmetros de simulação de cada zona térmica do edifício (volume com temperatura constante no seu interior). No caso de estudo só existe uma zona térmica que inclui todo o gabinete;

- *BuildingSurface:Detailed* (Figura 5.25): Este elemento é preenchido automaticamente pelo ficheiro desenvolvido no Google SketchUp. Parâmetros como o nome, o tipo de superfície, o nome do elemento de construção, a zona, as condições de fronteira exterior, a exposição ao sol e ao vento e as coordenadas dos vértices de cada elemento de construção ficam preenchidos. Para isso é necessário um trabalho cuidadoso na definição dos elementos e das suas características no Google SketchUp;

- *FenestrationSurface:Detailed*: permite a criação de objectos que definem subsuperfícies de diferentes tipos de materiais como janelas ou portas. A ligação de uma janela a uma parede permite que certas características, como as condições de fronteira da parede, fiquem associadas também à janela. Além disso, pode-se associar dispositivos de sombreamento criados anteriormente em *WindowMaterial:Blind*. Para a campanha de Julho definiu-se que o estore interior estava fechado e cobria a totalidade da janela para o horário laboral. Para as campanhas de Outubro e Novembro definiu-se que metade da janela tem o estore fechado em horário laboral e que a outra metade da janela só tem o estore fechado se se registar um valor de radiação superior a 200W/m^2 . Na Figura 5.26 é possível observar este objecto definido para a semana de simulação de Julho.

- *WindowProperty:ShadingControl* (Figura 5.27): define o tipo de sombreamento e o calendário associado a cada dispositivo de sombreamento;

- *ShadingSite:Detailed* (Figura 5.28): este campo é preenchido automaticamente pelo programa Google SketchUp através do comando *New EnergyPlus Shading Group* ficando definido assim o nome do sombreamento e o número de vértices e as coordenadas que o constituem. Este objecto corresponde ao conjunto de árvores existentes em frente à parede Este do gabinete de estudo;

- *ShadingZone:Detailed* (Figura 5.29): este campo é preenchido automaticamente pelo Google SketchUp através da criação de zonas de sombreamento. Os dois objectos aqui definidos correspondem ao prolongamento das lajes superior e inferior do gabinete.

Class List	
Thermal Zones and Surfaces	
[0001] GlobalGeometryRules	
[.....] GeometryTransform	
[0001] Zone	
[.....] ZoneList	
[.....] ZoneGroup	
[0010] BuildingSurface:Detailed	
[.....] Wall:Detailed	
[.....] RoofCeiling:Detailed	
[.....] Floor:Detailed	
[.....] Wall:Exterior	
[.....] Wall:Adiabatic	
[.....] Wall:Underground	
[.....] Wall:Interzone	
[.....] Roof	
[.....] Ceiling:Adiabatic	
[.....] Ceiling:Interzone	
[.....] Floor:GroundContact	
[.....] Floor:Adiabatic	
[.....] Floor:Interzone	
[0001] FenestrationSurface:Detailed	
[.....] Window	
[.....] Door	
[.....] GlazedDoor	
[.....] Window:Interzone	
[.....] Door:Interzone	
[.....] GlazedDoor:Interzone	
[0002] WindowProperty:ShadingControl	
[.....] WindowProperty:FrameAndDivider	
[.....] WindowProperty:AirflowControl	
[.....] WindowProperty:StormWindow	
[.....] InternalsMass	
[.....] Shading:Site	
[.....] Shading:Building	
[0001] Shading:Site:Detailed	
[.....] Shading:Building:Detailed	

Figura 5.22 - Grupo ThermalZones and Surfaces

Field	Units	Obj1
Starting Vertex Position		UpperLeftCorner
Vertex Entry Direction		Counterclockwise
Coordinate System		Relative
Daylighting Reference Point Coordinate System		
Rectangular Surface Coordinate System		

Figura 5.21 - Objecto GlobalGeometryRules

Field	Units	Obj1
Name		zona
Direction of Relative North	deg	0
X Origin	m	0
Y Origin	m	0
Z Origin	m	0
Type		
Multiplier		1
Ceiling Height	m	
Volume	m3	
Floor Area	m2	
Zone Inside Convection Algorithm		
Zone Outside Convection Algorithm		
Part of Total Floor Area		

Figura 5.23 - Objecto Zone

Field	Un1	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Pavimento	Pared Interior Oeste	Pared Interior Norte	Pared Exterior Este	Pared Interior Sul	Cobertura
Surface Type		Floor	Wall	Wall	Wall	Wall	Ceiling
Construction Name		Pavimento	Pared Oeste	Paredes N/S	Pared Exterior	Paredes N/S	Tecto
Zone Name		zona	zona	zona	zona	zona	zona
Outside Boundary Condition		Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Outdoors	Adiabatic	Adiabatic
Outside Boundary Condition Object							
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun	SunExposed	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind	WindExposed	NoWind	NoWind
View Factor to Ground		0	0	0	0.5	0	0
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	3.65	3.65	3.65	0	0	3.65
Vertex 1 Y-coordinate	m	0	3.7	0	0	3.7	3.7
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
Vertex 2 X-coordinate	m	0	3.65	3.65	0	0	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	3.7	0	0	3.7	3.7
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	3.15
Vertex 3 X-coordinate	m	0	0	3.65	3.65	0	0
Vertex 3 Y-coordinate	m	3.7	3.7	3.7	0	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0	0	0	0	3.15
Vertex 4 X-coordinate	m	3.65	0	3.65	3.65	0	3.65
Vertex 4 Y-coordinate	m	3.7	3.7	3.7	0	0	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15

Figura 5.24 - Objecto BuildingSurface:Detailed

Field	Un	Obj1
Name		Janela total
Surface Type		Window
Construction Name		Vidro
Building Surface Name		Pared Exterior Este
Outside Boundary Condition Object		
View Factor to Ground		0.5
Shading Control Name		Estore janela Esquerda
Frame and Divider Name		
Multiplier		
Number of Vertices		4
Vertex 1 X-coordinate	m	0.09
Vertex 1 Y-coordinate	m	0
Vertex 1 Z-coordinate	m	3.06
Vertex 2 X-coordinate	m	0.09
Vertex 2 Y-coordinate	m	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	0.96
Vertex 3 X-coordinate	m	3.56
Vertex 3 Y-coordinate	m	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0.96
Vertex 4 X-coordinate	m	3.56
Vertex 4 Y-coordinate	m	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	3.06

Figura 5.25 - Objecto FenestrationSurface:Detailed

Field	Un	Obj1	Obj2
Name		pala	pala 2
Base Surface Name		Pared Exterior Este	Pared Exterior Este
Transmittance Schedule Name			
Number of Vertices		4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	3.56	3.56
Vertex 1 Y-coordinate	m	-0.6	-0.6
Vertex 1 Z-coordinate	m	3.06	0
Vertex 2 X-coordinate	m	0.09	0.09
Vertex 2 Y-coordinate	m	-0.6	-0.6
Vertex 2 Z-coordinate	m	3.06	0
Vertex 3 X-coordinate	m	0.09	0.09
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	3.06	0
Vertex 4 X-coordinate	m	3.56	3.56
Vertex 4 Y-coordinate	m	0	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	3.06	0

Figura 5.26 - Objecto WindowProperty:ShadingControl

Field	Un	Obj1
Name		arvore
Transmittance Schedule Name		
Number of Vertices		4
Vertex 1 X-coordinate	m	10
Vertex 1 Y-coordinate	m	5
Vertex 1 Z-coordinate	m	5
Vertex 2 X-coordinate	m	10
Vertex 2 Y-coordinate	m	5
Vertex 2 Z-coordinate	m	0
Vertex 3 X-coordinate	m	10
Vertex 3 Y-coordinate	m	-5
Vertex 3 Z-coordinate	m	0
Vertex 4 X-coordinate	m	10
Vertex 4 Y-coordinate	m	-5
Vertex 4 Z-coordinate	m	5

Figura 5.27 - Objecto Shading:Site:Detailed

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		pala	pala 2
Base Surface Name		Parede Exterior Este	Parede Exterior Este
Transmittance Schedule Name			
Number of Vertices		4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	3.56	3.56
Vertex 1 Y-coordinate	m	-0.6	-0.6
Vertex 1 Z-coordinate	m	3.06	0
Vertex 2 X-coordinate	m	0.09	0.09
Vertex 2 Y-coordinate	m	-0.6	-0.6
Vertex 2 Z-coordinate	m	3.06	0
Vertex 3 X-coordinate	m	0.09	0.09
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	3.06	0
Vertex 4 X-coordinate	m	3.56	3.56
Vertex 4 Y-coordinate	m	0	-
Vertex 4 Z-coordinate	m	3.0	-

Figura 5.28 - Objecto Shading:Zone:Detailed

5.2.6 Ganhos Internos de Energia

O grupo *Internal Gains* tem em conta ganhos energéticos associados a pessoas, luzes e vários tipos de equipamentos electrónicos (Figura 5.30):

- *People* (Figura 5.31): este parâmetro é usado para modelar o efeito que a ocupação por parte de pessoas tem sobre o ambiente interior. É necessário definir a zona, o calendário associado à ocupação do espaço, o método de cálculo (número de pessoas, pessoa por unidade de área ou unidade área por pessoa), a fração radiante e o calendário associado à actividade da pessoa. Para as três campanhas experimentais foi considerado que existe uma pessoa em horário laboral.
- *Lights*: permite especificar o sistema de luzes eléctricas incluindo a potência e o horário associado. No caso de estudo foi definido uma luz que corresponde à luz de tecto presente no gabinete (Figura 5.32).
- *ElectricEquipment* (Figura 5.33): define os aparelhos electrónicos existentes no gabinete. Para criar um objecto que defina um computador é preciso preencher certos campos como, a zona, o calendário associado ao período de funcionamento e o método de cálculo (potência do aparelho, Watts por unidade de área ou Watts por pessoa). Na Figura 5.33 é possível observar o preenchimento deste campo para os três períodos da campanha experimental. Para o período de Novembro da campanha experimental foi definido um aquecedor eléctrico de 1000W de potência para os dias 26, 27 e 28 a funcionar em horário laboral.

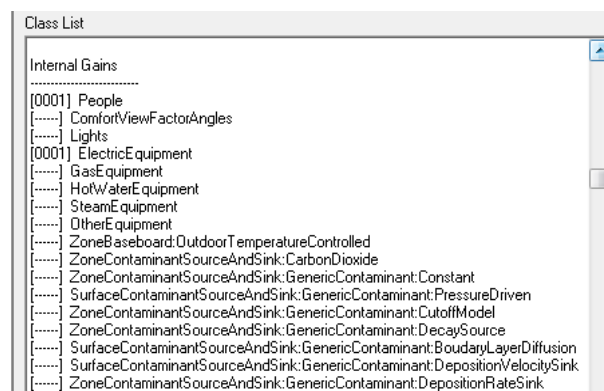


Figura 5.29 - Grupo Internal Gains

Field	Units	Obj1
Name		Pessoa
Zone or ZoneList Name		zona
Number of People Schedule Name		Horario laboral
Number of People Calculation Method		People
Number of People		1
People per Zone Floor Area	person/m2	
Zone Floor Area per Person	m2/person	
Fraction Radiant		0.4
Sensible Heat Fraction		autocalculate
Activity Level Schedule Name		actividade pessoa
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s*W	0.000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		Yes
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged

Figura 5.30 - Objecto People

Field	Units	Obj1
Name		candeieiro
Zone or ZoneList Name		zona
Schedule Name		Horario laboral
Design Level Calculation Method		LightingLevel
Lighting Level	W	70
Watts per Zone Floor Area	W/m2	
Watts per Person	W/person	
Return Air Fraction		
Fraction Radiant		
Fraction Visible		
Fraction Replaceable		1
End-Use Subcategory		General
Return Air Fraction Calculated from		No
Return Air Fraction Function of PI		
Return Air Fraction Function of PI	1/K	

Figura 5.31 - Objecto Lights para campanha de Outubro e Novembro

Field	Units	Obj1
Name		Computador
Zone or ZoneList Name		zona
Schedule Name		Aquecedor
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel
Design Level	W	350
Watts per Zone Floor Area	W/m2	
Watts per Person	W/person	
Fraction Latent		
Fraction Radiant		
Fraction Lost		
End-Use Subcategory		General

Figura 5.32 - Objecto ElectricEquipment

5.2.7 Ventilação

A ventilação é um factor muito importante para a estimação dos fluxos de calor de uma zona e deve ser bem definida conforme a estação correspondente ao período da simulação no grupo *Zone Airflow*. Para isso foi definido o objecto *ZoneInfiltration:DesignFlowRate* no grupo *Zone Airflow* (Figura 5.34):

- *ZoneInfiltration:DesignFlowRate*: este parâmetro permite definir a circulação de ar em cada zona térmica. Para definir este objecto é necessário preencher os campos associados à zona térmica, ao calendário e ao método de cálculo (renovações por hora, fluxo por zona, fluxo por área, fluxo por área exterior ou fluxo por área de parede exterior). No período de Julho da campanha experimental definiu-se uma renovação de ar de 1,5 enquanto que nos períodos de Outubro e de Novembro se definiu 1. Na Figura 5.35 pode-se observar o preenchimento deste parâmetro para o período de Julho da campanha.

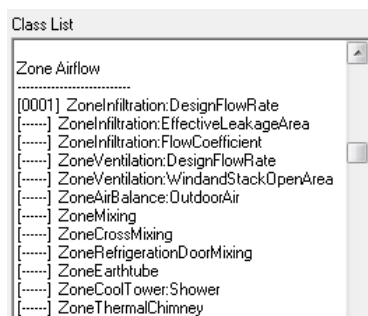


Figura 5.33 - Objecto ZoneInfiltration:DesignFlowRate

Field	Units	Obj1
Name		ZONA 1 Infiltration
Zone or ZoneList Name		zona
Schedule Name		Always ON
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s	
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2	
Air Changes per Hour	1/hr	1.5
Constant Term Coefficient		
Temperature Term Coefficient		
Velocity Term Coefficient		
Velocity Squared Term Coefficient		

Figura 5.34 - Objecto ZoneInfiltration:DesignFlowRate para a campanha de Julho

5.2.8 Obtenção de Dados

O grupo *Output Reporting* permite seleccionar as características e os resultados que se pretende obter com a simulação do projecto (Figura 5.36). Todos os objectos aqui definidos são iguais para os três períodos da campanha experimental.

- *Output:VariableDictionary*: define o formato sobre o qual se pretende obter os resultados da simulação. O formato escolhido foi do tipo IDF para todas as campanhas experimentais (Figura 5.37);
- *Output:Variable*: depois de se correr uma simulação, já é possível visualizar uma lista de variáveis para output. Os outputs seleccionados foram os mesmos para todas as campanhas experimentais e podem ser observados na Figura 5.38;
- *Output:Diagnostics*: este campo permite que cada simulação apresente uma mensagem com os erros e os alertas associados ao que foi definido no IDF Editor. Existe um número elevado de possibilidades para definir o diagnóstico que se pretende obter, para este trabalho optou-se pela opção *DisplayExtraWarnings* por ser o mais exaustivo no relato dos erros e dos alertas (Figura 5.39).

