



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Ponto ótimo de rentabilidade económica dos envidraçados aplicados em edifícios localizados em Portugal

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Ana Cristina da Costa Rebelo

Orientador

António Manuel Mendes Raimundo

Júri

Presidente Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo
Professor Associado com Agregação da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Francisco José C. Bispo Pocinho Lamas
Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Fevereiro 2016

À minha mãe.

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar a minha gratidão.

Antes de mais quero agradecer a todos os Professores do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra que me acompanharam no meu percurso académico e suscitaram em mim o interesse e fascínio pela Engenharia. Sinto-me lisonjeada por ter tido a oportunidade de aprender sob orientação destes Professores, que tão bem contribuíram para a minha formação enquanto profissional e enquanto pessoa.

Um agradecimento especial ao meu orientador, o Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo, pela prontidão e gentileza em partilhar o seu conhecimento. Acima de tudo, o meu profundo reconhecimento e gratidão pelo estímulo permanente, pelo apoio, aconselhamento e paciência demonstrados em todo este processo.

A todas as empresas fabricantes de caixilharia que prontamente se disponibilizaram para ajudar, contribuindo com a elaboração de orçamentos de janelas e informação técnica relativa à sua constituição e processo de fabrico. Sem a cooperação destas empresas este trabalho não teria sido possível.

Expresso também uma palavra de agradecimento à minha família, por todo o apoio, carinho e motivação. Um obrigada muito especial à pessoa mais importante da minha vida, a minha mãe, Maria Arminda Rebelo, a quem eu dedico todo o meu curso e esta tese.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para este trabalho e que aqui não se encontram mencionados, o meu sincero reconhecimento.

Resumo

A eficiência energética dos edifícios depende do comportamento dos seus utilizadores e do desempenho energético de cada uma das componentes que os caracterizam, nomeadamente da envolvente. Por sua vez, a eficiência energética desta depende muito dos seus elementos potencialmente mais problemáticos, os vãos envidraçados. Isto levou a que o principal componente dos envidraçados, as janelas, sejam cada vez mais eficazes em termos de performance térmica, mas também cada vez com maior custo de aquisição. É, então, legítimo questionar se o retorno conseguido em termos de poupança energética compensa o esforço económico adicional requerido para instalar janelas energeticamente mais eficazes.

Com este trabalho pretendeu-se caracterizar as janelas habitualmente instaladas no edificado português, quer em termos de qualidade energética quer de custo de aquisição, e avaliar a relação que existe entre estes dois parâmetros. Pretendeu-se ainda relacionar o custo de aquisição das janelas com a redução de gastos em energia que promovem, e assim identificar o seu ponto ótimo de rentabilidade económica.

Foi contactado um conjunto muito alargado de fabricantes de janelas, aos quais foi pedido orçamento para janelas com o tamanho mais frequentemente instalado e para qualidades energéticas desde muita má a excelente, dos quais 18 responderam. Procedeu-se depois a uma determinação das características energéticas das mesmas recorrendo aos *softwares* “Calumen II” e “Guardian Configurator”. Obteve-se assim uma caracterização das janelas em termos de preço de aquisição e de qualidade energética.

Para identificar o ponto ótimo de rentabilidade económica das janelas recorreu-se ao conceito de Custo Anual Equivalente (CAE) do edifício. Para o efeito utilizou-se o *software* *SEnergEd*, que faz a simulação do comportamento energético e do CAE de edifícios através de uma metodologia de cálculo baseada no modelo dinâmico horário monozona descrito na norma ISO 13790 (2006).

Foi identificada a classe energética das janelas com menor CAE para 4 tipologias de edifício e para as 3 condições climáticas características de Portugal. Dos resultados obtidos foi possível concluir que não existe qualquer relação da janela ótima com o fator de forma do edifício ou com o fator de área de envidraçados. O que determina a janela ótima a instalar é a tipologia de utilização do edifício.

Palavras-chave: Janelas, Vãos envidraçados, Eficiência Energética, Custo anual equivalente, Edifícios.

Abstract

The energy efficiency of buildings depends on the behaviour of its users and the energy performance of each one of the aspects which characterize them, namely the surrounding environment. On the other hand, the energy efficiency of this depends much on the solution used on the construction of their potentially more problematic elements, particularly glazing systems. This led to the fact that the main component of glazing, the windows, are gradually more effective, but have also an increasingly higher acquisition cost. It is, therefore, legitimate to question whether the return achieved in terms of energy saving offsets the additional economic effort required to install more energy efficient windows.

This work intends to characterize the windows usually installed in the Portuguese buildings, either in terms of energy quality or acquisition costs, and to evaluate the relationship between these two parameters. Its aim is also to relate the windows acquisition cost with the reduction of the energy costs they promote, and thus identify its optimal cost-effectiveness.

A very wide range of window manufacturers was contacted and asked to quote windows with the most commonly installed size and for energy qualities graded from very bad to excellent, to which 18 responded. Afterwards, their energy characteristics were determined using for this end the Calumen II and Guardian Configurator software. Hence, it was achieved a characterization of the windows in terms of acquisition cost and energy quality.

To identify the optimal cost-effectiveness of the windows, the concept of Equivalent Annual Cost (EAC) of the building was considered. For this purpose it was used the SEnegEd software which makes the simulation of the energy performance and the EAC of the buildings through a calculation method based on the hourly mono zone dynamic model described in ISO 13790 (2006).

The energy class of windows with lower EAC for 4 building typologies and for 3 typical climate conditions of Portugal was identified. From the results obtained, it was concluded that there is no relationship between the optimal window and the building form

factor or the glazed area factor. What determines the optimal window to be installed is the use of building typology.

Keywords Windows, Glazed Systems, Energy Efficiency, Equivalent Annual Cost, Buildings.

Índice

Índice de Figuras	vii
Índice de Tabelas	ix
Simbologia.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Estado da Arte.....	3
1.3. Objetivos.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1. Zonamento Climático	8
2.2. Soluções Construtivas – Características e Preços.....	9
2.3. Sistemas Energéticos	12
2.4. Edifícios em Estudo	12
2.4.1. Clínica privada.....	13
2.4.2. Escola secundária	18
2.4.3. Moradia isolada	19
2.4.4. Apartamento	24
2.5. Folha de Cálculo <i>SEnergEd</i>	28
2.5.1. Metodologia de cálculo	29
2.5.2. Custo anual equivalente.....	30
3. VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	33
3.1. Características Gerais e Preços das Janelas	34
3.2. Características Técnicas das Janelas	36
3.3. Eficiência Energética das Janelas	39
3.4. Características e Preço dos Vãos Envidraçados	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Clínica Privada.....	47
4.2. Escola Secundária	49
4.3. Moradia isolada.....	51
4.4. Apartamento.....	53
4.5. Análise Comparativa.....	55
5. CONCLUSÕES	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Localização no mapa de Portugal do Concelho de Odemira, Ansião e Mirandela [Google, 2016a].	9
Figura 2.2. Réguas de persiana, Modelo <i>Alugix</i> - 45 [Gimenezganga, 2015].	11
Figura 2.3. Clínica Privada: Implantação do edifício [Raimundo et al, 2011a].	13
Figura 2.4. Clínica Privada: Planta do Piso 0 [Raimundo et al, 2011a].	15
Figura 2.5. Clínica Privada: Planta do Piso 1 [Raimundo et al, 2011a].	16
Figura 2.6. Vista geral da Escola Secundária (Fachada principal orientada a Este) [Google, 2016b].	18
Figura 2.7. Divisão do edifício escolar em blocos [Claro, 2015].	19
Figura 2.8. Moradia: Implantação do edifício [Raimundo et al, 2011b].	20
Figura 2.9. Moradia: Planta do Piso -1 [Raimundo et al, 2011b].	21
Figura 2.10. Moradia: Planta do Piso 0 [Raimundo et al, 2011b].	21
Figura 2.11. Moradia: Planta do Piso 1 [Raimundo et al, 2011b].	22
Figura 2.12. Apartamento: Implantação do Edifício [Raimundo et al, 2011c].	25
Figura 2.13. Vista geral do prédio (Fachada principal orientada a Sul) [Raimundo et al, 2011c].	26
Figura 2.14. Planta do apartamento T3 do Piso 2 [Raimundo et al, 2011c].	26
Figura 2.15. Esquema de princípio do método 5R1C [Raimundo, 2008].	29
Figura 3.1. Constituição de um vão envidraçado.	33
Figura 3.2. Janela oscilo-batente [Google, 2016c].	35
Figura 3.3. Relatório de desempenho do vidro [<i>Guardian Configurator</i> , 2015].	37
Figura 3.4. Representação esquemática de uma janela.	38
Figura 3.5. Preço da eficiência energética da janela (<i>PEEJ</i>).	43
Figura 4.1. Clínica Privada: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética de janela.	48
Figura 4.2. Clínica Privada: <i>CAE</i> em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	49
Figura 4.3. Escola Secundária: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética das janelas.	50
Figura 4.4. Escola Secundária: <i>CAE</i> em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	51
Figura 4.5. Moradia isolada: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética das janelas.	52