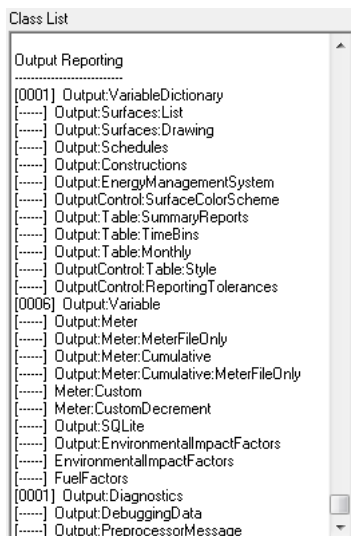


Figura 5.35 - Grupo Output Reporting

Field	Units	Obj1
Key Field		IDF
Sort Option		

Figura 5.36 - Objecto Output Reporting

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Key Value		*	*	*	*	*	*
Variable Name		Outdoor Dry Bulb	Diffuse Solar	Direct Solar	Zone Mean Air Temperature	Solar Altitude Angle	Surface Ext Solar Beam Cosine OI Incidence Angle
Reporting Frequency	Hourly	Hourly	Hourly	Hourly	Hourly	Hourly	Hourly
Schedule Name							

Figura 5.37 - Objecto Output:Variable

Field	Units	Obj1
Key 1		DisplayExtraWarnings
Key 2		

Figura 5.38 - Objecto Output:Diagnostics

5.3 Validação do Modelo

Este subcapítulo tem por objectivo descrever as considerações adoptadas para a campanha experimental e a validação do modelo criado em EnergyPlus com base nos dados medidos na campanha experimental de 2013.

5.3.1 Considerações de Validação para a Campanha Experimental

Para aproximar as condições climáticas reais registadas durante a campanha experimental e o ficheiro climático de Lisboa a utilizar durante as simulações foi necessário proceder a algumas alterações. Inicialmente procedeu-se à eliminação dos dados que não se encontram dentro do período de simulação pretendido e substituíram-se os valores da radiação global horizontal e da temperatura exterior pelos valores medidos na estação meteorológica do Instituto Superior Técnico. Seguidamente fez-se uma simulação utilizando o EnergyPlus com o novo ficheiro climático pedindo como output o ângulo que a altura do sol faz com o horizonte (altitude solar) através da criação de um novo objecto com a opção *Solar Altitude Angle (rad)* no campo *Output:Variable*.

Para um estudo mais rigoroso determinou-se a relação existente entre a radiação global horizontal e a radiação difusa, como se pode observar na Figura 5.39.

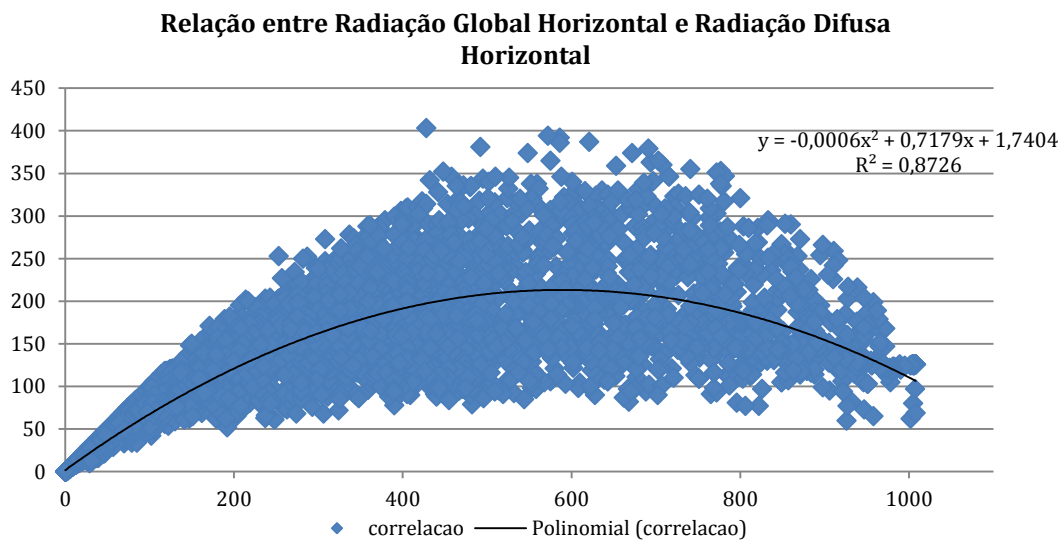


Figura 5.39 - Relação entre a radiação difusa e a radiação global horizontal para um ano tipo em Lisboa

A relação obtida permite calcular a Radiação Difusa em plano horizontal e pode ser definida pela equação 5.1, apresentando um erro quadrático de 0,873.

$$\text{Radiação Difusa} = -0,0006\text{Radiação Global Hor}^2 + 0,7179\text{Radiação Global Hor} + 1,7404 \quad (5.1)$$

A radiação directa horizontal e a radiação directa normal podem ser calculadas através da equação 5.2 e da equação 5.3, respectivamente.

$$\text{Radiação Global Hor.} = \text{Radiação Difusa Hor.} + \text{Radiação Directa Hor.} \quad (5.2)$$

$$\text{Radiação Directa Normal} = \frac{\text{Radiação Directa Horizontal}}{\text{sen}(h)} \quad (5.3)$$

onde o ângulo h é a altitude solar.

Relacionando as equações 5.2 e 5.3 é possível definir a Radiação Global Directa pela equação 5.4.

$$\text{Rad Directa Normal} = \frac{\text{Radiação Global Hor.} - \text{Radiação Difusa Hor.}}{\text{sen}(h)} \quad (5.4)$$

onde a radiação difusa horizontal é obtida pela equação 5.1, os valores de radiação global horizontal são os valores medidos pela estação meteorológica do Instituto Superior Técnico e a altitude solar é a obtida pela simulação no programa EnergyPlus.

Os novos valores de radiação directa normal e de radiação difusa em plano horizontal foram substituídos no ficheiro climático a usar para calibrar os três modelos da campanha experimental em EnergyPlus.

No Anexo B é possível encontrar uma metodologia para a alteração dos dados de um ficheiro com formato epw.

5.3.2 Validação do Caso de Estudo

Para a validação da campanha experimental decorrida entre 25 a 31 de Julho, 21 a 27 de Outubro e 24 a 30 de Novembro foi analisada a temperatura do ambiente interior.

A avaliação do erro da modelação foi calculado através da análise de dois parâmetros, o Root Mean Square Error (RMSE) e o Mean Bias Error (MBE) apresentados na equação 5.5 e na equação 5.6, respectivamente.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{sim,i} - X_{exp,i})^2}{n}} \quad (5.5)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{sim,i} - X_{exp,i})}{n} \quad (5.6)$$

O parâmetro RMSE calcula o desvio médio entre os valores da simulação e os valores experimentais e o MBE calcula a média das diferenças entre os valores da simulação e os valores experimentais.

Nas Figura 5.40, Figura 5.41 e Figura 5.42 apresenta-se a temperatura interior medida experimentalmente e a resultante da simulação em EnergyPlus, a radiação global horizontal medidas na estação meteorológica do Instituto Superior Técnico para cada campanha experimental, a radiação directa e a difusa.

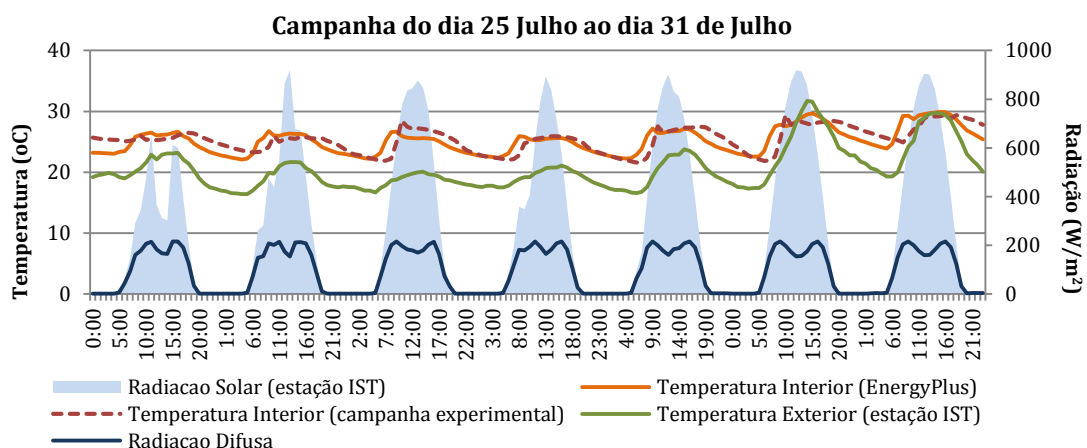


Figura 5.40 - Comparação da temperatura interior obtida pela simulação em EnergyPlus com a medida experimentalmente entre 25 a 31 de Julho

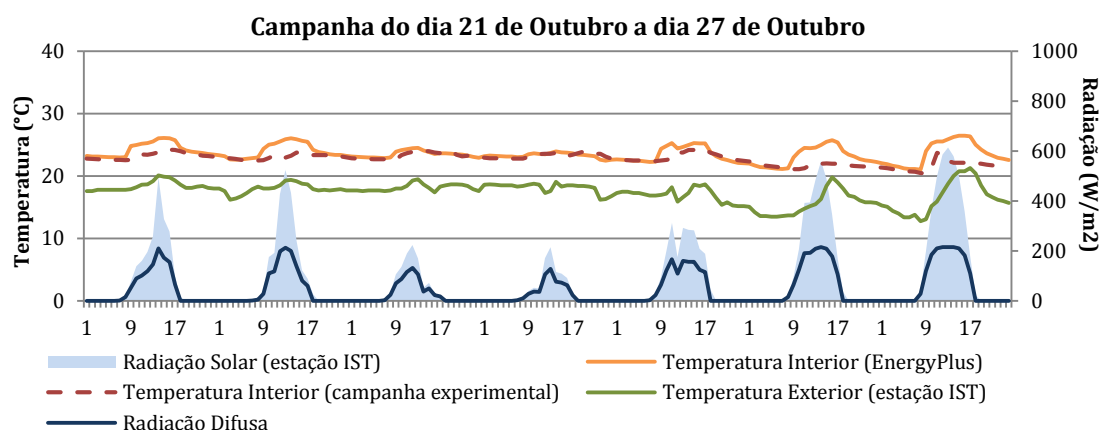


Figura 5.41 - Comparação da temperatura interior obtida pela simulação em EnergyPlus com a medida experimentalmente entre 21 a 27 de Outubro

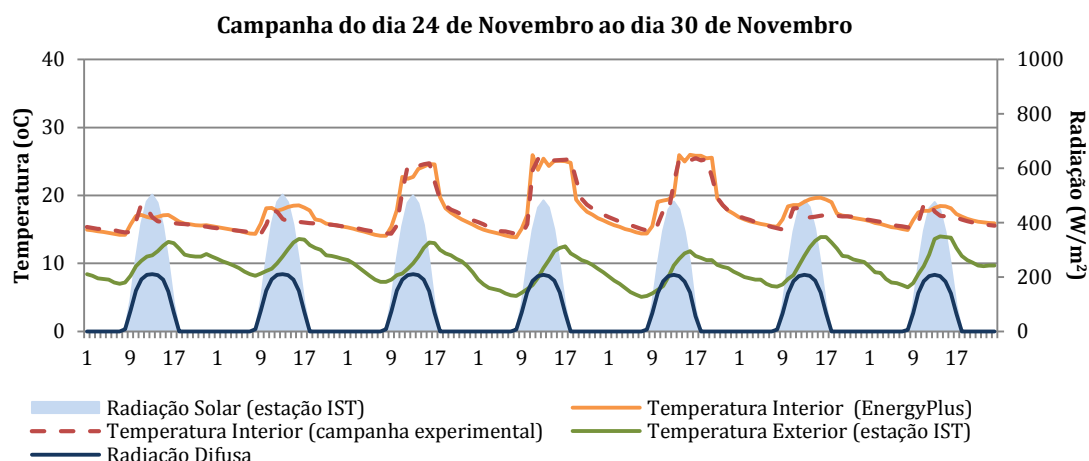


Figura 5.42 - Comparação da temperatura interior obtida pela simulação em EnergyPlus com a medida experimentalmente entre 24 a 30 de Novembro

Na Tabela 5.1 apresentam-se os valores obtidos para a RMSE e a MBE para a campanha as três campanhas.

Tabela 5.1 - Valor de RMSE e de MBE para a campanha de Julho, Outubro e Novembro

		RMSE	MBE
25 a 31 Julho	Tinterior (°C)	1,55	-0,22
21 a 27 Outubro	Tinterior (°C)	1,46	0,86
24 a 30 Novembro	Tinterior (°C)	1,08	0,20

Pela análise da Figura 5.40, Figura 5.41 e Figura 5.42 observa-se que os valores da temperatura interior obtidos pelo programa de simulação EnergyPlus seguem a mesma evolução que os obtidos experimentalmente para as três campanhas experimentais. Pela análise da Tabela 5.1 é possível concluir que os valores de RMSE e de MBE são reduzidos, comprovando-se assim que a modelação do gabinete é adequada e que simula com boa aproximação o comportamento energético do gabinete de estudo.

6. Desempenho Energético de Películas em Envidraçados

Este capítulo tem como objectivo o estudo do desempenho térmico e energético do gabinete caso de estudo dos capítulos anteriores, com a introdução de películas de aplicação pelo interior e de aplicação pelo exterior, tanto para a estação de aquecimento como para a estação de arrefecimento. Analisa-se também o desempenho térmico e energético com a aplicação de estore no envidraçado presente no gabinete e sem a aplicação de estore. Para todos os casos, é realizado um estudo comparativo, para o período laboral, entre o consumo eléctrico com iluminação, a iluminância natural no centro do gabinete, a temperatura interior em regime livre (não controlada por termostato) e as necessidades energéticas com aquecimento e arrefecimento, para assegurar o conforto térmico (temperatura interior controlada por termostato), para as estações de aquecimento e arrefecimento e para o dia mais quente e mais frio de cada estação.

Para a realização deste estudo recorreu-se ao programa EnergyPlus utilizando os dados base que resultaram da validação do modelo efectuada no capítulo 5, para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento, e modificando apenas os parâmetros que foram objecto de análise, nomeadamente no que respeita às películas aplicadas no envidraçado e à utilização, ou não, de estore.

6.1 Condições de Análise

Para uma análise do desempenho térmico e energético do Gabinete no segundo piso do pavilhão de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, criaram-se vários grupos distintos de análise por forma a compreender o efeito das películas analisadas no terceiro capítulo do presente trabalho, em condições reais de funcionamento do Gabinete, para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento.

O primeiro grupo, *sem estore*, representa o Gabinete com o envidraçado de 6mm sem estore interior; o segundo grupo, *com estore*, é constituído pelo mesmo envidraçado com a aplicação de um estore de lamelas verticais com uma abertura de ângulo entre lamelas de 20°; o terceiro grupo de estudo, *Grupo 1* de películas, engloba as películas estudadas no capítulo 3 do presente trabalho que demonstraram ter capacidades reflectoras muito elevadas e que retêm elevados valores de radiação no espectro do visível; o quarto grupo de análise, *Grupo 2* de películas, é constituído pelas películas que no capítulo 3 do presente trabalho apresentaram valores de reflexão da radiação mais baixos e com valores de transmitância visível mais elevados; o quinto grupo, *Grupo 3* de películas, é constituído pela película de aplicação pelo exterior PR70, que foi utilizada na campanha experimental realizada por em 2013 no Instituto Superior Técnico e está presente apenas no estudo realizado para as películas de aplicação pelo exterior, devido ao facto de esta película não ser recomendada em aplicações no interior dos envidraçados.

Para a divisão das películas em grupos foi analisado o desempenho das mesmas na redução do factor g e na redução da transmitância visível do envidraçado através dos resultados obtidos no capítulo 3 do presente trabalho. Na Figura 6.1 apresenta-se a relação entre o factor solar e a transmitância visível para as películas objecto de estudo bem como a sua divisão por grupos.

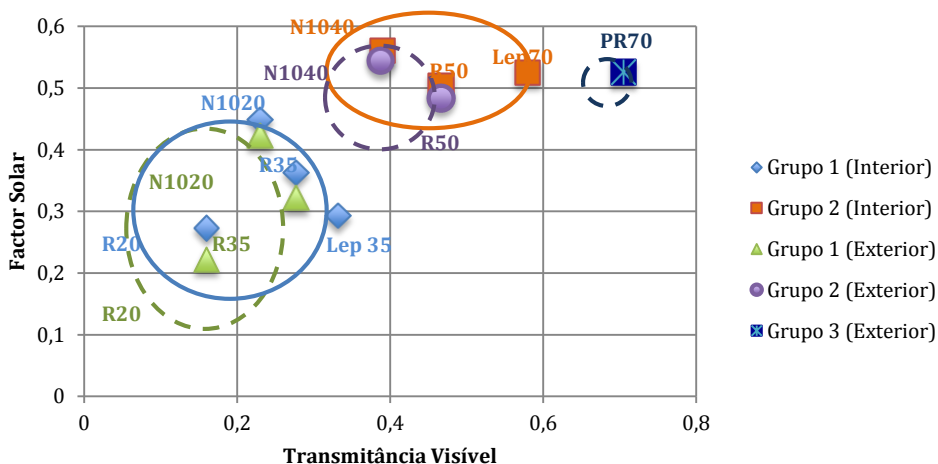


Figura 6.1 - Agrupamento de películas de interior e de exterior conforme os valores do factor solar, g , e da transmitância visível, t_{vis} , do conjunto vidro-película, para um vidro de 6 mm

Como se pode observar na Figura 6.1 existem dois grupos de películas de aplicação pelo interior (círculos a cheio) e três grupos de películas de aplicação pelo exterior (círculos a traço interrompido) que demonstram ter valores próximos do factor solar e da transmitância visível e que serão alvo de estudo nos subcapítulos seguintes do presente capítulo.

6.2 Análise do Desempenho Energético de Películas em Envidraçados para a Estação de Aquecimento

Para o estudo do desempenho térmico e energético do Gabinete de estudo, considerou-se para a estação de aquecimento o período que decorre do dia 1 de Novembro ao dia 10 de Abril, de acordo com a metodologia de cálculo regulamentar (REH, 2013). Foi utilizado o ficheiro climático de Lisboa onde é possível observar que os valores de temperatura exterior variam entre 21,8°C e 4,1°C e o valor máximo de radiação global registada é de 800 W/m².

Os regulamentos energéticos indicam valores constantes de temperatura para se obter as condições de conforto nos ambientes interiores que permitam um normal funcionamento do espaço. Em Portugal, os regulamentos energéticos têm sofrido algumas alterações no que diz respeito às temperaturas de conforto interiores, apresentando, até à data do presente trabalho, valores de temperatura de conforto entre 18° e 25°. No entanto, adoptou-se neste trabalho 20° de temperatura de referência mínima para a estação de aquecimento, por se considerar que este valor apresenta condições de conforto superiores para o utilizador do Gabinete, apesar deste valor gerar necessidades com aquecimento mais elevadas.

Como valor da iluminância mínima foi considerado o valor de 200 lux para a activação da luz de tecto do gabinete.

6.2.1 Películas de Aplicação pelo Interior

Na Tabela 6.1 apresenta-se, para cada grupo, a média (M) e o desvio padrão (Dp) das médias diárias do consumo com iluminação, da iluminância no centro do gabinete, da temperatura interior e das necessidades de energia para aquecimento, para a *estação de aquecimento*, para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*.

Tabela 6.1 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com aquecimento (Nec. aquecimento), para a estação de aquecimento para películas de interior

	Sem estore		Com estore		Grupo 1		Grupo 2	
	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp
<i>Estação aquecimento</i>								
Consumo Ilum. (Wh)	5,12	24,17	10,98	32,60	14,01	35,27	7,45	27,85
Iluminância (lux)	1160,55	3280,04	317,59	608,40	322,18	941,99	663,17	1941,75
Temperatura (°C)	18,21	2,91	16,85	2,46	16,80	2,49	17,42	2,61
Nec. Aquecimento (Wh)	30,33	96,21	71,67	156,49	73,09	160,95	50,31	128,69
<i>Dia mais quente</i>								
Consumo Ilum.(Wh)	,00	,00	2,65	10,77	7,83	20,91	,52	3,68
Iluminância (lux)	1554,46	2628,09	486,52	728,97	432,91	751,95	889,47	1546,45
Temperatura (°C)	21,44	2,16	18,84	1,54	18,83	1,49	19,93	1,79
Nec. Aquecimento (Wh)	,49	2,41	3,23	15,05	6,38	23,05	1,94	10,78
<i>Dia mais frio</i>								
Consumo Ilum. (Wh)	9,09	32,61	17,65	40,90	19,17	41,46	11,42	35,45
Iluminância (lux)	914,51	1616,64	347,41	653,95	253,96	461,14	522,11	949,02
Temperatura (°C)	15,76	3,55	15,49	3,72	15,48	3,71	15,65	3,60
Nec. Aquecimento (Wh)	146,17	234,82	244,25	334,23	242,01	332,92	198,45	285,61

6.2.1.1 Análise de resultados – películas de aplicação pelo interior

Na *estação de aquecimento* é possível observar pela Tabela 6.1 que os consumos com electricidade para fins de iluminação variam entre 5,12Wh, para a situação sem estore, e 14,01Wh, para o Grupo 1 de películas. Verifica-se que o Grupo 1 tem um gasto com electricidade para iluminação superior à situação de uma janela com estore a cobrir a totalidade do vidro. Estes valores justificam-se pelo alto poder reflector das películas do grupo 1 que bloqueiam a passagem de luz visível em cerca de 70% para um vidro de 6mm.

Os valores médios do consumo de electricidade com iluminação, *para a estação de aquecimento*, para todas as quatro situações analisadas, são tanto menores quanto maiores os valores médios da iluminância, registando-se o maior valor para uma situação sem estore (1160,55Wh), o menor valor para

as situações com estore e Grupo 1 de películas (317,58Wh e 322,18Wh, respectivamente), que não apresentam diferenças significativas, e um valor intermédio para o Grupo 2 de películas. Estes valores estão de acordo com o esperado, pois para uma situação sem estore é possível obter valores de iluminação natural durante todo o período laboral, sendo apenas necessário recorrer a iluminação eléctrica nos dias em que se regista valores baixos de radiação global, enquanto que para as situações com estore ou com películas do Grupo 1 a barreira à entrada de radiação solar é bastante mais elevada. É de salientar que o consumo médio com iluminação no Grupo 1 de películas é bastante superior à situação com estore, embora os valores médios de iluminância interior registados sejam semelhantes, devendo-se isto ao facto de a película funcionar como uma barreira à transmissão de radiação durante todo o dia de uma forma homogénea e independente das condições ambientais exteriores, enquanto que o estore permite uma passagem de radiação que varia em função das condições externas (abertura de 20° entre as lamelas verticais), permitindo uma passagem de radiação superior quando a radiação no exterior é elevada e originando menores consumos com iluminação eléctrica, em período laboral.

Para a *estação de aquecimento* a temperatura interior apresenta o maior valor para a situação sem estore (18,21°C), o menor valor para a situação com estore e Grupo 1 (16,85°C e 16,80°C, respectivamente) e um valor intermédio para o Grupo 2 (17,42°C). A variação da temperatura interior para todas as situações analisadas é baixa. A proporção entre as necessidades energéticas com aquecimento para manter a temperatura mínima de 20 °C e os valores da temperatura interior registados foram de: 1,67 para a situação sem estore, 4,25 e 4,35 para a situação com estore e para o Grupo 1 e de 2,89 para o Grupo 2. A proporção é superior para a situação com estore e Grupo 1, pois as temperaturas interiores fora do horário laboral são inferiores às registadas para a situação sem estore e Grupo 2, sendo necessário mais energia para se atingir os 20°C no início do período laboral o que, consequentemente, origina necessidades energéticas para aquecimento superiores.

Para o *dia mais quente* da estação de aquecimento, os consumos com iluminação são significativamente menores, sendo nulos ou praticamente inexistentes para a situação sem estore e para o Grupo 2. Comparando os consumos médios com iluminação da *estação de aquecimento* e do *dia mais quente* observa-se que a situação com estore diminui em cerca de quatro vezes o seu valor e a situação do Grupo 1 diminui em cerca de duas vezes. Esta discrepância deve-se, mais uma vez, ao facto de as películas bloquearem a transmissão de radiação em percentagens constantes ao longo de todo o dia, enquanto que o estore permite uma transmissão de radiação variável consoante a altura do sol, originando períodos onde o consumo com iluminação eléctrica é desprezável ou mesmo nulo.

A iluminância para o *dia mais quente* aumentou, para todas as quatro situações de estudo, de uma forma proporcional aos valores médios observados para a *estação de aquecimento*, em cerca de 1,34 lux.

A temperatura interior para o *dia mais quente* é significativamente superior à média observada para a *estação de aquecimento*, verificando-se um aumento de 3,23°C para a situação sem estore, 2°C para a situação com estore e para o Grupo 1 de películas e 2,51°C para o Grupo 2 de películas. A situação sem estore no *dia mais quente* regista uma média de 21,44°C e um desvio padrão de 2,16°C e praticamente não necessita de aquecimento eléctrico para respeitar a temperatura mínima de conforto exigida. Consequentemente, as necessidades energéticas com aquecimento são muito inferiores quando comparadas com a média para a *estação de aquecimento*.

No *dia mais frio* registam-se valores de consumo com iluminação superiores em cerca de 1,4 a 1,8 vezes aos observados na *estação de aquecimento*, devido à diminuição da iluminância média no interior do gabinete. Observa-se que a temperatura interior tem reduções de: 2,45°C para a situação sem estore, 1,36°C e 1,32°C para a situação com estore e para o Grupo 1, respectivamente, e 1,77°C para o Grupo 2. As médias de temperatura interior para o *dia mais frio* são praticamente iguais para as quatro situações estudadas, demonstrando que a eficiência dos quatro grupos, para os dias de inverno mais rigorosos, é semelhante e independente do tipo de película utilizada.

As necessidades energéticas com aquecimento são muito superiores para o *dia mais frio* quando comparadas com as observadas para a *estação de aquecimento* e para o *dia mais quente*. Quando comparadas com a *estação de aquecimento*, estas necessidades são superiores em cerca de 3 a 4 vezes, o que salienta a importância da temperatura exterior no impacto das necessidades energéticas com aquecimento. É de salientar que, para o *dia mais frio*, nenhum dos parâmetros (consumo, iluminância, temperatura interior e necessidades de arrefecimento) apresentou diferenças significativas para as situações sem estore, com estore, Grupo 1 ou Grupo 2 de películas, o que indica que estas quatro soluções têm desempenhos térmicos e energéticos semelhantes para condições extremas de temperatura e radiação.

6.2.1.5 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de interior

Na Figura 6.2 podem ser observados os valores médios obtidos para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*, para o consumo com iluminação (Consumo Ilum.), a iluminação no centro do gabinete (Iluminância), a temperatura interior (Temperatura Interior) e as necessidades energéticas para aquecimento (Nec. aquecimento).

Pela observação da Figura 6.2 é possível concluir que:

- o consumo com iluminação, no *dia mais quente*, apresenta o maior valor para a película R20, atingindo um máximo de cerca de 100Wh. As películas N1020, R35 e Lep35 (pertencentes ao Grupo 1 de películas) e a situação sem estore, também apresentam consumos com iluminação no *dia mais quente*, ao longo de quase todo o período laboral. A utilização das películas N1040, R50 e Lep70 (pertencentes ao Grupo 2 de películas) e a situação sem estore apresentam valores poucos significativos ou nulos de consumo com iluminação. As películas R20, R35, N1020 e Lep35 têm consumos de energia com iluminação superiores em comparação com a situação com estore, salientando a influência que as películas do Grupo 1 têm nos consumos com iluminação interior. Para o *dia mais frio*, a situação com estore, sem estore e todas as películas em estudo têm consumos elevados e semelhantes, ao longo de todo o período laboral, atingindo um pico de aproximadamente 140Wh;
- a iluminação interior varia inversamente com os consumos de energia com iluminação, como seria de esperar, sendo que para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio* a situação com maiores valores de iluminância verifica-se para a situação sem estore e para a película Lep70 (pertencente ao grupo 2) atingindo valores superiores a 8000Wh para o *dia mais quente* e valores de cerca de 5000Wh para o *dia mais frio*. Quando se analisa as situações que causam os menores valores de