Figura 4.6. Moradia: <i>CAE</i> em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	53
Figura 4.7. Apartamento: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética das janelas.	54
Figura 4.8. Apartamento: <i>CAE</i> em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Tipologia de vidros por orientação de fachadas – Portugal, 2010 [INE, I.P./DGEG, 2011].	5
Tabela 2.1. Massa superficial útil (M_{si}), coeficientes de transmissão térmica superficial (U) e preço de construção sem IVA ($Custo$) dos elementos construtivos opacos considerados.	10
Tabela 2.2. Clínica Privada: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).	17
Tabela 2.3. Escola Secundária: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).	20
Tabela 2.4. Moradia: perfil de ocupação para o edifício a funcionar a 100%.	24
Tabela 2.5. Moradia: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).	25
Tabela 2.6. Apartamento: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).	27
Tabela 3.1. Subclasses energéticas de janelas.	40
Tabela 3.2. Janela J5E009 e J1E010: resumo de características ($A_w = 1,43\text{m}^2$).	42
Tabela 3.3. Preço da eficiência energética da janela ($PEEJ$).	43
Tabela 3.4. Característica dos vãos envidraçados para cada subclasse energética ($A_w = 1,43\text{m}^2$).	45
Tabela 4.1. Clínica Privada: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	48
Tabela 4.2. Escola Secundária: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	50
Tabela 4.3. Moradia: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	52
Tabela 4.4. Apartamento: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.	54
Tabela 4.5. Fator de forma e Razão de área de envidraçados para cada edifício.	56
Tabela 4.6. Subclasse energética mais “económica” para cada edifício e para as várias localidades.	56

SIMBOLOGIA

A_f – Área do caixilho da janela [m²]

A_g – Área do vidro da janela [m²]

A_{opacos} – Área de opacos exteriores do edifício [m²]

A_{pav} – Área de pavimento dos espaços climatizados do edifício [m²]

$A_{vãos}$ – Área de vãos envidraçados exteriores do edifício [m²]

A_W – Área da janela [m²]

CAE – Custo anual equivalente [€/ano]

CF – *Cash-flow* [€/ano]

COP – “Coefficient of performance” da Bomba-de-calor em modo de aquecimento

EER – “Energy efficiency ratio” do *chiller* em modo de arrefecimento

FF – Fator de forma do edifício (= Área em contato com o exterior / Área de pavimento)

G – Gasto anual [€/ano]

g_{\perp} – Fator solar do vidro

H – Altura da janela [m]

i – Taxa de atualização para uma análise a preços constantes

$PEEJ$ – Preço da eficiência energética da janela [€/(W/K)]

P_{m2} – Preço do metro quadrado de janela (IVA não incluído) [€/m²]

L – Largura da janela [m]

l_g – Perímetro de vidro visível na janela [m]

M_{si} – Massa superficial útil [kg/m²]

n – Período de vida do investimento [anos]

R – Rendimento económico anual [€/ano]

R_s – Resistência térmica do espaço de ar criado entre duas janelas [m².K/W]

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [m².K/W]

R_{si} – Resistência térmica superficial interior [m².K/W]

R_p – Razão entre a área de vãos e de pavimento do edifício [--]

R_W – Resistência térmica da janela [m².K/W]

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial [W/m².K]

U_f – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [W/m².K]

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [W/m².K]

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela [W/m².K]

U_{wan} – Coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado [W/m².K]

VLA – Valor líquido atual [€]

VR – Valor residual [€]

ψ_g – Coeficiente de transmissão térmica linear da ligação entre vidro e caixilho [W/m.K]

1. INTRODUÇÃO

“ (...) a porta era óbvia. A janela é a primeira invenção da arquitetura.” [Távora, 1991]. Sendo este um elemento tão comum e tão habitual, o costume impede, por vezes, que se veja e valorize “a riqueza deste olho mágico do edifício” [Silva, 2008].

1.1. Enquadramento

Hoje em dia, a sustentabilidade ambiental e a eficiência energética são critérios que estão presentes no setor da construção. Ao longo dos últimos anos tem-se assistido a uma consciencialização para o tema da construção sustentável e racionalização dos consumos energéticos, quer por parte de projetistas e arquitetos, quer pela sociedade em geral.

Com a assinatura do Protocolo de Quioto, cada estado signatário comprometeu-se a tomar todas as medidas necessárias para reduzir a produção dos gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa que contribuem para o aquecimento global. Para cumprir os pressupostos consagrados neste Protocolo, a União Europeia, cujos edifícios são responsáveis pelo gasto de mais de 40% do total de energia, apontou como um dos seus principais objetivos melhorar a eficiência energética dos edifícios. Para o efeito impôs aos seus Estados-Membros exigências de proteção do ambiente nas suas políticas e ações [Diretiva 2002/91/CE].

O cumprimento das políticas de desempenho energético definidas na legislação nacional, no âmbito das diretivas europeias e dos planos nacionais, e a aspiração legítima da população por melhores condições de conforto térmico, constituem desafios constantes aos projetistas na conceção de edifícios, procurando encontrar soluções construtivas tecnologicamente adequadas e economicamente rentáveis.

A melhoria do desempenho energético global de um edifício novo ou existente pode iniciar-se com a adoção de medidas relativas aos pontos mais vulneráveis das fachadas: os vãos envidraçados. Os vãos envidraçados, muitas vezes, são um obstáculo quando se pretende minimizar as transferências térmicas pela envolvente exterior de um edifício, contudo, podem também ser parte da solução para criar edifícios com elevados padrões de

eficiência energética, sem colocar em causa as condições de bem-estar e conforto, ao reduzir as perdas de calor pela envolvente [Mendes, 2011].

No inverno, as perdas de calor pelos vãos envidraçados podem representar uma parcela significativa das perdas globais do edifício (entre 25 e 30%). Estas perdas podem ser compensadas com ganhos solares durante o dia, que dependem da disponibilidade de sol, da orientação dos vãos, do fator solar do vidro e da existência ou não de dispositivos de sombreamento, contudo, as perdas ainda serão significativas [Mendes, 2011]. De facto, os vãos envidraçados são os elementos da envolvente exterior onde ocorrem as maiores perdas de calor no inverno e os maiores ganhos solares no verão, sobretudo, quando são utilizadas janelas de má qualidade sob o ponto de vista térmico.

Como corolário da escolha e do comportamento dos vãos envidraçados, coloca-se hoje o conceito de nZEB (*near Zero Energy Building*), assente em princípios de conforto do espaço associados a poupança energética e de sustentabilidade dos edifícios. Aqui, para além da escolha adequada dos vãos envidraçados e dos meios apropriados de ventilação com recuperação de calor, outros atributos como a ausência de pontes térmicas e de permeabilidade descontrolada e a qualidade dos isolamentos devem ser considerados e conduzem a uma classificação certificada dos edifícios [Raimundo, 2012].