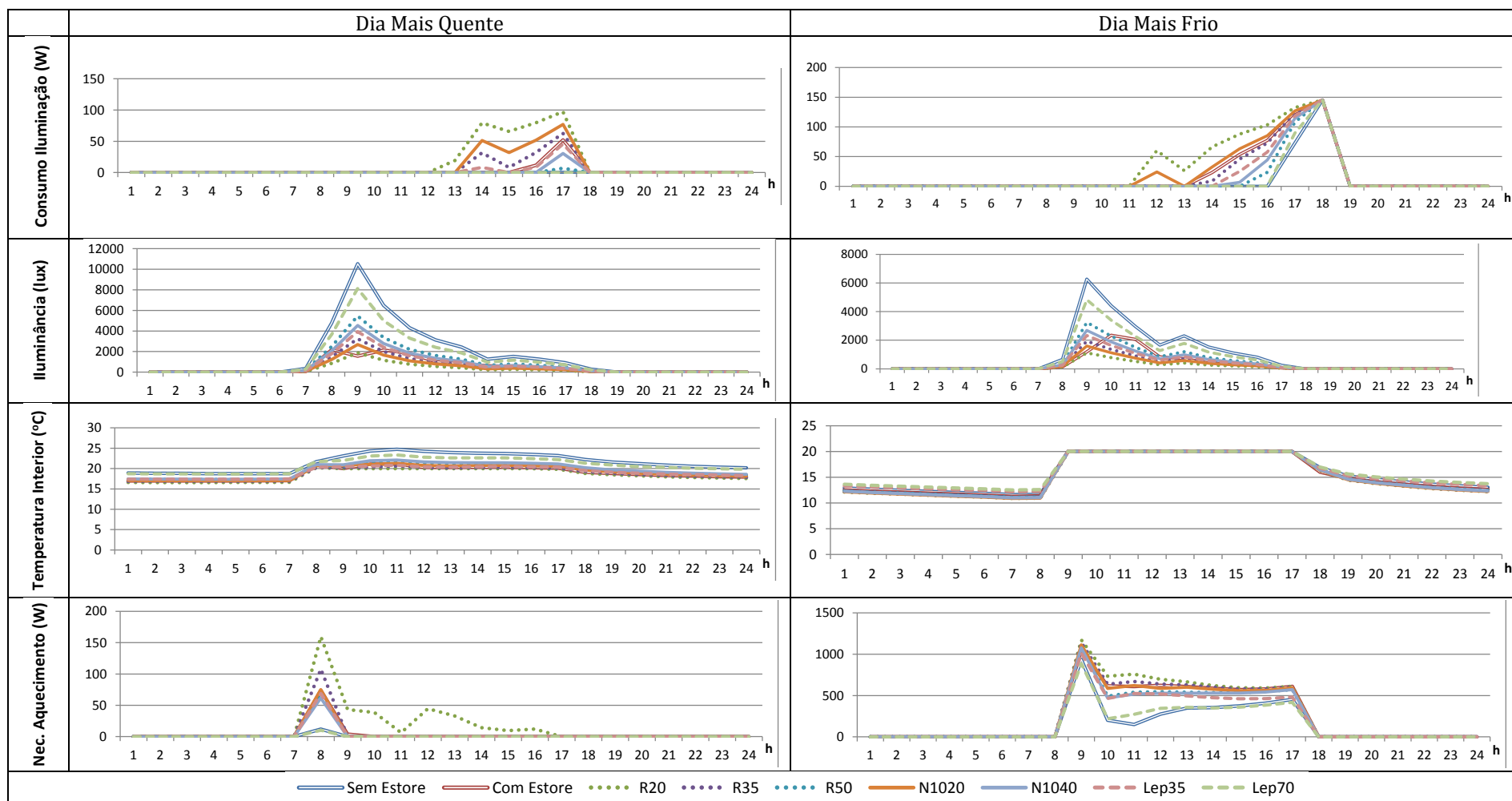


Figura 6.2 - Valores médios diários para o dia mais quente e o dia mais frio de: consumo com iluminação (W), Iluminância (lux), temperatura interior (°C), Necessidades de energia com aquecimento (W), para as situações com estore, sem estore e para sete películas de aplicação pelo interior

iluminância é possível observar que, para o *dia mais quente*, o caso com estore e a película R20 apresentam os menores valores de iluminância interior durante o período laboral, mas as restantes películas (com exceção da Lep70), registam valores de iluminância muito semelhantes. Para o *dia mais frio*, todas as películas do grupo 1 e do grupo 2 com exceção da Lep70 apresentam resultados muito semelhantes ao da situação com estore. Conclui-se, assim, que durante o período laboral, do *dia mais frio* da estação de aquecimento, as películas do Grupo 1 e do Grupo 2 (com exceção da Lep70) apresentam valores de iluminância e de consumo com iluminação muito semelhantes a uma situação com estore e a película Lep70 apresenta valores de iluminância e de consumo com iluminação muito semelhantes a uma situação sem estore;

- analisando a temperatura interior para o *dia mais quente* verifica-se que as temperaturas no início do horário laboral são inferiores à mínima admitida neste trabalho de 20°C para manter as condições de conforto interior. No entanto, é possível manter as temperaturas de conforto interior durante o período laboral com necessidades de aquecimento relativamente baixas para todos os cenários de estudo, sendo que a película R20 é a que apresenta maiores necessidades energéticas com aquecimento. O mesmo já não se verifica para o *dia mais frio* onde, para todos os cenários de estudo, é necessário fornecer energia de aquecimento até um de 1200Wh das necessidades com aquecimento, no início do horário laboral, para se atingir a temperatura mínima de 20°C. Durante o período da tarde, as necessidades energéticas com aquecimento já apresentam valores bastante inferiores e variam conforme o tipo de situação que se esteja a analisar; para a situação sem estore e para a película Lep70, as necessidades situam-se entre 200 e 400Wh; para a situação com estore e para as películas R20, R35, N1020 o consumo já se situa em valores entre os 600 e os 800Wh.

6.2.2 Películas de Aplicação pelo Exterior

Na Tabela 6.2 apresenta-se, para cada grupo, a média (M) e o desvio padrão (Dp) das médias diárias do consumo com iluminação, da iluminância no centro do gabinete, da temperatura interior e das necessidades de energia para aquecimento, para a *estação de aquecimento*, para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*.

Tabela 6.2 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com aquecimento (Nec. aquecimento), para a estação de aquecimento para películas de exterior

	Sem estore		Com estore		Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp
Estação aquecimento										
Consumo Ilum. (Wh)	5,12	24,17	10,98	32,60	15,28	36,50	8,25	28,89	5,75	25,38
Iluminância (lux)	1160,55	3280,04	317,59	608,40	285,93	827,27	547,90	1555,19	923,15	2611,26
Temperatura (°C)	18,21	2,91	16,85	2,46	16,56	2,58	16,98	2,59	16,99	2,60
Nec. Aquecimento (Wh)	30,33	96,21	71,67	156,49	85,68	179,96	62,51	146,63	62,67	147,17
Dia mais quente										
Consumo Ilum. (Wh)	,00	,00	2,65	10,77	9,57	23,33	,78	4,50	,00	,00
Iluminância (lux)	1554,46	2628,09	486,52	728,97	384,25	660,47	735,97	1239,49	1236,05	2089,98
Temperatura (°C)	21,44	2,16	18,84	1,54	18,60	1,52	19,38	1,66	19,41	1,68
Nec. Aquecimento (Wh)	,49	2,41	3,23	15,05	15,44	41,05	2,87	13,96	2,92	14,28
Dia mais frio										
Consumo Ilum. (Wh)	9,09	32,61	17,65	40,90	20,75	42,55	12,23	36,41	9,71	33,98
Iluminância (lux)	914,51	1616,64	347,41	653,95	225,47	405,32	431,47	760,20	726,81	1285,16
Temperatura (°C)	15,76	3,55	15,49	3,72	15,27	3,86	15,38	3,80	15,37	3,85
Nec. Aquecimento (Wh)	146,17	234,82	244,25	334,23	266,00	361,74	227,29	315,11	226,40	317,55

6.2.2.1 Análise de resultados - películas de aplicação pelo exterior

Na *estação de aquecimento* é possível observar pela Tabela 6.2 que os consumos com iluminação variam entre 5,12Wh, para a situação sem estore, e 15,28Wh, para o Grupo 1 de películas. O Grupo 1 de películas apresentou diminuições de 322,18 lux para 285,93 lux e o Grupo 2 de 663,17 lux para 547,90 lux quando comparados com as películas de aplicação pelo interior. Esta diminuição de iluminância no Grupo 1 e no Grupo 2 origina um aumento do consumo com iluminação, embora pouco significativo e sem grande impacto na factura energética do Gabinete. A película PR70, que constitui o Grupo 3, apresenta valores de iluminância muito elevados em comparação com os valores do Grupo 1 e do Grupo 2 de películas, onde o consumo com iluminação é semelhante ao consumo para a situação sem estore, o que demonstra a alta capacidade desta película em deixar passar radiação solar (o grupo 3 apresenta os valores do factor solar e de transmitância visível mais elevados).

As temperaturas no interior do Gabinete registadas para a *estação de aquecimento* para as películas de aplicação pelo exterior apresentam diminuições de quase 0,5 °C para o Grupo 1 e 2 quando comparado com os valores obtidos para as películas de aplicação pelo interior. Esta baixa diminuição de

temperatura, como seria de esperar, origina um aumento pouco significativo das necessidades com aquecimento que passam de 73,09Wh para 85,68Wh no Grupo 1 e de 50,31Wh para 62,52Wh no Grupo 2.

As conclusões a retirar da Tabela 6.2 para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio* para as películas de aplicação pelo exterior são semelhantes às conclusões para as películas de aplicação pelo interior (Tabela 6.1). Isto indica que, para os dias tipo, as películas de aplicação pelo interior ou de aplicação pelo exterior têm desempenhos térmicos e energéticos semelhantes, para ambientes interiores pequenos e climas moderados.

O Grupo 3 deste estudo apresenta um valor de iluminância muito elevado, aproximando-se, em valores médios, da situação da janela sem estore, onde o consumo com iluminação é nulo. A temperatura interior diminuiu bastante, cerca de 2°C, quando comparado com a situação sem estore. Embora esta diminuição não seja desejável para qualquer dia da *estação de aquecimento*, para o dia mais quente, não tem impactos significativos nas necessidades energéticas com aquecimento, pois a média de temperatura interior é de 19,41°C, um valor muito próximo do mínimo desejável.

No geral, as películas de aplicação pelo interior e pelo exterior provocam variações térmicas não desejáveis numa *estação de aquecimento* típica, diminuindo os valores da iluminância e da temperatura interior, e reduções de desempenho energético que conduzem a consumos e necessidades energéticas não desejáveis com iluminação e aquecimento.

6.2.2.2 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de exterior

Os valores médios obtidos para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*, para o consumo com iluminação, a iluminação no centro do gabinete, a temperatura interior e as necessidade de energia com aquecimento para as situações com estore e sem estore e para seis películas de aplicação pelo exterior são semelhantes aos obtidos para as películas equivalentes de interior, apresentando as seguintes semelhanças e diferenças para os quatro parâmetros de análise:

- consumo com iluminação para as películas de aplicação pelo exterior são semelhantes às suas películas equivalentes para o interior, registando diminuições inferiores a 0,1Wh. A película PR70 não apresenta consumos com iluminação durante todo o período laboral;
- a iluminância interior quando se aplica películas de aplicação pelo exterior é semelhante à registada para as películas equivalentes, mas de aplicação pelo interior, registando diminuições inferiores a 0,01lux. A película PR70 apresenta valores praticamente iguais aos registados para a película Lep70 de aplicação pelo interior;
- na variação da temperatura interior, todas as películas de aplicação pelo exterior apresentam valores médios inferiores, apresentando uma redução máxima de 0,45°C para a película R35. Enquanto que nas películas de aplicação pelo interior apenas a película R20 aciona o termostato, para as películas de aplicação pelo exterior o mesmo é acionado para as películas R20 e R35. A película PR70 apresenta valores muito semelhantes de temperatura interior média aos da película Lep35;

- as necessidades energéticas com aquecimento para as películas de aplicação pelo exterior são superiores às das películas de aplicação pelo interior, registando-se as maiores diferenças para as películas R20 e R35, em que as necessidades são consideravelmente superiores. A película PR70 apresenta necessidades energéticas com aquecimento semelhantes às da película Lep35 de aplicação pelo interior.

6.3 Análise do Desempenho Energético de Películas em Envidraçados para a Estação de Arrefecimento

Para o estudo do desempenho térmico e energético do Gabinete de estudo, considerou-se para a estação de arrefecimento o período que decorre do dia 1 de Junho ao dia 30 de Setembro, correspondente a 4 meses, de acordo com a regulamentação térmica em vigor (REH, 2006). Foi utilizado o ficheiro climático de Lisboa onde é possível observar que os valores de temperatura exterior variam entre 36°C e 4,1°C e o valor máximo de radiação global registada é de 1010 W/m².

Os regulamentos energéticos indicam valores constantes de temperatura para se obter as condições de conforto nos ambientes interiores que permitam um normal funcionamento do espaço. Em Portugal, os regulamentos energéticos têm sofrido algumas alterações no que diz respeito às temperaturas de conforto interiores apresentando, até à data do presente trabalho, valores de temperatura de conforto entre 18° e 25°. No presente trabalho, adoptou-se 25° de temperatura de referência máxima para a estação de arrefecimento, por se considerar que este valor apresenta as condições de conforto ideais para o utilizador do Gabinete.

6.3.1 Películas de Aplicação pelo Interior

Na Tabela 6.3 apresenta-se, para cada grupo, a média (M) e o desvio padrão (Dp) das médias diárias do consumo com iluminação, da iluminância no centro do gabinete, da temperatura interior e das necessidades de energia para aquecimento, para a *estação de aquecimento*, para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*.

Tabela 6.3 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com arrefecimento (Nec. arrefecimento), para a estação de arrefecimento para películas de interior

	Sem estore		Com estore		Grupo 1		Grupo 2	
	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp
Estação arrefecimento								
Consumo Ilum. (Wh)	,22	6,34	2,78	75,85	11,96	385,44	,99	30,97
Iluminância (lux)	6457,80	174878,27	1305,84	35338,47	1799,11	50286,49	3699,04	103290,38
Temperatura (°C)	26,33	2,74	24,35	2,03	24,42	2,01	25,27	2,24
Nec. Arrefecimento (Wh)	502,09	13589,85	180,78	4893,49	178,79	4927,08	306,13	8343,53
Dia mais quente								
Consumo Ilum. (Wh)	,00	,00	,43	2,08	5,49	16,22	,00	,00
Iluminância (lux)	4105,89	9664,34	740,74	1134,20	1145,02	2755,61	2353,39	5665,89
Temperatura (°C)	26,52	1,68	25,11	1,25	25,18	1,12	25,76	1,29
Nec. Arrefecimento (Wh)	462,92	622,77	216,65	287,56	209,16	277,33	308,80	405,73
Dia mais frio								
Consumo Ilum. (Wh)	,00	,00	1,04	5,08	6,00	16,95	,00	,00
Iluminância (lux)	1972,33	3277,00	448,64	524,12	548,85	936,55	1128,89	1929,27
Temperatura (°C)	23,52	1,48	21,22	1,76	21,28	1,74	22,44	1,81
Nec. Arrefecimento (Wh)	61,11	96,65	,00	,00	,00	,00	5,76	21,00

6.3.1.1 Análise de resultados - películas de aplicação pelo interior

Na *estação de arrefecimento* é possível observar pela Tabela 6.3 que o consumo médio diário com iluminação apresenta valores de zero, ou quase zero, para a situação sem estore e o Grupo 2 de películas, 2,78Wh para a situação com estore e 11,96Wh para o Grupo 1 de películas. Na *estação de aquecimento* foi possível observar que a diferença no consumo com iluminação entre o Grupo 1 de películas e a situação com estore é relativamente baixa (diferença de 3,03Wh), no entanto, na *estação de arrefecimento*, esta diferença é bastante superior (cerca de 9,18Wh), realçando a capacidade de reflexão das películas pertencentes ao Grupo 1 comparativamente com o estore utilizado no Gabinete de estudo que, mesmo com valores de radiação global elevados, apresenta consumos com iluminação excessivos para uma *estação de arrefecimento*.

Durante a *estação de arrefecimento*, a temperatura média interior apresenta o valor mais baixo para as situação com estore e Grupo 1 de películas (24,35°C e 24,42°C, respectivamente), um valor intermédio para o Grupo 2 de películas (25,27°C) e o valor mais elevado para a situação com estore (26,33°C). Apesar de não haver uma grande diferença entre as temperaturas médias interiores, os seus valores são de extrema importância na manutenção do conforto interior do Gabinete pois, as médias apresentadas pelo Grupo 2 de películas e pela situação sem estore ultrapassam o valor máximo de 25°C, enquanto que, o Grupo 1 e a situação com estore, em média, não ultrapassam esse valor. Desta forma, é

possível verificar que as necessidades médias diárias com arrefecimento são superiores para a situação sem estore (502,09 Wh) e para o Grupo 2 de películas (306,13 Wh) e inferiores para a situação com estore (180,78 Wh) e para o Grupo 1 de películas (178,79Wh), como seria expectável.