Um nZEB é um edifício com um consumo energético muito baixo e que, numa base anual, injeta na rede elétrica pública uma quantidade de energia muito próxima da que consome. A nova Diretiva Europeia EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), diretiva 2010/31/EU de 19 de maio, impõe aos estados membros que, a partir de 2018 todos os edifícios novos pertencentes a entidades públicas, e após 2020 todos os edifícios de serviços construídos, sejam nZEB, ou seja, edifícios com necessidades quase nulas de energia. Portugal já transpôs para a legislação nacional este compromisso através da publicação do Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto (2013).

Neste sentido, importa, portanto, sistematizar o tipo de vãos envidraçados utilizados em Portugal que poderão contribuir para a construção desses edifícios, motivo pelo qual surgiu o presente trabalho. Note-se que em Portugal não existem edifícios do tipo nZEB, tendo o estudo incidido nos edifícios mais comumente implantados mas, para os quais, se assumiram soluções construtivas opacas de muito boa qualidade térmica.

1.2. Estado da Arte

A engenhosidade do Homem permitiu-lhe desafiar os elementos naturais e a construção do seu abrigo constituiu, possivelmente, um dos seus esquemas mais elaborados de dominar os climas mais adversos. O Homem desde sempre tentou adaptar as construções ao clima, estudando a localização, a forma, a configuração e a envolvente dos edifícios de modo a tirar partido das condições naturais [Oliveira e Galhano, 1992]. Contudo, não é apenas no clima e sua variação que se encontram as explicações para a evolução arquitetónica dos edifícios. Segundo Oliveira e Galhano (1992), a habitação “produto de adaptação do Homem ao meio, ela reflete não só o meio geográfico natural, mas também o meio humano, histórico e cultural”.

Desde que construiu o seu primeiro abrigo, o Homem sentiu necessidade em trazer para o interior do seu refúgio a luz do dia. A porta não era suficiente para iluminar todos os recantos do espaço encerrado. Neste sentido, a janela, uma abertura mais reduzida, pontual e estrategicamente localizada, veio responder a necessidades básicas, como a iluminação e a ventilação. Porém, estas aberturas fragilizavam a parede do refúgio e para minimizar os efeitos do “buraco” o Homem foi associando à janela meios auxiliares de reforço, preenchimento e proteção da abertura, tais como tecidos, peles, tábuas, grelhas e materiais vítreos, entre outros [Silva, 2008].

Desde os primórdios que a janela sempre foi um objeto na composição da habitação destinada a conceder um conjunto de funções orientadas para a criação de condições de conforto e bem-estar das edificações: no essencial, uma abertura numa parede para permitir a entrada de luz, assegurar a ventilação do espaço, facilitar a comunicação com o exterior e disfrutar do ambiente, mantendo a segurança e a proteção dos utilizadores do edifício.

No interior da abertura sucedem-se os diversos elementos de preenchimento do vazio: O aro ou guarnição assume um papel de destaque, dado que, deve responder a diversas necessidades e assumir várias características físicas, tais como estanquidade, resistência mecânica e alguma flexibilidade de modo a adaptar-se aos movimentos e deformações que os materiais sofrem ao longo do tempo. É na guarnição que se vai prender o caixilho, quer seja fixo ou móvel. O caixilho é a moldura do vidro ou do material transparente que se

pretende colocar na janela. Com o desenvolvimento das capacidades técnicas e dos materiais disponíveis, a área de vidro foi aumentando. Em janelas mais arcaicas, o caixilho era constituído por vários “quadrinhos” de vidro, mas a janela evolui no sentido de aumentar a área de transparência, conduzindo a um caixilho que amarra uma folha inteiriça de vidro. As novas janelas oferecem ainda soluções alternativas: vidros inteligentes. Os novos sistemas reagem à intensidade da luz e adaptam-se automaticamente às condições exteriores, de modo a fornecer mais conforto. Cada vez mais, os vidros resolvem por si a questão da proteção solar. Estes são sensíveis e escurecem ou clareiam de forma automática. Existem já vidros climatizados e também associados a sistemas de persianas integradas [Silva, 2008].

Para além da panóplia de materiais disponíveis (madeira, ferro, alumínio e pvc) a janela oferece igualmente uma vasta gama de tipologias de abertura. Esta pode ser fixa ou móvel e, sendo móvel, pode abrir de diversos modos, girando sobre um eixo ou deslizando num plano.

Estando a abertura já reforçada e preenchida, recorre-se ainda a uma serie de elementos cuja finalidade é filtrar e proteger a janela em termos de intensidade solar, ruído, aspetos térmicos e privacidade: os dispositivos de oclusão. Estes meios permitem melhorar o comportamento térmico e reduzir a excessiva transparência da janela. Estes elementos auxiliares foram evoluindo no sentido de melhorar as condições dos espaços, interagindo com o vidro, que por si só não cumpria todos os requisitos de conforto exigidos pela vida moderna. Além de atuarem como sistemas de sombreamento contra a radiação solar, os dispositivos de oclusão podem ajudar a diminuir o coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados, melhorando o isolamento térmico global e por extensão, o conforto térmico no interior do edifício.

Ao longo dos anos, tem-se assistido a uma melhoria no desempenho térmico dos vãos envidraçados, resultado da aplicação de vidros múltiplos e películas de baixa emissividade e da melhoria da performance térmica das caixilharias.

Hoje em dia, as janelas são componentes fundamentais e incontornáveis do projeto arquitetónico. Têm de cumprir, em simultâneo, diversos requisitos que afetam o seu desempenho: transmitância luminosa; isolamento térmico e acústico; ventilação, durabilidade; facilidade de utilização; resistência mecânica e ao vento; estanquidade à água e permeabilidade ao ar; segurança contra intrusão; facilidade de manutenção e limpeza. Para cumprirem satisfatoriamente a sua função, e garantirem a qualidade global da solução final,

deve-se fazer uma seleção exigencial do envidraçado (janela + dispositivos de oclusão) procurando compatibilizar os múltiplos requisitos do projeto.

A Tabela 1.1, resultante de um inquérito relativo ao consumo de energia no setor doméstico [INE, I.P./DGEG, 2011], apresenta o tipo de janelas que mais se aplicam nas diferentes fachadas dos edifícios residenciais em Portugal. Verifica-se que mais de 70% deste tipo de edifícios incorporam janelas de vidro simples, sendo a utilização de caixilharia com corte térmico e vidro duplo, uma realidade ainda bastante reduzida.

Tabela 1.1. Tipologia de vidros por orientação de fachadas – Portugal, 2010 [INE, I.P./DGEG, 2011].

	Fachadas viradas a Sul			Fachadas viradas a Nascente			Fachadas viradas a Poente		
	N.º de alojamentos		Área média dos vidros	N.º de alojamentos		Área média dos vidros	N.º de alojamentos		Área média dos vidros
Tipo de Vidro	N.º	%	m²/aloj	N.º	%	m²/aloj	N.º	%	m²/aloj
Vidros simples	1 982 799	75,4	4,5	1 968 296	72,3	4,5	1 915 448	72,3	4,3
Vidros duplos sem corte térmico	495 894	18,9	6,3	620 719	22,8	6,5	604 934	22,8	6,0
Vidros duplos com corte térmico	184 583	7,0	7,2	164 313	6,0	5,5	160 542	6,1	5,3
Total	2 628 355	-	-	2 723 648	-	-	2 648 641	-	-

Uma envolvente termicamente mal concebida afeta as necessidades de aquecimento e arrefecimento, sendo inevitável o aumento do consumo energético para atingir as condições de conforto térmico desejadas. Portanto, é imprescindível conhecer os elementos que a compõem e qual a sua contribuição para o desempenho global dos edifícios.

1.3. Objetivos

Um envidraçado é uma solução construtiva da envolvente dos edifícios, sendo composto basicamente por uma ou mais janelas e proteções interiores e/ou exteriores (e/ou entre janelas e/ou entre vidros). Neste trabalho o enfoque é dado às janelas. Deste modo, no título desta dissertação não deveria aparecer “envidraçados” mas “janelas”, ficando “Ponto ótimo de rentabilidade económica das janelas aplicadas em edifícios localizados em Portugal”. Tal alteração não foi efetuada por questões de registo de tema de tese.