É de realçar que enquanto as necessidades com arrefecimento para a situação com estore e para o Grupo 1 de películas é semelhante, o consumo médio com iluminação é bastante superior para o Grupo 1 de películas comparativamente com a situação com estore.

Para o *dia mais quente* apenas o Grupo 1 de películas apresenta um consumo com iluminação pouco significativo de 5,49Wh. A iluminância no centro do Gabinete de estudo é, como esperado, mais elevada para a situação sem estore.

A temperatura interior no *dia mais quente* aumenta, comparativamente com os valores de temperatura interior obtidos para a *estação de arrefecimento*, em 0,76°C para a situação com estore e com o Grupo 1 de películas, em 0,5°C para o Grupo 2 de películas e em 0,2°C para a situação sem estore. A situação com estore e o Grupo 1 de películas foram os casos que sofreram um maior aumento da temperatura interior e, desta forma, as necessidades energéticas com arrefecimento são superiores e aumentam em cerca de 30 a 36Wh.

O *dia mais frio* apresenta valores de consumo com iluminação nulos (muito semelhantes ao dia mais quente), onde apenas o Grupo 1 de películas apresenta um valor pouco significativo de 6W. Conclui-se assim que os valores de iluminância no centro do Gabinete de estudo satisfazem, para as quatro situações de estudo, os requisitos mínimos de iluminação durante todo o horário laboral para o *dia mais frio* da estação de arrefecimento.

A temperatura interior do *dia mais frio* apresenta valores bastante inferiores aos obtidos para a *estação de arrefecimento*, observando-se uma redução de 2,8°C para a situação sem estore e para o Grupo 2 de películas e uma redução de 3,1°C para a situação com estore e para o Grupo 1 de películas. A utilização de meios de protecção solar em envidraçados, como é o caso do estore e do Grupo 1 de películas, nos dias mais frios de verão, tem um grande impacto sobre a temperatura interior do Gabinete, mantendo a temperatura ao longo de todo o horário laboral dentro dos parâmetros de conforto definidos sem haver necessidades de arrefecimento. Desta forma, apenas o caso de estudo do envidraçado sem estore apresenta um valor não nulo das necessidades de arrefecimento de 61,11Wh para o *dia mais frio*.

6.3.1.2 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de interior

Na Figura 6.3 podem ser observados os valores médios obtidos para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*, para o consumo com iluminação (Consumo Ilum.), a iluminação no centro do gabinete (Iluminância), a temperatura interior (Temperatura Interior) e as necessidades energéticas para arrefecimento (Nec. arrefecimento).

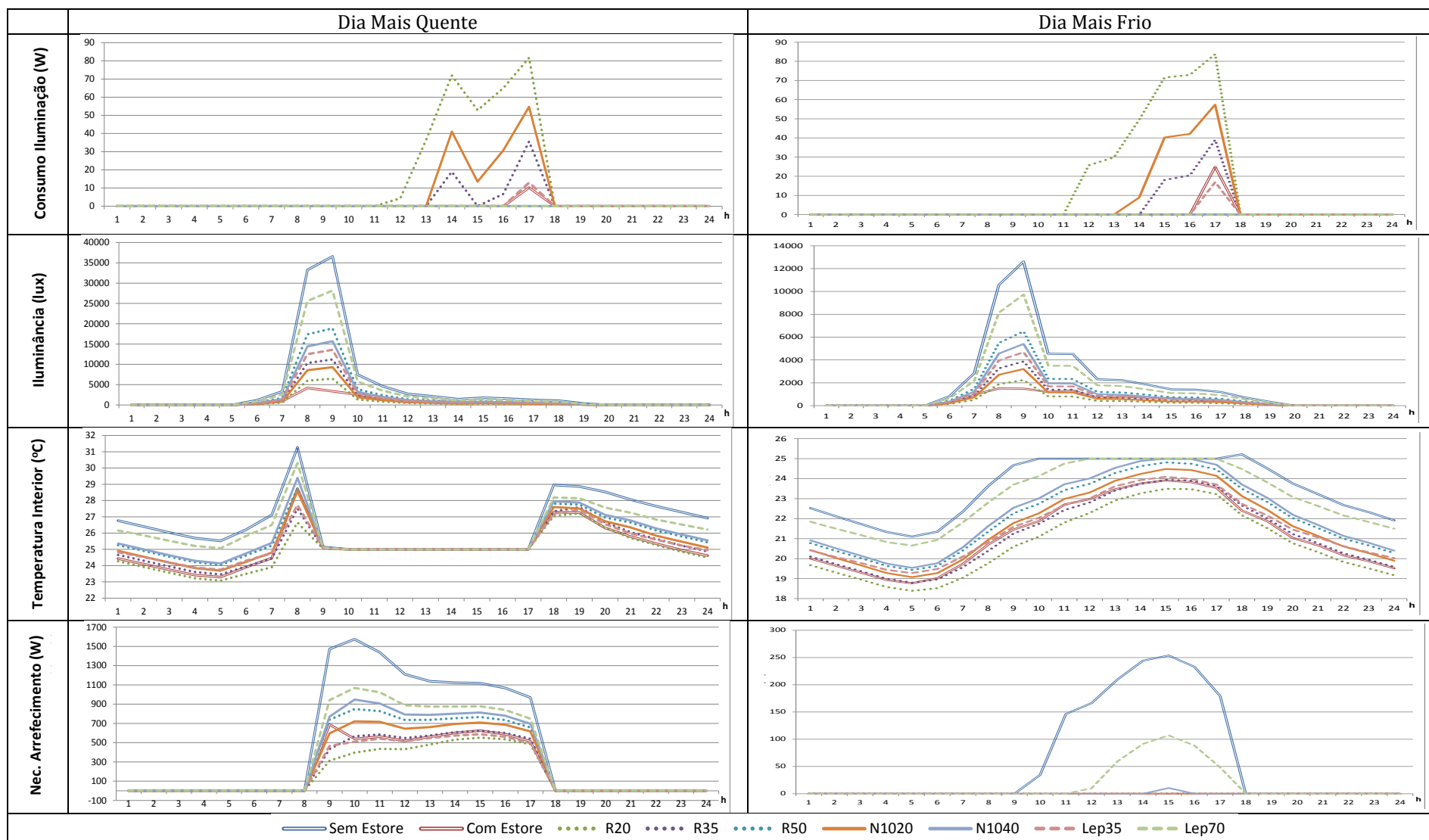


Figura 6.3 - Consumo de electricidade (W), Iluminância (lux), Consumo electricidade (W), Gastos com arrefecimento (W) com estore e sem estore e para as várias películas, para dois dias tipo, na estação de arrefecimento

Pela observação da Figura 6.3 é possível concluir que:

- o *dia mais quente* e o *dia mais frio* apresentam consumos com iluminação semelhantes para a estação de arrefecimento no período laboral, onde a película R20 apresenta o valor máximo com cerca de 80Wh durante a parte da tarde, tanto para o *dia mais quente* como para o *dia mais frio*. Todas as películas do grupo 1 e a situação com estore apresentam consumos com iluminação para todas as horas do período laboral, enquanto que as películas do grupo 2 e a situação sem estore têm consumo nulos. Na estação de arrefecimento, tal como na estação de aquecimento, as películas do grupo 1 têm consumos de energia com iluminação superiores ou iguais ao da situação com estore, concluindo-se, assim, que estas películas apresentam consumos com iluminação durante todo o ano, independentemente da estação, superiores ao apresentado pela situação com estore presente no Gabinete de estudo;
- a iluminação interior no Gabinete de estudo regista valores máximos para o período da manhã, onde as películas pertencentes ao Grupo 2 de películas apresentam valores de iluminância inferiores aos da situação sem estore e valores superiores aos do Grupo 1 de películas. É possível observar que o Grupo 2 apresenta valores máximos entre 28000 e 15000 lux para o *dia mais quente*, e entre 10000 e 4000 lux para o *dia mais frio*; o Grupo 1 apresenta valores inferiores a 12000 lux para o *dia mais quente* e valores inferiores a 3000 lux para o *dia mais frio*. No período da tarde, os dois grupos de películas, a situação sem estore e a situação com estore apresentam valores de iluminação mais semelhantes entre si, embora o grupo 1 de películas apresente valores inferiores ao mínimo de 200 lux estabelecido como o mínimo para se atingir as condições de conforto no Gabinete de estudo;
- a temperatura interior para o *dia mais frio* e para o *dia mais quente* são bastante distintas. No *dia mais quente* todas as situações em análise ultrapassam a temperatura de conforto de 25°C antes do período laboral, originando valores elevados das necessidades com arrefecimento durante todo o período laboral. É possível observar que a situação sem estore origina necessidades energéticas elevadas durante todo o período laboral atingindo um máximo de cerca de 1600Wh no período da manhã. As películas do Grupo 1 apresentam valores das necessidades com arrefecimento próximos dos apresentados pela situação com estore onde as películas R20, R35 e Lep 35 têm valores inferiores à situação com estore. A película N1020 é a única do Grupo 1 que apresenta necessidades energéticas superiores à observada para a situação com estore. Analisando o desempenho das películas no *dia mais frio* da estação de arrefecimento é possível observar que apenas a película Lep70 apresenta necessidades energéticas com arrefecimento significativas, enquanto que as restantes películas conseguem manter a temperatura abaixo dos 25°C sem recorrer a dispositivos de arrefecimento. É possível concluir que, para dias mais frios da estação de arrefecimento, as películas reduzem significativamente as necessidades energéticas com arrefecimento, mantendo a temperatura interior em valores homogêneos durante o período laboral. No entanto, nos dias mais quentes desta estação, as películas com características que se enquadrem no Grupo 2 de películas deste trabalho apresentam consumos elevados quando comparados com um estore semelhante ao presente no Gabinete de estudo.

6.3.2 Películas de Aplicação pelo Exterior

Na Tabela 6.4 apresenta-se, para cada grupo, a média (M) e o desvio padrão (Dp) das médias diárias do consumo com iluminação, da iluminância no centro do gabinete, da temperatura interior e das necessidades de energia para aquecimento, para a *estação de aquecimento*, para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*.

Tabela 6.4 - Médias diárias do consumo com iluminação (Consumo Ilum.), de iluminância no centro do gabinete (Iluminância), de temperatura interior (Temperatura) e das necessidades de energia com arrefecimento (Nec. arrefecimento), para a estação de arrefecimento para películas de exterior

	Sem estore		Com estore		Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp
Estação arrefecimento										
Consumo Ilum. (Wh)	,22	6,34	2,78	75,85	14,92	442,61	1,29	37,07	,36	10,37
Iluminância (lux)	6457,80	174878,27	1305,84	35338,47	1596,29	44217,58	3061,67	83261,59	5136,74	139103,80
Temperatura (°C)	26,33	2,74	24,35	2,03	24,16	2,03	24,94	2,17	24,98	2,18
Nec. Arrefecimento (Wh)	502,09	13589,85	180,78	4893,49	153,06	4319,02	266,80	7234,16	272,65	7380,00
Dia mais quente										
Consumo Ilum. (Wh)	,00	,00	,43	2,08	7,14	18,41	,00	,00	,00	,00
Iluminância (lux)	4105,89	9664,34	740,74	1134,20	1015,87	2422,52	1948,94	4567,35	3265,73	7687,83
Temperatura (°C)	26,52	1,68	25,11	1,25	25,03	1,14	25,54	1,20	25,57	1,20
Nec. Arrefecimento (Wh)	462,92	622,77	216,65	287,56	190,09	258,02	282,63	370,80	289,14	382,87
Dia mais frio										
Consumo Ilum. (Wh)	,00	,00	1,04	5,08	7,77	19,19	,00	,00	,00	,00
Iluminância (lux)	1972,33	3277,00	448,64	524,12	487,02	822,16	933,79	1544,29	1568,96	2607,62
Temperatura (°C)	23,52	1,48	21,22	1,76	20,90	1,77	21,99	1,82	22,04	1,85
Nec. Arrefecimento (Wh)	61,11	96,65	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00

6.3.2.1 Análise de resultados - películas de aplicação pelo exterior

Como se pode observar na Tabela 6.4, a *estação de arrefecimento* apresenta consumos médios com iluminação muito elevados para o Grupo 1 de películas (14,92Wh) e valores muito reduzidos ou nulos para os restantes grupos. Os valores de iluminância variam muito consoante o grupo em análise: a situação sem estore apresenta valores elevados de iluminância (6457Wh) quando comparados com os valores apresentados pela situação com estore (1305Wh) e pelo Grupo 1 de películas (1596Wh); o Grupo 2 de películas apresenta um valor intermédio de iluminância (3061Wh); e a película PR70 apresenta um valor elevado de 5136,74 Wh, sendo este o valor mais elevado dentro das películas analisadas e o que mais se aproxima do valor apresentado pela situação da janela sem estore.

As temperaturas médias interiores apresentadas pelo Grupo 1 e pelo Grupo 2 de películas, para a *estação de arrefecimento*, em aplicação pelo exterior, estão bastante próximos dos valores obtidos para as

películas de aplicação pelo interior, observando-se uma diminuição inferior a 0,5°C para os dois grupos. A película PR70 apresenta uma temperatura interior média de 24,98°C, que corresponde a um valor semelhante ao observado pelo Grupo 2 de películas. As necessidades energéticas com arrefecimento diminuíram para o Grupo 1 e para o Grupo 2 de películas em valores inferiores a 40 Wh, quando comparadas com as necessidades energéticas obtidas para as películas de aplicação pelo interior, devendo-se esta diferença à diminuição da temperatura interior. A película PR70 apresenta valores médios de necessidades energéticas com arrefecimento um pouco superiores aos apresentados pelo Grupo 2 de películas.

A película PR70 apresenta, para a *estação de arrefecimento*, valores pouco satisfatórios de diminuição da temperatura interior (apresentando uma diminuição de apenas 1,3°C), mas reduz quase para metade as necessidades energéticas com arrefecimento, quando comparadas com as necessidades do cenário de janela sem estore, apresentando, ao mesmo tempo, valores elevados de iluminância de tal forma que o consumo com iluminação é nulo.

O *dia mais quente* não apresenta diferenças significativas de consumo com iluminação, de temperatura interior e de necessidades energéticas com arrefecimento quando comparado com os valores obtidos no dia mais quente para as películas aplicação pelo interior. No entanto, fazendo a mesma comparação, é possível verificar que a iluminância diminui bastante para o Grupo 1 de películas (cerca de 130 lux) e para o Grupo 2 de películas (cerca de 404 lux).

Para o *dia mais quente* a película PR70 apresenta valores de consumo com iluminação, temperatura interior e necessidades com arrefecimento semelhantes aos do Grupo 2 de películas. No entanto, é possível observar que esta película apresenta um valor mais elevado de iluminância quando comparada com os Grupos 1 e 2 de películas, estando esse valor mais próximo do apresentado pela situação sem estore do que de qualquer um dos grupos de películas estudados.

Para o *dia mais frio* é possível observar que os valores do consumo com iluminação, da temperatura interior e das necessidades com arrefecimento são semelhantes para as películas de aplicação pelo interior e para as películas de aplicação pelo exterior (Tabela 6.3 e Tabela 6.4). Os valores da iluminância no centro do Gabinete de estudo são um pouco inferiores para as películas de aplicação pelo exterior, diminuindo 61,83 lux para o Grupo 1 e 195,1 lux para o Grupo 2 de películas. A película PR70, uma vez mais, apresenta um valor de iluminância no centro do Gabinete mais elevado que o Grupo 2 de películas e um valor inferior ao da situação sem estore e uma temperatura interior semelhante à observada para o Grupo 2 de películas, sendo que os consumos com iluminação e as necessidades energéticas com arrefecimento, para o dia mais frio, são nulas.

6.3.2.2 Dia mais quente e mais frio – análise para todas as películas de exterior

Os valores médios obtidos para o *dia mais quente* e para o *dia mais frio*, para o consumo com iluminação e com a iluminação no centro do gabinete para as seis películas de aplicação pelo exterior são semelhantes aos obtidos para as películas equivalentes de interior, não apresentando diferenças significativas. No que diz respeito à temperatura interior e às necessidades de energia com arrefecimento, as películas de aplicação pelo exterior apresentam valores significativamente inferiores aos observados

quando as mesmas são aplicadas pelo interior do envidraçado. As películas do Grupo 1 apresentam uma diminuição um pouco superior a 1°C durante o período laboral quando é aplicada pelo exterior. As películas do Grupo 2 de aplicação pelo exterior (R50 e N1040) registam uma diminuição da temperatura interior que chega a 0,8°C quando a temperatura exterior atinge os valores mais elevados do dia. Desta forma, é possível concluir que, a mesma película, quando aplicada pelo exterior, origina necessidades energéticas com arrefecimento inferiores aos observados quando é aplicada pelo interior, sendo esta diferença mais notória para as películas do Grupo 1.

6.4 Análise Global do Desempenho de Películas de Aplicação pelo Interior e pelo Exterior

Para uma melhor compreensão do desempenho energético das películas de aplicação pelo interior e de aplicação pelo exterior no envidraçado presente no Gabinete de estudo, realizou-se o cálculo das necessidades nominais de energia primária para cada película ao longo de todo o ano.

As necessidades nominais de energia primária (N_{EP}) para efeitos de climatização do Gabinete de estudo resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com aquecimento e com arrefecimento, e foram calculadas de acordo com a equação 6.1.

$$N_{EP} = \frac{Nec. Aquecimento}{Eficiência equipamento} \times F_{conv para energ. prim.} + \frac{Nec. Arrefecimento}{Eficiência equipamento} \times F_{conv para energ. prim.} \quad (6.1)$$

Admitiu-se que o equipamento presente no Gabinete de estudo é constituído por ar condicionado com bomba de calor com uma eficiência do equipamento de aquecimento de 3,4 e uma eficiência do equipamento de arrefecimento de 3,0. O factor de conversão de energia útil em energia primária considerado, tanto para a estação de aquecimento como para a estação de arrefecimento, foi de 2,5 kWh_{EP}/kWh. Na Figura 6.4 é possível observar as necessidades totais de aquecimento e arrefecimento, as necessidades nominais de energia primária (com os valores indicados nas respectivas colunas) e a energia primária de iluminação do Gabinete de estudo, para as sete películas de aplicação pelo interior estudadas no capítulo 3 do presente trabalho.

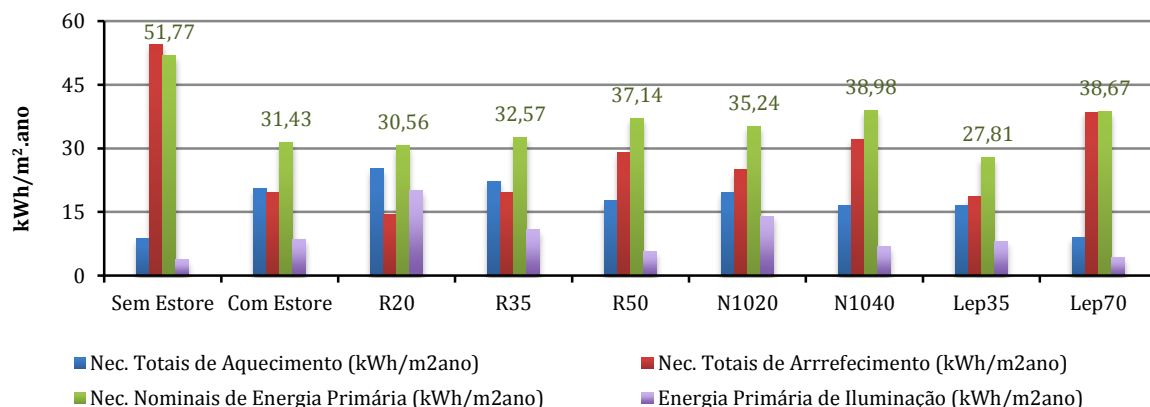


Figura 6.4 - Desempenho energético do Gabinete de estudo com aplicação de películas pelo interior do envidraçado (com os valores algébricos da energia primária indicados na coluna respectiva)

Pela observação da Figura 6.4 é possível concluir que a utilização de películas no envidraçado do Gabinete, comparativamente à situação sem estore, reduz significativamente as necessidades totais de arrefecimento e as necessidades nominais anuais de energia primária do Gabinete, no entanto, aumenta as necessidades totais de aquecimento e a energia primária de iluminação.

Pela análise da Figura 6.4 observa-se que as películas de aplicação pelo interior R20 e Lep35 são as que apresentam os melhores desempenhos energéticos ao longo de um ano, apresentando valores das necessidades nominais anuais de energia primária inferiores aos do estore. As restantes películas apresentam desempenhos energéticos superiores aos do estore, sendo que a película Lep70 é a que apresenta o maior valor das necessidades nominais anuais de energia primária.

Na Figura 6.5 é possível observar as necessidades totais de aquecimento e arrefecimento, as necessidades nominais de energia primária (com os valores indicados nas respectivas colunas) e a energia primária de iluminação do Gabinete de estudo, para as seis películas de aplicação pelo exterior estudadas no capítulo 3 do presente trabalho.

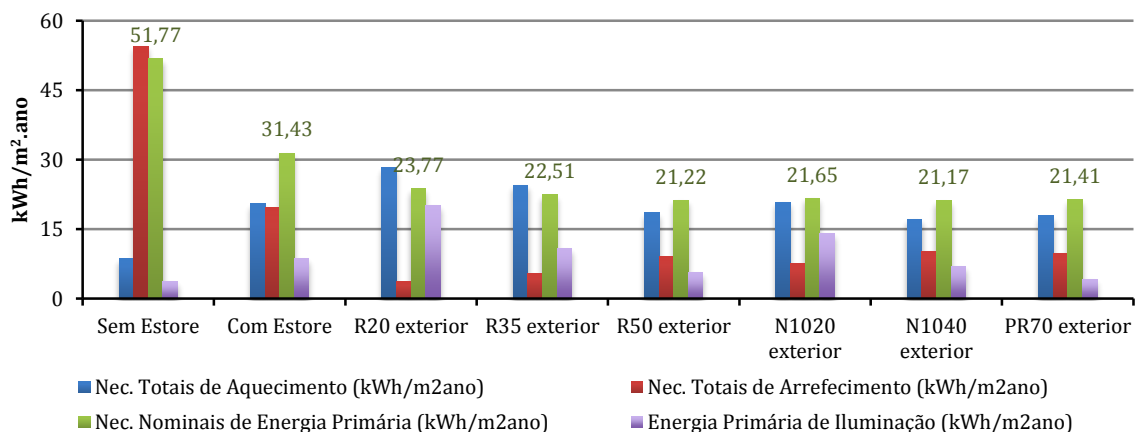


Figura 6.5 - Desempenho energético do Gabinete de estudo com aplicação de películas pelo exterior do envidraçado (com os valores algébricos da energia primária indicados na coluna respectiva)

Pela análise da Figura 6.5 observa-se que todas as películas de aplicação pelo exterior apresentam necessidades nominais anuais de energia primária do Gabinete inferiores às da situação com estore. No entanto, é possível observar que as necessidades totais de arrefecimento diminuem e as necessidades totais de aquecimento aumentam significativamente quando comparadas com as obtidas para as películas com aplicação pelo interior. Desta forma, para a estação de arrefecimento temos uma factura energética muito inferior que compensa o novo aumento de energia para a estação de aquecimento.

É possível observar na Figura 6.5 que as películas de aplicação pelo exterior têm desempenhos energéticos muito semelhantes entre si, sendo que a película R20 é a que apresenta o menor valor das necessidades totais de arrefecimento e das necessidades nominais anuais de energia primária e o maior valor das necessidades totais de aquecimento e de energia primária com iluminação.

7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O presente trabalho teve como objecto o estudo do desempenho energético de diferentes películas de aplicação pelo interior e pelo exterior em envidraçados.

Numa primeira fase do trabalho analisou-se a influência que as películas exercem nos parâmetros ópticos de diferentes tipos de vidro. Conclui-se que a aplicação de películas, seja de aplicação pelo interior seja de aplicação pelo exterior, consegue reduzir o factor solar e a transmitância visível do vidro em diferentes gamas de valores, dependendo das características técnicas das películas e das características do vidro.

De modo a estudar o desempenho óptico de um conjunto de película e vidro foi necessário recorrer aos programas Windows e Optics utilizado por vários autores de investigação e por técnicos da área para compreender qual o comportamento apresentado pelo conjunto. Concluiu-se com esse estudo que:

- Quanto maior for a espessura de um vidro seja este simples ou laminado, menor é a redução do factor solar provocada pelas películas, tanto as de aplicação pelo interior como as de aplicação pelo exterior. As películas que apresentaram uma maior redução do factor solar foram a R20 e a LEP 35, com reduções máximas de cerca de 71% e 67%, respectivamente, quando aplicadas num vidro simples de 4mm devido principalmente à sua elevada capacidade de reflexão. As películas que apresentaram uma pior redução do factor solar foram a N1040 e a LEP 70, com máximos de redução de 36% e 39%, respectivamente, quando aplicadas em vidro simples de 4mm, pois estas películas têm por objectivo proporcionar um balanço mais equilibrado entre vários factores como: a redução de ganhos solares, do encadeamento e da transmissão UV sem comprometer em demasia a passagem de luz natural que atravessa o vidro;
- A capacidade de uma película em reduzir o factor solar de um vidro duplo é inferior quando comparada com um vidro simples ou laminado com a mesma espessura total de envidraçado, não sendo esta redução influenciada pelo tipo de preenchimento na câmara de ar;
- Para vidros com proteção solar incorporada na sua constituição a influência sobre o factor solar pela aplicação de películas é muito inferior quando comparada com vidros semelhantes sem proteção solar, tornando a aplicação de películas nestes vidros redundante;
- O coeficiente de transmissão térmica não se altera depois da aplicação de qualquer tipo de película, seja de interior seja de exterior, devido à reduzida espessura que estas apresentam;
- A redução da transmitância visível do vidro pela aplicação de uma película, seja de interior seja de exterior, é pouco influenciado pelo tipo de vidro em questão. O valor final da transmitância visível para o conjunto vidro e película está muito próximo das especificações técnicas apresentadas em catálogos de comerciantes de películas.

Numa segunda fase analisou-se os desempenhos térmicos e energéticos de um gabinete do DECivil do Instituto Superior Técnico situado em Lisboa, para as estações de aquecimento e de arrefecimento, para diferentes tipos de películas de aplicação pelo interior e pelo exterior, em condições reais de funcionamento. Para isso, modelou-se o Gabinete no programa computacional EnergyPlus que

permitiu calibrar com sucesso os dados experimentais de temperatura interior, medidos numa campanha experimental realizada no Instituto Superior Técnico em 2013, com os resultados obtidos na simulação, para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento.

Através desta modelação foi possível simular e obter dados, para diferentes tipos de películas, para os valores da iluminância no interior do gabinete, considerando-se que a iluminância mínima para proporcionar condições de conforto interior é de 200 lux, o consumo com iluminação, a temperatura média interior e as necessidades energéticas com aquecimento e arrefecimento, conforme a estação de análise.

O estudo do desempenho térmico e energético foi analisado para quatro situações diferentes: a situação da janela do gabinete sem estore, para a situação da janela totalmente coberta com estore e para dois grupos de películas de aplicação pelo interior e três grupos de películas de aplicação pelo exterior. Os resultados demonstraram que, no geral, as películas de aplicação pelo interior e pelo exterior provocam variações térmicas não desejáveis durante a estação de aquecimento, diminuindo os valores da iluminância e da temperatura interior, e aumentando os consumos e as necessidades energéticas com iluminação e aquecimento. Os resultados obtidos para a estação de arrefecimento, para todos os grupos de películas demonstraram grande capacidade de redução dos consumos com iluminação e das necessidades energéticas com arrefecimento, sendo que o grupo 1 de películas apresentou melhores resultados que o grupo 2 e que uma situação do envidraçado com estore.

Uma análise global das necessidades energéticas anuais do Gabinete permitiu concluir que a utilização de películas de aplicação pelo interior do envidraçado do Gabinete reduz significativamente as necessidades totais de arrefecimento e as necessidades nominais anuais de energia primária, mas aumenta as necessidades totais de aquecimento e a energia primária de iluminação. Das películas de aplicação pelo interior analisadas, foi possível concluir que as películas R20 e Lep35 apresentam desempenhos energéticos mais favoráveis do que uma situação de estore no envidraçado. As restantes películas apresentam desempenhos energéticos superiores aos do estore, sendo que a película PR70 é a que apresenta o maior valor das necessidades nominais anuais de energia primária.

A mesma análise foi conduzida para as películas de aplicação pelo exterior, onde se concluiu que todas as películas de aplicação pelo exterior apresentam desempenhos energéticos muito semelhantes entre si e as necessidades nominais anuais de energia primária, para todas as películas, são inferiores às de uma situação com estore. Nesta análise, a película R20 foi a que apresentou o menor valor das necessidades totais de arrefecimento e das necessidades nominais anuais de energia primária e o maior valor das necessidades totais de aquecimento e de energia primária com iluminação.

As conclusões retiradas nesta dissertação mostram a potencialidade que as películas de controlo solar podem alcançar na redução dos consumos energéticos de um edifício, além de melhorarem o conforto no ambiente interior, especialmente em situações de reabilitação de edifícios existentes. Desta forma, sugere-se para futuros desenvolvimentos:

- Realizar uma análise do comportamento térmico e energético de diferentes películas para ambientes interiores com grandes áreas úteis e com grandes áreas de envidraçado nas fachadas;
- Avaliar as variações que diferentes películas proporcionam para diferentes zonas climáticas, especialmente em zonas com verões rigorosos e prolongados;

- Avaliar o desempenho de películas para diferentes orientações de fachada como, por exemplo, fachadas com grandes áreas de envidraçados orientadas a Sul;
- Realizar uma análise económica que compare os custos de investimento e manutenção de uma reabilitação utilizando películas versus a substituição dos vidros por outros com melhor desempenho térmico e energético;
- Analisar o desempenho de películas na redução do encadeamento em locais de trabalho como forma de aumentar o conforto interior e a produtividade no trabalho.

Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente.(2015). *O clima em Portugal*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=393>>
[consultado em 22/09/2015].

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (2010) – *ASHRAE*, Disponível em WWW:

<URL:<https://www.ashrae.org/>> [consultado em 08/04/2015].