O objetivo deste estudo assenta na caracterização das janelas habitualmente instaladas no edificado português, quer em termos de qualidade energética quer de custo de aquisição, e avaliar a relação que existe entre estes dois parâmetros. Pretende-se ainda relacionar o custo de aquisição das janelas com a redução de gastos em energia que promovem, e assim identificar o seu ponto ótimo de rentabilidade económica.

Para o efeito será contactado um conjunto muito alargado de fabricantes de janelas, aos quais será pedido orçamento para janelas com o tamanho mais frequentemente instalado e para qualidades energéticas desde muita má a excelente. Procedeu-se depois a uma determinação das características energéticas das mesmas recorrendo aos *softwares* “Calumen II, versão 1.3.3” [Saint-Gobain, 2015] e “Guardian Configurator, versão 4.1.181” [Guardian Glass, 2015]. Obter-se-á assim uma caracterização das janelas em termos de preço de aquisição e em termos de qualidade energética.

Para identificar o ponto ótimo de rentabilidade económica das janelas recorrer-se-á ao conceito de conceito de Custo Anual Equivalente (CAE) do edifício. Este parâmetro representa o gasto anual médio de funcionamento do edifício, tendo em consideração quer os custos de construção quer os gastos com a energia consumida. O cálculo deste parâmetro será efetuado recorrendo ao *software SEnergEd* [Raimundo, 2008; Lopes, 2013], que faz a simulação do comportamento energético e determina o CAE de edifícios através de uma metodologia de cálculo baseada no modelo dinâmico horário monozona descrito na norma ISO 13790 (2006).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para servir como base ao estudo selecionaram-se 4 tipologias de edifício (uma clínica privada, uma escola secundária, uma moradia isolada e um apartamento), os quais foram simulados considerando os edifícios localizados em 3 localidades (Odemira, Ansião e Mirandela) que abrangem todas as condições climáticas de Portugal continental (suave, I1-V1; moderado, I2-V2; e intenso, I3-V3, respetivamente).

Para cada caso introduziu-se no programa *SEnergEd* [Raimundo, 2008; Lopes, 2013] a informação necessária para que o *software* possa realizar a simulação do comportamento energético e o cálculo do CAE do edifício: entre outros a seleção da localização e os dados da envolvente opaca (com os respetivos preços e características técnicas), dos envidraçados e os perfis de utilização e funcionamento, como por exemplo o perfil de ocupação ou de iluminação. Foi também requerido pelo programa a introdução das potências máximas dos equipamentos que asseguram a climatização, a ventilação e as águas quentes sanitárias (AQS), bem como os seus rendimentos / eficiências.

As janelas representam o elemento principal desta análise. Toda a informação relativa à constituição, tipologia e preço das janelas utilizadas neste estudo, foi obtida recorrendo a pedidos de orçamento, solicitados a nível nacional a empresas fabricantes de janelas. Tendo-se obtido, após tratamento de dados e cálculo das características técnicas, diferentes subclasses energéticas de janelas, que se traduziram, através dos dispositivos de oclusão utilizados, em diferentes subclasses energéticas de vãos envidraçados. Assunto a analisar no Capítulo 3.

Recorrendo ao programa *SEnergEd* simulou-se cada um dos edifícios em três localidades distintas, sendo que, em cada uma delas, foram testados os vãos envidraçados pertencentes a cada subclasse energética. De realçar que, para a mesma localidade, de simulação em simulação, apenas se alteraram, no programa *SEnergEd*, os dados relativos aos vãos envidraçados, mantendo constantes todos os restantes parâmetros inicialmente introduzidos.

Para cada cenário, ou seja, em cada simulação, o programa forneceu o valor do custo anual equivalente (CAE) do edifício. O valor mínimo do CAE é conhecido como “custo ótimo” ou “ponto ótimo de rentabilidade económica” e é determinado tendo em consideração as soluções construtivas, os equipamentos, os sistemas de iluminação e os sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis. Conforme se poderá verificar no Capítulo 4, através da análise do comportamento gráfico dos vários CAE, identificou-se as características técnicas das janelas utilizadas que mais contribuem para o “ponto ótimo de rentabilidade económica” de cada edifício.

Dado que o único parâmetro que se pretende que seja variável nos vários edifícios são os vãos envidraçados, optou-se por considerar em todos os edifícios as mesmas soluções construtivas e as mesmas eficiências dos sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) e de preparação de AQS (águas quentes sanitárias). Assim, a única variável que distingue cada edifício corresponde ao seu perfil de ocupação e utilização, tornado a comparação pretendida mais coerente.

Note-se que, todos os preços utilizados neste estudo e que se apresentam neste documento não se encontram acrescidos do valor do IVA.

2.1. Zonamento Climático

Uma vez que todo e qualquer processo de avaliação energética se inicia com a definição da zona na qual o edifício em questão está localizado, é necessário evidenciar, primeiramente, as diferenças entre os zonamentos de Portugal continental. O RCCTE (2006) adota a prática da divisão do país em 3 zonas tanto para a estação de aquecimento ou Inverno (I1, I2 e I3), como para a estação de arrefecimento ou Verão (V1, V2 e V3). Este tipo de classificação visa distinguir o tipo de clima em cada Concelho, sendo que I1 ou V1 indica um clima mais ameno, enquanto que I3 ou V3 indica um clima mais agreste e rigoroso. De modo a conseguir-se obter resultados mais realistas e verificar qual o comportamento dos edifícios em diferentes contextos, optou-se por simulá-los em mais do que uma localidade. Para o efeito escolheram-se três conjuntos de zonas climáticas: I1-V1, I2-V2 e I3-V3. Por forma a abranger diferentes regiões do país, os casos de estudo são: Odemira (I1-V1), Ansião (I2-V2) e Mirandela (I3-V3). A sua localização geográfica encontra-se assinalada na Figura 2.1.



Figura 2.1. Localização no mapa de Portugal do Concelho de Odemira, Ansião e Mirandela [Google, 2016a].

2.2. Soluções Construtivas – Características e Preços

As massas superficiais úteis (M_{si}) e os coeficientes de transmissão térmica superficial (U) das soluções assumidas para a construção dos edifícios simulados foram calculadas seguindo as regras impostas no Anexo VII do RCCTE (2006). As propriedades térmicas dos materiais foram obtidas a partir da publicação do LNEC “ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios” [Santos, 2006].

Para determinar os preços das diferentes soluções construtivas recorreu-se à ferramenta *online* “Gerador de Preços do *CYPE*” [Gerador de Preços, 2016]. Trata-se de uma ferramenta informática que permite, de uma forma rápida e expedita, obter preços para a construção com previsões de custos ajustados ao mercado. No caso específico da envolvente opaca, este programa gera preços de construção por metro quadrado de panos construtivos. Somando o preço dos vários panos que constituem a solução construtiva consegue-se calcular o preço, por metro quadrado, da solução completa.

Na Tabela 2.1. encontra-se a compilação das características e dos custos dos elementos construtivos opacos assumidas para todos os edifícios considerados.

Considerou-se como dispositivo de proteção solar exterior dos vãos envidraçados persianas enroláveis de réguas horizontais, sendo esta uma solução usada com bastante frequência em Portugal.

Tabela 2.1. Massa superficial útil (M_{si}), coeficientes de transmissão térmica superficial (U) e preço de construção sem IVA ($Custo$) dos elementos construtivos opacos considerados.