Babaei, T. *et al.* (2015). *A study and a directory of energy consumption data sets of buildings, Energy and Buildings*. Disponível em WWW:

<URL:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.043>> [consultado em 28/07/2015].

Sombreamentos Exteriores. Construção Sustentável. (2012). Disponível em WWW:

<URL:<http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-||-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Sombreamentos-Exteriores>> [consultado em 28/07/2015].

Ventilação Natural. Construção Sustentável. (2012). Disponível em WWW:

<URL:<http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-%7C%7C-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Ventilacao-Natural>> [consultado em 26/05/2015].

Orientação das Fachadas. Construção Sustentável. (2012). Disponível em WWW:

<URL:<http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-||-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Orientacao-das-Fachadas-Principais-e-dos-Espacos-de-Permanencia>> [consultado em 28/07/2015].

Inércia Térmica. Construção Sustentável. (2012). Disponível em WWW:

<URL:<http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-||-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Inercia-Termica>> [consultado em 20/07/2015].

Proporção Adequada das Áreas Envidraçadas. Construção Sustentável. (2012). Disponível em WWW:

<URL:<http://www.construcaosustentavel.pt/index.php?/O-Livro-||-Construcao-Sustentavel/Eficiencia-Energetica/Proporcao-Adequada-das-Areas-Envidracadas>> [consultado em 25/06/2015].

Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.lneg.pt/download/4117/Conceitos%20Bioclim%C3%A1ticos.pdf>> [consultado em 10/07/2015].

DGEG, 2012. Direção Geral de Energia e Geologia -. *Caracterização Energética Nacional 2012*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.dgeg.pt>> [consultado em 08/09/2015].

Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, US Department of Energy, EUA. (2013). *Therm 6.3 / Window 6.3, NFRC Simulation Manual*

European Standard, Glass in building (2014). *Adhesive backed polymeric filmed glass – Part 1: Definitions and requirements*. EN 15755-1. Brussels.

European Union - Directive 2010/31/UE of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings.

European Union - Directive 2012/27/UE of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency.

European Window Film Association. (2012). *Short History of Window Film*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.ewfa.org/short-history-window-film>> [consultado em 22/06/2015].

European Window Film Association. (2012). *Window Film Components*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.ewfa.org/window-film-components>> [consultado em 28/05/2015].

Faggembauu, D. et al. (2013). *Numerical analysis of the thermal behavior of ventilated glazed facades in Mediterranean climates. Part I: development and validation of numerical model*, Solar Energy 75, 217-228.

Faustino, C. R. (2012). *Influência dos Vãos Envidraçados no Desempenho Energético de Edifícios - Aplicação ao edifício do DECivil-IST*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.

Florida Solar Energy Center. (2014). *About Window Films*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/buildings/homes/windows/films.htm>> [consultado em 28/07/2015].

Guia Casa Eficiente. (2014). *Edifícios Energia Zero*, Disponível em WWW:

<URL:<http://www.guiacasaeficiente.com/EEZ/EEZPrincipal.html>> [consultado em 29/07/2015].

Guia Casa Eficiente. (2013). *O Projeto Europeu dos Edifícios (quase) Energia Zero*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.guiacasaeficiente.com/EEZ/EEZPrincipal.html>> [consultado em 09/04/2015].

Hanita Coatings. (2014). *Skylight film installation upgrades Barcelona mall comfort – and saves on cooling costs*. Disponível em WWW:

<URL:http://www.hanitaenergy.com/sites/hanita/UserContent/files/CaseStudies_PDF/Barcelona%20diagonal%20mar%20case%20study%20v3.pdf> [consultado em 28/07/2015].

Hanita Coatings. (2014). *SolarZoneXTRM SkyLite – Transparent, long-lasting solar control for roof glazing*. Disponível em WWW:

<URL:http://www.hanitaenergy.com/sites/hanita/UserContent/files/products_PDF/XTRM_skylite.pdf> [consultado em 20/07/2015].

High Performance Window Film, Comfort without compromise, Solar Control & Energy Savings Collection, (2014). Eastman Chemical Company.

Huang, Y. (2015). *Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials*, Energy and Buildings. Disponível em

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815302668> [consultado em 28/07/2015].

Performance Window Film, Comfort Without compromise. Llumar (2014).

INE (2014). *Estatísticas da Construção e habitação 2013*. Lisboa: INE

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland.

Khedari, J. *et al.* (2015). *Thailand ventilation comfort chart*, Energy and Buildings. Disponível em

https://www.researchgate.net/publication/222566037_Thailand_ventilation_comfort_chart_Energ_Build [consultado em 28/08/2015].

Llumar. (2015). *Energy Saving Window Film Performance Data*. Disponível em WWW:

<URL:<http://w3.llumar.com/pdf/en/LLumarArchSolarSpecs.pdf>> [consultado em 28/07/2015].

Llumar. (2015). *Comercial Case Studies, Private Residence, Atlanta, Georgia, USA*. Disponível em WWW:

<URL:<http://northamerica.llumar.com/photos-and-case-studies/commercial-case-studies/private-residence>> [consultado em 28/05/2015].

Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Department. (2001). *Window 5.0 User Manual, For Analysing Window Thermal Performance*

Li, H. W. et al. (2004) *Lighting and energy performance of solar film coating in air-conditioned cellular offices*, Renewable Energy 29: 921-937

Mallick, F.H. (1996). *Thermal comfort and building design in the tropical climates*, Energy and Buildings 23, 161-167.

Master Installer Reference Guide. Madico University, Madico Safetyshield.

Moretti E., Belloni E. (2015). *Evaluation of energy, thermal, and daylighting performance of solar control films for a case study in moderate climate*, Building and Environment.

Optics6 (2013) – Disponível em WWW:

<URL:<https://windows.lbl.gov/software/Optics/optics.html>>. [consultado em 20/05/2015].

Oral GK, Yener AK, Bayazic NT. (2004). *Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions*. Building and Environment 39:281-287.

Pordata, (2015). *Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia – Portugal*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+primária+total+e+por+tipo+de+fonte+de+energia-1130>> [consultado em 28/07/2015].

RCCTE, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Decreto de Lei nº 80, de 4 de Abril de 2006, Porto, 2006

Rodrigues, A., Canha da Piedade, A., Braga, A. M. (2009). *Térmica de Edifícios*, Lisboa. Edições Orion, Lisboa

Saint Gobain Glass (SGG), Saint-Gobain Glass Portugal, Vidro Plano, S.A., (2008). *Manual do vidro*

SkinGlass. (2013). *Películas para o seu conforto*. Disponível em WWW:

<URL:<http://skinglass.com.br/php/index.php>> [consultado em 24/06/2015].

Solar Gard. (2012). *Solar Control Window Films: Success Stories – Thomas Cook Belgium Headquarters, Zwijnaerde, Bergium*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.solargard.com/docs/marketing-toolkit/thomas-cook-success-story-solar-pdf0163sgq-au.pdf?sfvrsn=2>> [consultado em 28/07/2015].

Solar Gard. (2012). *Solar Control Window Films – Silver 35*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.solargard.com/docs/marketing-toolkit/silver-35-solar-sample-page-0314sil35-int.pdf?sfvrsn=6>> [consultado em 09/07/2015].

Solar Gard. (2012). *Solar Control Window Films: Success Stories – Private Residence, Chicago, Illinois*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.solargard.com/docs/default-source/success-stories---pdf/private-residence-chicago-success-story-solar-0163sgh.pdf?sfvrsn=0>> [consultado em 05/07/2015].

Solar Gard. (2012). *Solar Control Window Films*. Disponível em WWW:

<URL: <http://w3.llumar.com/pdf/en/LLumarArchSolarSpecs.pdf>> [consultado em 04/07/2015].

United Nations Environment Programme (2009). Sustainable Buildings & Climate Initiative.. *Buildings & Climate Change: A Summary for Decision-Makers*. Disponível em WWW:

<URL:<http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf>> [consultado em 20/07/2015].

Vischer, J.C. (2007). *The effects of the physical environment on job performance: towards a theoretical model of workspace stress, Stress and Health*, 23: 175–184

Window 7.3.8 (2014) – Disponível em WWW:

<URL:https://windows.lbl.gov/software/window/7/index_7_3_8.html>, [Consult. 20 Agost. 2015].

[consultado em 28/05/2015].

Yin, H. (2012), *Lighting and cooling energy consumption in an open-plan office using solar film coating*, Energy 33: 1288-1297

Anexo A – Valores do factor solar, do coeficiente de transmissão térmica e transmitância visível de vidros com películas de aplicação pelo interior

Tabela A.1 – Valores de g, U, Tvis para vidros com aplicação de películas pelo interior

Casos de estudo	SEM PELÍCULA	PELÍCULA PELO INTERIOR							
		R 20 SI SR HPR	R 35 SI SR HPR	R 50 SI SR HPR	N1020 SR CDF	N1040 SR CDF	LEP 35 SR CDF	LEP 70 SR CDF	
A	Vidro Simples 4mm	g= 0,879 U= 5,798 Tv= 0,900	g= 0,258 U= 5,791 Tv= 0,162	g= 0,354 U= 5,793 Tv= 0,280	g= 0,503 U= 5,780 Tv= 0,472	g= 0,445 U= 5,782 Tv= 0,233	g= 0,565 U= 5,784 Tv= 0,393	g= 0,288 U= 5,779 Tv= 0,340	g= 0,534 U= 5,776 Tv= 0,691
B	Vidro Simples 6mm	g= 0,861 U= 5,731 Tv= 0,892	g= 0,273 U= 5,725 Tv= 0,160	g= 0,363 U= 5,727 Tv= 0,277	g= 0,504 U= 5,714 Tv= 0,467	g= 0,449 U= 5,716 Tv= 0,230	g= 0,561 U= 5,717 Tv= 0,388	g= 0,293 U= 5,713 Tv= 0,332	g= 0,525 U= 5,710 Tv= 0,683
C	Vidro Simples 8mm	g= 0,844 U= 5,666 Tv= 0,884	g= 0,285 U= 5,660 Tv= 0,158	g= 0,370 U= 5,662 Tv= 0,273	g= 0,503 U= 5,650 Tv= 0,462	g= 0,451 U= 5,651 Tv= 0,228	g= 0,557 U= 5,653 Tv= 0,383	g= 0,297 U= 5,649 Tv= 0,332	g= 0,517 U= 5,646 Tv= 0,675
D	Vidro Laminado 4x4mm	g= 0,804 U= 5,609 Tv= 0,875	g= 0,291 U= 5,604 Tv= 0,158	g= 0,375 U= 5,605 Tv= 0,273	g= 0,505 U= 5,593 Tv= 0,461	g= 0,452 U= 5,595 Tv= 0,228	g= 0,555 U= 5,596 Tv= 0,383	g= 0,300 U= 5,592 Tv= 0,331	g= 0,518 U= 5,589 Tv= 0,675
E	Vidro Laminado 6x6mm	g= 0,768 U= 5,486 Tv= 0,854	g= 0,310 U= 5,481 Tv= 0,154	g= 0,386 U= 5,482 Tv= 0,267	g= 0,503 U= 5,471 Tv= 0,451	g= 0,455 U= 5,472 Tv= 0,222	g= 0,547 U= 5,474 Tv= 0,374	g= 0,304 U= 5,470 Tv= 0,323	g= 0,502 U= 5,467 Tv= 0,659
F	Vidro Laminado 8x8mm	g= 0,738 U= 5,369 Tv= 0,835	g= 0,325 U= 5,363 Tv= 0,151	g= 0,394 U= 5,364 Tv= 0,261	g= 0,501 U= 5,354 Tv= 0,440	g= 0,457 U= 5,355 Tv= 0,217	g= 0,540 U= 5,356 Tv= 0,366	g= 0,307 U= 5,353 Tv= 0,316	g= 0,487 U= 5,350 Tv= 0,644
G	Vidro Laminado 8x4mm	g= 0,768 U= 5,486 Tv= 0,854	g= 0,310 U= 5,481 Tv= 0,154	g= 0,386 U= 5,482 Tv= 0,267	g= 0,503 U= 5,471 Tv= 0,451	g= 0,455 U= 5,472 Tv= 0,222	g= 0,547 U= 5,474 Tv= 0,374	g= 0,304 U= 5,470 Tv= 0,323	g= 0,502 U= 5,467 Tv= 0,659
H	Vidro Laminado 8x6mm	g= 0,753 U= 5,427 Tv= 0,845	g= 0,318 U= 5,421 Tv= 0,152	g= 0,390 U= 5,423 Tv= 0,264	g= 0,502 U= 5,412 Tv= 0,446	g= 0,456 U= 5,413 Tv= 0,220	g= 0,544 U= 5,414 Tv= 0,370	g= 0,306 U= 5,410 Tv= 0,320	g= 0,495 U= 5,408 Tv= 0,651
I	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (100%) de 16mm	g= 0,786 U= 2,729 Tv= 0,816	g= 0,320 U= 2,728 Tv= 0,153	g= 0,404 U= 2,728 Tv= 0,262	g= 0,527 U= 2,725 Tv= 0,435	g= 0,503 U= 2,726 Tv= 0,215	g= 0,594 U= 2,726 Tv= 0,359	g= 0,324 U= 2,725 Tv= 0,317	g= 0,530 U= 2,724 Tv= 0,626
J	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (100%) de 16mm	g= 0,758 U= 2,699 Tv= 0,802	g= 0,338 U= 2,698 Tv= 0,150	g= 0,413 U= 2,698 Tv= 0,256	g= 0,525 U= 2,696 Tv= 0,426	g= 0,502 U= 2,696 Tv= 0,210	g= 0,584 U= 2,696 Tv= 0,251	g= 0,330 U= 2,695 Tv= 0,310	g= 0,517 U= 2,695 Tv= 0,613

Tabela A.1 – Valores de g, U, Tvis para vidros com aplicação de películas pelo interior (cont.)