Envolvente opaca exterior	Orientação	M_{si} [kg/m ²]	U [W/m ² .K]	$Custo$ [€/m ²]
Parede exterior dupla	NW, N, NE, E	134,00	0,48	99,00
Pilar ou Viga	NW, N, NE, E	119,00	0,62	613,00
Caixa de estore	NW, N, NE, E	38,00	0,56	102,00
Parede exterior ventilada	SE, S, SW, W	150,00	0,52	194,00
Pilar ou Viga ventilada	SE, S, SW, W	150,00	0,67	740,00
Caixa de estore ventilada	SE, S, SW, W	10,00	0,80	198,00
Porta exterior blindada	Vertical	29,00	2,38	832,00
Pavimento sobre o exterior	Horizontal	150,00	0,47	216,00
Cobertura plana sob o exterior	Horizontal	150,00	0,52	286,00
Cobertura inclinada sob o exterior	Horizontal	150,00	0,64	227,00

Envolvente opaca interior	Orientação	M_{si} [kg/m ²]	U [W/m ² .K]	$Custo$ [€/m ²]
Paredes com outros espaços interiores	Vertical	134.00	0.40	79.00
Pilares e Vigas com espaços interiores	Vertical	150.00	0.49	648.00
Porta blindada corredor interior	Vertical	22.00	1.89	832.00
Envidraçados para outros espaços interiores	Vertical	10.00	2.82	118.00
Pavimento sobre espaço interior	Horizontal	110.00	0.37	292.00
Cobertura plana sob o interior	Horizontal	150.00	0.46	292.00

Elementos de compartimentação interior	Orientação	M_{si} [kg/m ²]	U [W/m ² .K]	$Custo$ [€/m ²]
Parede fina (1 camada de tijolo 11)	Vertical	172.00		60.00
Parede grossa (tijolo 11+isolamento+pladur)	Vertical	242.00		76.00
Pilares e Vigas (sem isolamento)	Vertical	300.00		512.00
Porta revestida a MDF ou a melamina	Vertical	18.00		282.00
Pavimento de compartimentação	Horizontal	250.00		292.00
Cobertura de compartimentação	Horizontal	250.00		292.00

Elementos em contato com o solo	Orientação	M_{si} [kg/m ²]	U [W/m ² .K]	$Custo$ [€/m ²]
Parede com terreno (com isolamento)	Vertical	150.00	0.52	194.00
Pilares e Vigas (com isolamento)	Vertical	150.00	0.67	740.00
Pavimento sobre o solo (com isolamento)	Horizontal	150.00	0.80	85.00

As persianas consideradas formadas por réguas de 45 mm de altura, em alumínio perfilado com isolamento pelo interior, calhas em alumínio e apresentam sistema de manuseamento elétrico. Pode verificar-se o pormenor das réguas na Figura 2.2.

É importante referir que a escolha deste tipo de dispositivo de oclusão exterior pode não ser a que mais se adequa aos vários edifícios considerados. Contudo, utilizando em todos eles o mesmo dispositivo de oclusão, com as mesmas características, facilita a comparação de resultados, de edifício para edifício, na fase de análise.



Figura 2.2. Réguas de persiana, Modelo *Alugix* - 45 [Gimenezganga, 2015].

De modo a obter o preço destes dispositivos procedeu-se à solicitação de orçamento a empresas instaladoras de proteções de envidraçados, tendo como base a área de cada vão envidraçado pertencente à Moradia (edifício a descrever ainda neste capítulo). Só uma empresa respondeu, tendo orçamentado em 2 365,00 € o valor das persianas exteriores, com aplicação incluída (com IVA a acrescentar à taxa legalmente aplicável).

No programa de simulação *SEnergEd* a introdução de dados nos campos correspondentes aos preços das várias soluções, processa-se em euros por metro quadrado de solução. Então, dado que a área total de vãos para a qual se obteve orçamento é de 40,28 m², o valor a considerar para o preço das persianas é de 58,71 €/m².

De realçar que, na impossibilidade de se ter solicitado orçamento de persianas para todos os vãos envidraçados dos vários edifícios em análise, considerou-se 58,71 €/m² como o valor a usar para todos eles.

2.3. Sistemas Energéticos

A climatização (aquecimento / arrefecimento) dos edifícios é assegurada através de um sistema *chiller* / bomba-de-calor por ciclo de compressão, com uma eficiência em modo de aquecimento de $COP = 3,0$ e uma eficiência em modo de arrefecimento se $EER = 2,7$. Note-se que a atribuição de uma eficiência reduzida neste sistema se encara como um incentivo ao uso de vãos envidraçados de classe energética maior. Estabeleceu-se como *set-points* para a temperatura do ar interior um valor mínimo de 21°C e um valor máximo de 24°C, com os sistemas de AVAC ligados sempre que haja ocupação do edifício.

Relativamente à preparação de águas quentes sanitárias (AQS) esta será assegurada através de um sistema de coletores solares (a definir em cada edifício), o qual será apoiado por uma caldeira a gás natural com 90% de rendimento.

O sistema de ventilação é forçado, sendo assegurado por UTAs e/ou ventiladores com rendimento de 70%. Não ocorre recuperação de calor do ar de rejeição.

De realçar que em nenhum dos edifícios se considerou a existência de *freecooling*, uma vez que, sendo este um processo que não se consegue controlar quando ocorre, poderia baralhar as comparações.

No que diz respeito aos gastos com o consumo de energia, estipulou-se que o preço de compra da eletricidade é de 0,18 €/kWh e que o preço de compra do gás natural é de 0,12 €/kWh. Para situações em que se recorre às duas fontes de energia, como é o caso das cozinhas, fez-se uma média ponderada entre o consumo de eletricidade e o consumo de gás, o que no caso de 50% / 50% se traduz em 0,15 €/kWh. Apesar de serem ligeiramente superiores aos atualmente praticados, estes preços são realistas se for levado em consideração que a evolução dos preços da energia (nomeadamente da elétrica) é sempre mais rápida do que a taxa de inflação.

2.4. Edifícios em Estudo

Para servir de base ao estudo selecionaram-se dois edifícios de serviços (uma clínica privada e uma escola secundária) e dois edifícios do tipo residencial (uma moradia isolada e um apartamento). O presente subcapítulo destina-se assim à descrição dos quatro edifícios utilizados nas simulações.

2.4.1. Clínica privada

A análise incide numa fração autónoma de serviços destinada a clínica privada com internamento. Esta clínica pertence a um pequeno edifício de serviços composto por uma outra fração autónoma destinada a farmácia. A implantação do edifício apresenta-se na Figura 2.3. Cada uma das frações autónomas encontra-se dotada de um sistema de climatização independente.