Casos de estudo	SEM PELÍCULA	PELÍCULA PELO INTERIOR							
		R 20 SI SR HPR	R 35 SI SR HPR	R 50 SI SR HPR	N1020 SR CDF	N1040 SR CDF	LEP 35 SR CDF	LEP 70 SR CDF	
L	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (100%) de 16mm	g= 0,734 U= 2,670 Tv= 0,787	g= 0,351 U= 2,669 Tv= 0,146	g= 0,420 U= 2,669 Tv= 0,251	g= 0,521 U= 2,666 Tv= 0,417	g= 0,500 U= 2,667 Tv= 0,206	g= 0,574 U= 2,667 Tv= 0,344	g= 0,334 U= 2,666 Tv= 0,303	g= 0,505 U= 2,665 Tv= 0,600
M	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm	g= 0,786 U= 2,608 Tv= 0,816	g= 0,323 U= 2,607 Tv= 0,153	g= 0,406 U= 2,607 Tv= 0,262	g= 0,530 U= 2,604 Tv= 0,435	g= 0,507 U= 2,605 Tv= 0,215	g= 0,597 U= 2,605 Tv= 0,359	g= 0,326 U= 2,604 Tv= 0,317	g= 0,532 U= 2,603 Tv= 0,626
N	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm	g= 0,759 U= 2,581 Tv= 0,802	g= 0,341 U= 2,579 Tv= 0,150	g= 0,416 U= 2,580 Tv= 0,256	g= 0,527 U= 2,577 Tv= 0,426	g= 0,506 U= 2,577 Tv= 0,210	g= 0,587 U= 2,578 Tv= 0,351	g= 0,333 U= 2,577 Tv= 0,310	g= 0,520 U= 2,576 Tv= 0,613
O	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm	g= 0,734 U= 2,554 Tv= 0,787	g= 0,354 U= 2,553 Tv= 0,146	g= 0,422 U= 2,553 Tv= 0,251	g= 0,523 U= 2,550 Tv= 0,417	g= 0,503 U= 2,551 Tv= 0,206	g= 0,576 U= 2,551 Tv= 0,344	g= 0,336 U= 2,550 Tv= 0,303	g= 0,507 U= 2,549 Tv= 0,600
P	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165	g= 0,324 U= 1,216 Tv= 0,611	g= 0,182 U= 1,215 Tv= 0,116	g= 0,216 U= 1,215 Tv= 0,198	g= 0,262 U= 1,215 Tv= 0,328	g= 0,250 U= 1,215 Tv= 0,162	g= 0,280 U= 1,215 Tv= 0,269	g= 0,202 U= 1,215 Tv= 0,239	g= 0,286 U= 1,214 Tv= 0,468
Q	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165	g= 0,324 U= 1,208 Tv= 0,600	g= 0,188 U= 1,208 Tv= 0,114	g= 0,221 U= 1,208 Tv= 0,194	g= 0,264 U= 1,207 Tv= 0,321	g= 0,254 U= 1,207 Tv= 0,158	g= 0,282 U= 1,207 Tv= 0,264	g= 0,205 U= 1,207 Tv= 0,234	g= 0,285 U= 1,207 Tv= 0,458
R	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165	g= 0,335 U= 1,201 Tv= 0,587	g= 0,202 U= 1,200 Tv= 0,111	g= 0,233 U= 1,200 Tv= 0,189	g= 0,275 U= 1,200 Tv= 0,313	g= 0,266 U= 1,200 Tv= 0,154	g= 0,293 U= 1,200 Tv= 0,257	g= 0,215 U= 1,200 Tv= 0,228	g= 0,294 U= 1,199 Tv= 0,447
S	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174	g= 0,399 U= 1,216 Tv= 0,692	g= 0,215 U= 1,215 Tv= 0,128	g= 0,259 U= 1,215 Tv= 0,220	g= 0,317 U= 1,215 Tv= 0,367	g= 0,304 U= 1,215 Tv= 0,181	g= 0,342 U= 1,215 Tv= 0,303	g= 0,242 U= 1,215 Tv= 0,265	g= 0,353 U= 1,214 Tv= 0,531
T	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174	g= 0,396 U= 1,208 Tv= 0,680	g= 0,222 U= 1,208 Tv= 0,125	g= 0,263 U= 1,208 Tv= 0,215	g= 0,318 U= 1,207 Tv= 0,360	g= 0,305 U= 1,207 Tv= 0,177	g= 0,342 U= 1,207 Tv= 0,297	g= 0,244 U= 1,207 Tv= 0,260	g= 0,349 U= 1,207 Tv= 0,520
U	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174	g= 0,389 U= 1,201 Tv= 0,668	g= 0,226 U= 1,200 Tv= 0,122	g= 0,264 U= 1,200 Tv= 0,210	g= 0,315 U= 1,200 Tv= 0,351	g= 0,304 U= 1,200 Tv= 0,173	g= 0,337 U= 1,200 Tv= 0,289	g= 0,244 U= 1,200 Tv= 0,253	g= 0,341 U= 1,199 Tv= 0,506

Tabela A.2 – Valores de g, U, Tvis para vidros com aplicação de películas pelo exterior

Casos de estudo		Sem película	PELÍCULA PELO EXTERIOR					
			PR70EXT	RHE 20 SI ER HPR	RHE 35 SI ER HPR	RHE 50 SI ER HPR	NHE 1020 ER HPR	NHE 1035 ER HPR
A	Vidro Simples 4mm	g= 0,879 U= 5,798 Tv= 0,900	g=0,532 U=5,790 Tv=0,713	g=0,225 U=5,791 Tv=0,161	g=0,327 U=5,793 Tv=0,280	g=0,492 U=5,780 Tv=0,472	g=0,428 U=5,782 Tv=0,233	g=0,553 U=5,784 Tv=0,393
B	Vidro Simples 6mm	g= 0,861 U= 5,731 Tv= 0,892	g= 0,526 U=5,724 Tv=0,705	g=0,222 U=5,725 Tv=0,160	g=0,322 U=5,727 Tv=0,277	g=0,483 U=5,714 Tv=0,467	g=0,423 U=5,716 Tv=0,230	g=0,544 U=5,717 Tv=0,388
C	Vidro Simples 8mm	g= 0,844 U= 5,666 Tv= 0,884	g=0,521 U=5,659 Tv=0,697	g=0,219 U=5,660 Tv=0,158	g=0,475 U=5,662 Tv=0,273	g=0,475 U=5,650 Tv=0,462	g=0,418 U=5,651 Tv=0,228	g=0,536 U=5,653 Tv=0,383
D	Vidro Laminado 4x4mm	g= 0,804 U= 5,609 Tv= 0,875	g=0,532 U=5,790 Tv=0,713	g=0,219 U=5,604 Tv=0,158	g=0,316 U=5,605 Tv=0,273	g=0,473 U=5,593 Tv=0,461	g=0,416 U=5,595 Tv=0,228	g=0,533 U=5,596 Tv=0,383
E	Vidro Laminado 6x6mm	g= 0,768 U= 5,486 Tv= 0,854	g=0,510 U=5,479 Tv=0,681	g=0,214 U=5,481 Tv=0,154	g=0,308 U=5,482 Tv=0,267	g=0,459 U=5,471 Tv=0,451	g=0,407 U=5,472 Tv=0,222	g=0,518 U=5,474 Tv=0,374
F	Vidro Laminado 8x8mm	g= 0,738 U= 5,369 Tv= 0,835	g=0,500 U=5,362 Tv=0,665	g=0,210 U=5,363 Tv=0,151	g=0,301 U=5,364 Tv=0,261	g=0,447 U=5,354 Tv=0,440	g=0,400 U=5,355 Tv=0,217	g=0,506 U=5,356 Tv=0,366
G	Vidro Laminado 8x4mm	g= 0,768 U= 5,486 Tv= 0,854	g=0,510 U=5,479 Tv=0,681	g=0,214 U=5,481 Tv=0,154	g=0,308 U=5,482 Tv=0,267	g=0,459 U=5,471 Tv=0,451	g=0,407 U=5,472 Tv=0,222	g=0,518 U=5,474 Tv=0,374
H	Vidro Laminado 8x6mm	g= 0,753 U= 5,427 Tv= 0,845	g=0,505 U=5,420 Tv=0,673	g=0,212 U=5,421 Tv=0,152	g=0,305 U=5,423 Tv=0,264	g=0,452 U=5,412 Tv=0,446	g=0,403 U=5,413 Tv=0,220	g=0,512 U=5,414 Tv=0,370
I	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (100%) de 16mm	g= 0,786 U= 2,729 Tv= 0,816	g=0,450 U=2,728 Tv=0,646	g=0,183 U=2,728 Tv=0,153	g=0,273 U=2,728 Tv=0,262	g=0,419 U=2,725 Tv=0,435	g=0,341 U=2,726 Tv=0,215	g=0,457 U=2,726 Tv=0,359

Tabela A.2 – Valores de g, U, Tvis para vidros com aplicação de películas pelo exterior (cont.)

J	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (100%) de 16mm	g= 0,758 U= 2,699 Tv= 0,802	g=0,440 U=2,698 Tv=0,633	g=0,178 U=2,698 Tv=0,150	g=0,265 U=2,698 Tv=0,256	g=0,406 U=2,696 Tv=0,426	g=0,332 U=2,696 Tv=0,210	g=0,444 U=2,696 Tv=0,251
L	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (100%) de 16mm	g= 0,734 U= 2,670 Tv= 0,787	g=0,432 U=2,669 Tv=0,620	g=0,174 U=2,669 Tv=0,146	g=0,258 U=2,669 Tv=0,251	g=0,394 U=2,666 Tv=0,417	g=0,324 U=2,667 Tv=0,206	g=0,432 U=2,667 Tv=0,344
M	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm	g= 0,786 U= 2,608 Tv= 0,816	g=0,447 U=2,607 Tv=0,646	g=0,181 U=2,607 Tv=0,153	g=0,271 U=2,607 Tv=0,262	g=0,417 U=2,604 Tv=0,435	g=0,337 U=2,605 Tv=0,215	g=0,454 U=2,605 Tv=0,359
N	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm	g= 0,759 U= 2,581 Tv= 0,802	g=0,438 U=2,579 Tv=0,633	g= 0,176 U=2,579 Tv=0,150	g=0,264 U=2,580 Tv=0,256	g=0,404 U=2,577 Tv=0,426	g=0,329 U=2,577 Tv=0,210	g=0,441 U=2,578 Tv=0,351
O	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm	g= 0,734 U= 2,554 Tv= 0,787	g=0,429 U=2,552 Tv=0,620	g=0,172 U=2,553 Tv=0,146	g=0,256 U=2,553 Tv=0,251	g=0,392 U=2,550 Tv=0,417	g=0,321 U=2,551 Tv=0,206	g=0,428 U=2,551 Tv=0,344
P	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165	g= 0,324 U= 1,216 Tv= 0,611	g=0,273 U=1,215 Tv=0,486	g=0,095 U=1,215 Tv=0,117	g=0,142 U=1,215 Tv=0,199	g=0,213 U=1,215 Tv=0,329	g=0,167 U=1,215 Tv=0,162	g=0,218 U=1,215 Tv=0,270
Q	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165	g= 0,324 U= 1,208 Tv= 0,600	g=0,270 U=1,208 Tv=0,478	g=0,094 U=1,208 Tv=0,114	g=0,141 U=1,208 Tv=0,195	g=0,212 U=1,207 Tv=0,323	g=0,166 U=1,207 Tv=0,159	g=0,217 U=1,207 Tv=0,266
R	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN165	g= 0,335 U= 1,201 Tv= 0,587	g=0,273 U=1,200 Tv=0,468	g=0,095 U=1,200 Tv=0,111	g=0,142 U=1,200 Tv=0,190	g=0,216 U=1,200 Tv=0,316	g=0,169 U=1,200 Tv=0,156	g=0,222 U=1,200 Tv=0,260
S	Vidro Duplo 4+4 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174	g= 0,399 U= 1,216 Tv=0,692	g=0,315 U=1,215 Tv=0,551	g=0,106 U=1,215 Tv=0,128	g=0,161 U=1,215 Tv=0,220	g=0,247 U=1,215 Tv=0,369	g=0,184 U=1,215 Tv=0,182	g=0,248 U=1,215 Tv=0,305
T	Vidro Duplo 6+6 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174	g= 0,396 U= 1,208 Tv= 0,680	g=0,311 U=1,208 Tv=0,542	g=0,105 U=1,208 Tv=0,125	g=0,159 U=1,208 Tv=0,216	g=0,244 U=1,207 Tv=0,362	g=0,183 U=1,207 Tv=0,178	g=0,246 U=1,207 Tv=0,299
U	Vidro Duplo 8+8 com câmara de ar (10%) e árgon (90%) de 16mm com Protecção Solar SKN174	g= 0,389 U= 1,201 Tv= 0,668	g=0,305 U=1,200 Tv=0,529	g=0,102 U=1,200 Tv=0,122	g=0,156 U=1,200 Tv=0,210	g=0,239 U=1,200 Tv=0,352	g=0,180 U=1,200 Tv=0,174	g=0,242 U=1,200 Tv=0,292

Anexo B – Metodologia para a Alteração dos Dados Climáticos em Formato EPW

O procedimento para a alteração do ficheiro climático em formato EPW segue os seguintes passos:

- No painel de controlo na ferramenta “Clock, Language, and Region” seleccionar a opção “Change the date, time or number format” (em Region and Language);
- Na janela “Region and Language” alterar o formato do “Short date” para: yyyy/M/d; o “Long date” para: dddd, d’ de ‘MMMM’ de ‘yyyy’;
- Na mesma janela carregar no botão “Additional settings...” na aba “Numbers” alterar as opções para:
 - Decimal symbol: “.”
 - No. of digits after decimal: “2”
 - Digit grouping symbol: “,”
 - Digit Grouping: “123,456,789”
 - Negative sign symbol: “-“
 - Negative number format: “-1.1”
 - Display leading zeros: “0.7”
 - List separator: “,”
- Na aba “Date” na opção “Date Formats” adoptar as seguintes opções:
 - Short date: yyyy/M/d
 - Long date: dddd, d’ de ‘MMMM’ de ‘yyyy’

Depois de definidos os passos anteriores pode-se proceder à alteração do ficheiro climático EPW através da seguinte lista de passos:

- Através do WeatherConvert presente na pasta PreProcess EnergyPlus, seleccionar como Input Weather Data File o ficheiro epw. Aparece por defeito na opção Select Output Format o formato EnergyPlus weather format (EPW);
- Seleccionando a opção “Save File As...” consegue-se atribuir um nome ao ficheiro que se pretende converter e carrega-se no botão “Open”;
- Finalmente selecciona-se no botão “Convert File” criando assim quatro novos ficheiros com os seguintes formatos: .stat, .ddy, .epw e .cvs;
- Abrir o excel e na ferramenta “Data” do programa seleccionar a opção “External Data from Text” e escolher o ficheiro .cvs criado no passo anterior;
- Uma nova janela com o nome “Text Import Wizard” irá aparecer e devem ser seguidos os seguintes passos: Seleccionar a opção “Delimited” seguida de “Next”, seleccionar a opção “Comma” seguida de “Next”, seleccionar na “Column data format” a opção “Text” para todas as colunas que

aparecem nessa janela (bastando para isso dar um clique em cada uma das dessas colunas) seguido de “Finish”;

- Fazer as alterações pretendidas no ficheiro climático não alterando a formatação do documento. É possível apagar linhas para reduzir o período de simulação ou substituir os dados climáticos por outros. Se forem apagadas colunas tem de se ter em atenção que poderão surgir mais virgulas quando se abrir posteriormente o documento num editor de texto;
- No programa Excel fazer um “save as” com um nome_diferente.csv;
- Abrir num editor de texto, como o programa WordPad, o ficheiro nome_diferente.csv e fazer “ctrl X” nas primeiras linhas do documento até aparecer a palavra “DATE” pela primeira vez;
- Selecionar a opção “Find and Replace” e localizar “,,,,,,,,,,,,,” (17virgulas), substituir por “” (nada) e carregar na opção “Replace all”;
- No início do documento fazer “ctrl V” repondo as linhas apagadas anteriormente;
- Guardar o novo documento fazendo apenas um “Save”;
- Abrindo novamente o WeatherConvert presente na pasta PreProcess EnergyPlus, seleccionar como Input Weather Data File o novo ficheiro nome_diferente.csv e seleccionar no “Data Type” a opção “EnergyPlus Comma Separated Variable (CSV) format”;
- No campo Select Output Format aparece por defeito o formato EnergyPlus weather format (EPW);
- Selecionar a opção “Save File As...” criando um ficheiro epw com as alterações pretendidas que pode ser usado para novas simulações no EnergyPlus.