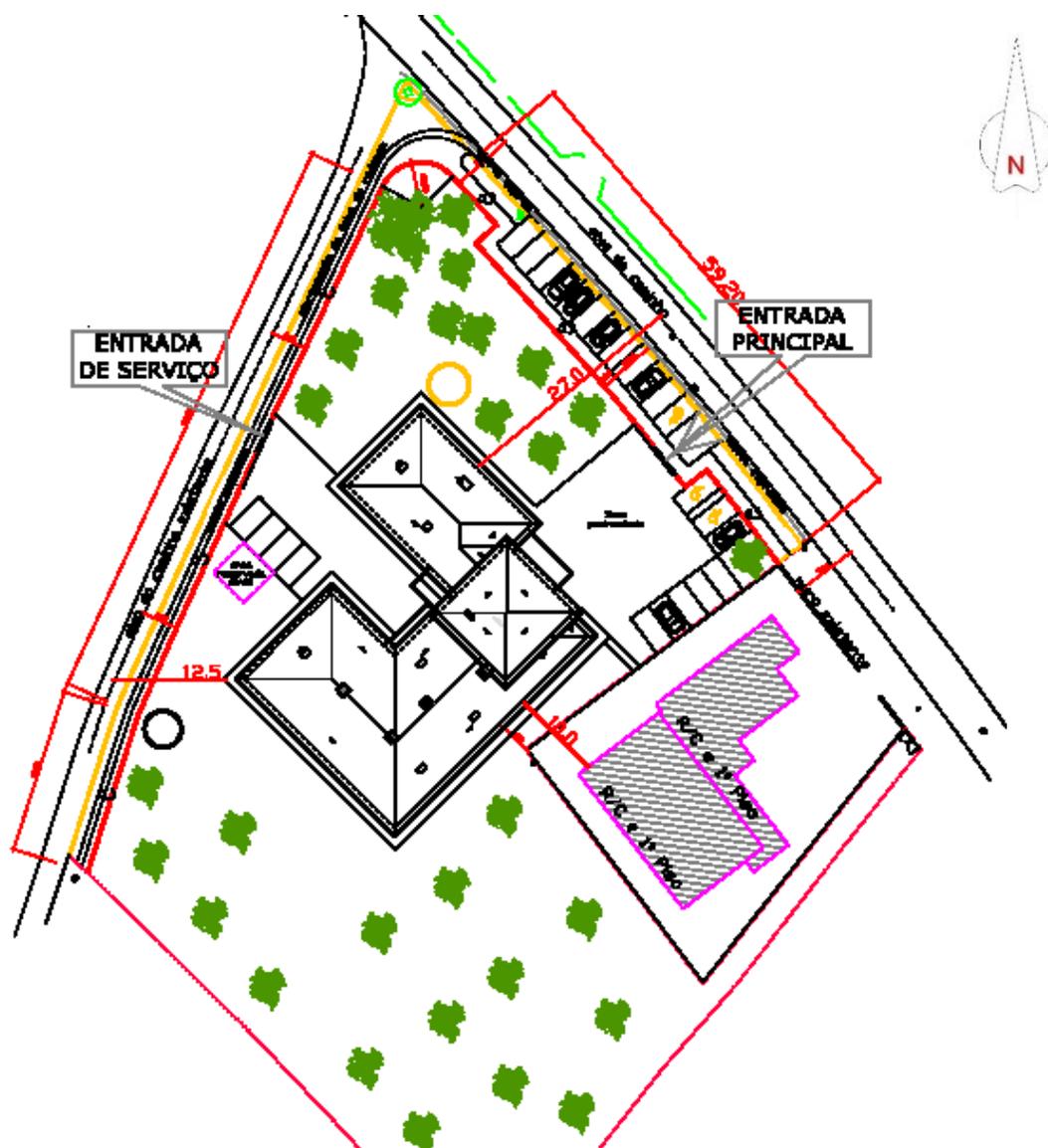


Figura 2.3. Clínica Privada: Implantação do edifício [Raimundo et al, 2011a].

Trata-se de um edifício constituído por dois pisos, Piso 0 e Piso 1. A farmácia encontra-se na “ponta” Nordeste/Sudeste do Piso 0. A clínica, que representa a fração autónoma em estudo, ocupa a quase totalidade do edifício estendendo-se pelos dois pisos com várias entradas a partir do exterior, sendo a principal localizada na fachada Nordeste do Piso 0.

De acordo com a planta de arquitetura apresentada na Figura 2.4, verifica-se que o Piso 0 tem a forma de um C e que se divide essencialmente em três alas. Na ala Nordeste encontram-se os espaços relacionados com a receção, a lavandaria, a cozinha, a sala de jantar e uma sala comum. A ala voltada a Sudeste abrange salas de tratamento e observações, um gabinete médico, um posto de enfermagem, o ginásio de fisioterapia, salas de terapia e desinfecção, armazéns e a sala técnica. Por fim, a ala Sudeste destina-se principalmente ao internamento de utentes, sendo este espaço maioritariamente ocupado por oito quartos equipados com instalações sanitárias.

Conforme se pode observar na Figura 2.5, a área do Piso 0 é muito superior à do Piso 1. O Piso 1 tem forma quadrangular e ocupa apenas parte do canto Nordeste/Sudeste do edifício. Este piso é ocupado pelos espaços relacionados com a direção e serviços administrativos da clínica, sendo composto essencialmente por gabinetes e sala de reuniões. O acesso ao Piso 1 faz-se através de uma escada interior que liga o átrio de entrada do Piso 0 ao átrio do Piso 1.

A cobertura do edifício, em toda a sua extensão, é inclinada sob desvão não habitado fortemente ventilado. Nas alas Sudeste e Sudoeste do Piso 0 existem quatro claraboias para iluminação natural das circulações internas.

Todas as fachadas da clínica que contatam diretamente com o exterior estão pintadas de cores claras e possuem 49 vãos envidraçados, o que totaliza uma área de 192,76 m². Esta fração autónoma apresenta ainda 926.70 m² de área útil de pavimento e 3,73 m de pé-direito médio. Podem encontrar-se mais pormenores sobre o edifício em Raimundo *et al.* (2011a).

O edifício encontra-se dotado de um sistema de painéis solares térmicos com 20 m² de superfície de captação solar, o que corresponde a 10 coletores. Estes serão instalados sobre a cobertura do Piso 0, orientados a Sudoeste e inclinados a 35°.

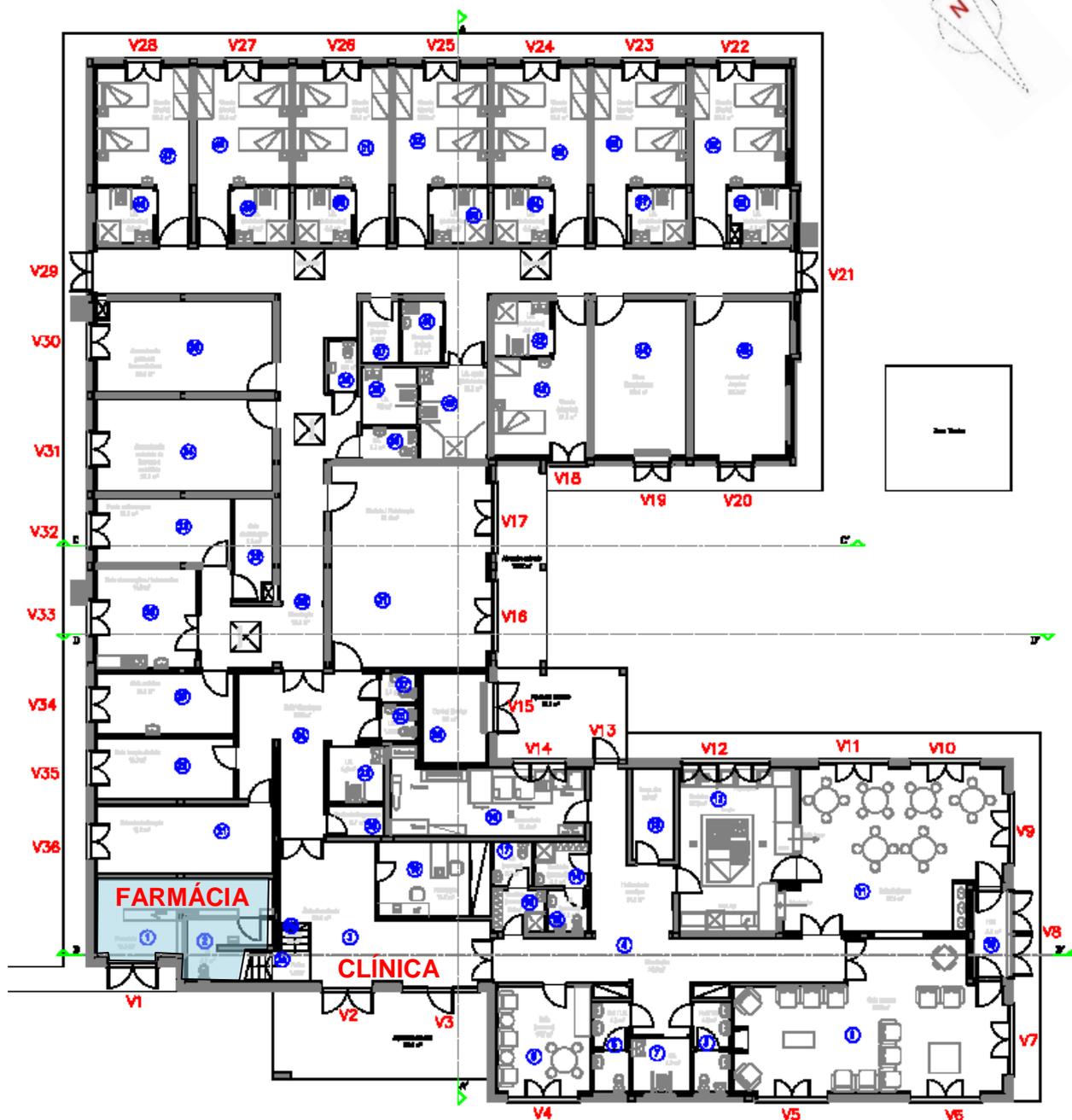


Figura 2.4. Clínica Privada: Planta do Piso 0 [Raimundo et al, 2011a].

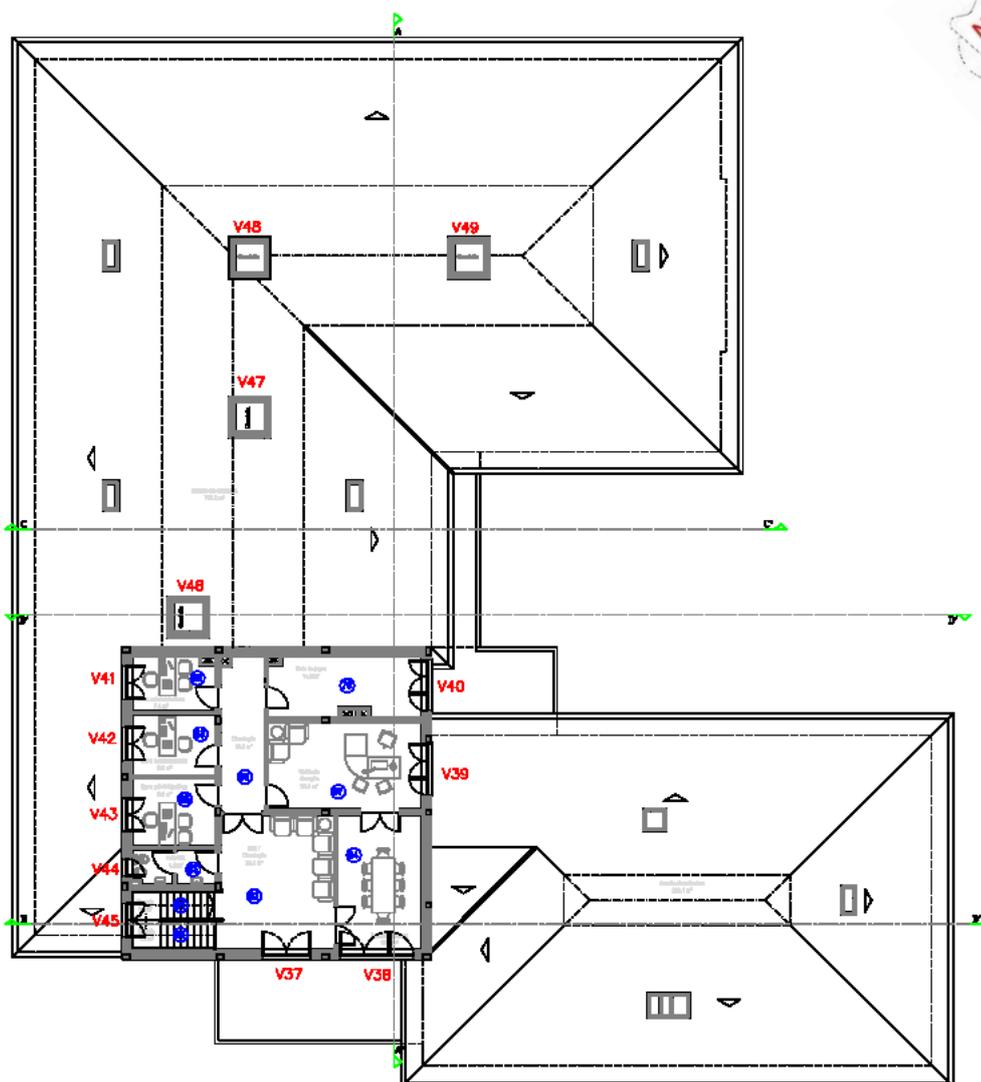


Figura 2.5. Clínica Privada: Planta do Piso 1 [Raimundo et al, 2011a].

Sendo este um estabelecimento de saúde com internamento, considerou-se que o seu funcionamento decorre durante todo o ano, 24 horas por dia. Apresentando um perfil de ocupação a 100% entre as 8 e as 17h, encontrando-se a 50% nas restantes horas do dia. Estima-se que a capacidade máxima da clínica é de 152 ocupantes. A diferença entre ocupações prende-se com a existência de consultas externas, as quais ocorrem apenas durante o período diurno.

Na sequência da descrição do edifício, apresenta-se na Tabela 2.2. uma compilação de custos relativos ao investimento inicial necessário para a sua edificação, bem como os rendimentos e gastos a considerar ao longo da sua vida útil. O preço das soluções construtivas referentes aos espaços úteis obteve-se recorrendo à ferramenta Gerador de

Preços. De modo a contabilizar também o custo relativo à construção dos espaços não climatizados atribuiu-se um valor médio por área de pavimento de 800 €/m² no caso de espaços do tipo lavandaria, cozinha ou armazém de produtos farmacêuticos, de 450 €/m² para espaços do tipo garagem e armazém e de 100 €/m² para espaços exteriores. Estes custos encontram-se no separador relativo a outros encargos.

Estipulou-se um rendimento líquido de rendas de 8 400,00 €/ano, o qual corresponde ao aluguer da fração autónoma destinada a farmácia. Note-se que o investimento inicial descrito na Tabela 2.2 não inclui o custo relativo às janelas dos vãos envidraçados, sendo contabilizando apenas o custo dos dispositivos de proteção exterior. É importante referir também que os restantes valores apresentados são apenas indicativos. Este facto não se traduz num problema, dado que estes valores se mantêm constantes nas várias simulações sendo apenas alterada a informação respeitante às janelas.

Tabela 2.2. Clínica Privada: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).

Investimento inicial	2 510 460,73 €
Soluções construtivas:	779 180,73 €
Terreno e infraestruturas:	500 000,00 €
Sistemas de iluminação:	200 000,00 €
Sistemas de AVAC:	300 000,00 €
Sistemas de água e esgotos:	100 000,00 €
Sistemas para preparação de AQS:	80 000,00 €
Sistemas de energia renovável: (fotovoltaicos, eólicos, biomassa, etc.)	42 000,00 €
Acabamentos e pinturas:	160 000,00 €
Outros encargos (licenças, etc.):	50 000,00 €
Outros encargos:	299 280,00 €

Vida útil do edifício	(Análise a preços constantes)
Período de vida útil do edifício:	50 anos
Taxa média de inflação neste período:	3,00 %/ano
Rendimentos líquidos de energia vendida:	0,00 €/ano
Rendimentos líquidos de rendas:	8 400,00 €/ano
Outros rendimentos líquidos:	0,00 €/ano
Gastos em conservação e manutenção:	20 000,00 €/ano
Gastos em impostos (IMI, etc.):	10 000,00 €/ano

2.4.2. Escola secundária

Foi tido como problema de estudo um edifício do setor terciário já existente, a Escola Secundária de Avelar Brotero (ESAB) localizada na cidade de Coimbra. A sua vista geral encontra-se ilustrada na Figura 2.6. Esta edificação foi objeto de análise por Claro (2015) no âmbito da sua tese de MiEM (Mestrado integrado em Engenharia Mecânica).



Figura 2.6. Vista geral da Escola Secundária (Fachada principal orientada a Este) [Google, 2016b].

A escola secundária funciona num edifício que se encontra dividido em blocos, conforme se verifica na Figura 2.7. Nos corpos A e B funcionam as salas de aula, em C encontra-se a biblioteca, o salão polivalente, a sala de diretores de turma e a cozinha, no corpo D existe a sala de professores e balneários, finalmente o corpo E corresponde a um espaço exterior coberto (pavilhão desportivo). De realçar que os blocos A e B são constituídos por 3 pisos, o bloco C por 4 e o bloco D por 1 piso.

Esta escola tem uma população estudantil de aproximadamente 1 100 alunos, funcionando de segunda a sexta-feira entre as 8 e as 18h:30min. Tem ainda um período de funcionamento noturno, entre as 19 e as 23h.

O edifício apresenta um pé-direito médio de 3 m e uma área útil de pavimento de 11 246 m². Desta área útil 7 669 m² correspondem às salas de aula, 3 171 m² referem-se a corredores e finalmente 406 m² encontram-se ocupados pelos balneários. Todas fachadas exteriores do edifício são pintadas de cor clara e apresentam 1 785,18 m² de vãos envidraçados.

A preparação de águas quentes sanitárias desta escola é assegurada por um sistema de painéis solares térmicos constituído por 20 coletores solares. Cada painel solar térmico tem uma área útil de captação (área de absorção) de 2,2 m² e um rendimento de 82 %. Estes painéis encontram-se aplicados voltados a Sul e com uma inclinação de 40°.

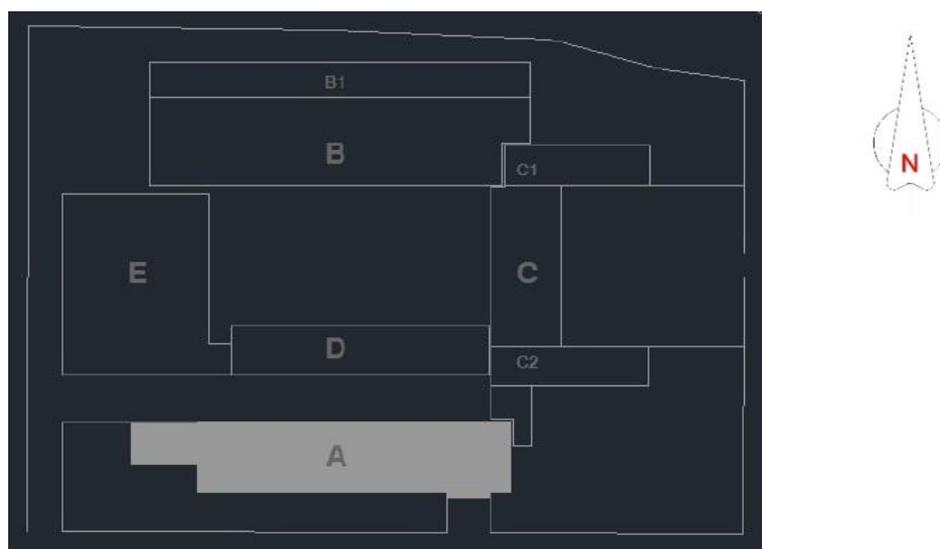


Figura 2.7. Divisão do edifício escolar em blocos [Claro, 2015].

À semelhança da clínica, também aqui se apresentam os custos relativos ao investimento inicial necessário para a edificação da escola, bem como os rendimentos e gastos a considerar ao longo da sua vida útil. Esta informação encontra-se descrita na Tabela 2.3. De realçar que a escola não paga IMI (Imposto Municipal sobre Imóveis), motivo pelo qual se considerou nulo o valor desses impostos.

2.4.3. Moradia isolada

O edifício em análise é uma moradia unifamiliar isolada, com três pisos e tipologia T3, que se encontra implantado num terreno com a área de 1 200 m², conforme se verifica na Figura 2.8. A moradia divide-se em duas alas: a ala da zona a reconstruir (zona existente) e a ala da zona a construir de novo. Dado que a envolvente do edifício existente e as suas instalações sofreram uma grande remodelação, a moradia foi considerada como um edifício novo no âmbito do RCCTE (2006). Apresenta-se na Figura 2.9, Figura 2.10 e Figura 2.11, a planta do Piso -1 (Cave), Piso 0 e Piso 1 (Sótão), respetivamente.

A ala da zona a reconstruir possui espaços interiores nos três pisos, dos quais o piso inferior (Cave) se destina a arrumos e serviços e o piso superior (Sótão) constitui o aproveitamento da parte mais alta do desvão da cobertura. Nesta ala estão integrados dois espaços (as instalações sanitárias e o vestíbulo das traseiras) que constituem uma zona construída de novo.

Tabela 2.3. Escola Secundária: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).

Investimento inicial	7 300 395,44 €
Soluções construtivas:	5 525 126,44 €
Terreno e infraestruturas:	500 000,00 €
Sistemas de iluminação:	200 000,00 €
Sistemas de AVAC:	300 000,00 €
Sistemas de água e esgotos:	100 000,00 €
Sistemas para preparação de AQS:	80 000,00 €
Sistemas de energia renovável: (fotovoltaicos, eólicos, biomassa, etc.)	42 000,00 €
Acabamentos e pinturas:	160 000,00 €
Outros encargos (licenças, etc.):	50 000,00 €
Outros encargos:	343 269,00 €

Vida útil do edifício	(Análise a preços constantes)
Período de vida útil do edifício:	50 anos
Taxa média de inflação neste período:	3,00 %/ano
Rendimentos líquidos de energia vendida:	0,00 €/ano
Rendimentos líquidos de rendas:	0,00 €/ano
Outros rendimentos líquidos:	0,00 €/ano
Gastos em conservação e manutenção:	20 000,00 €/ano
Gastos em impostos (IMI, etc.):	0,00 €/ano

**Figura 2.8.** Moradia: Implantação do edifício [Raimundo et al, 2011b].

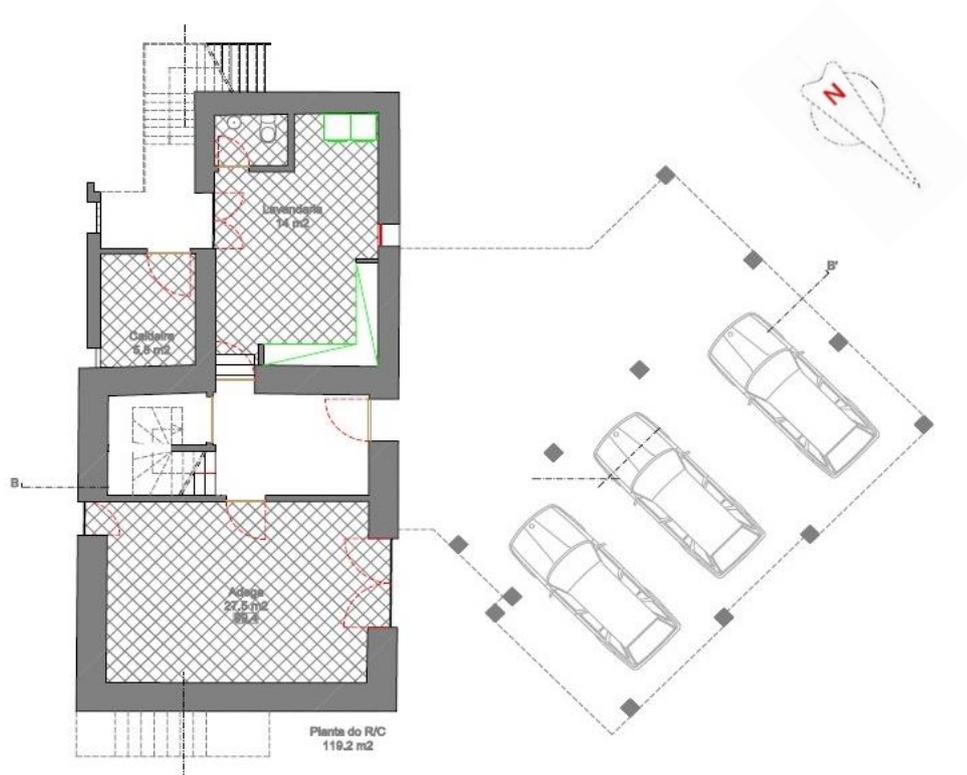


Figura 2.9. Moradia: Planta do Piso -1 [Raimundo et al, 2011b].

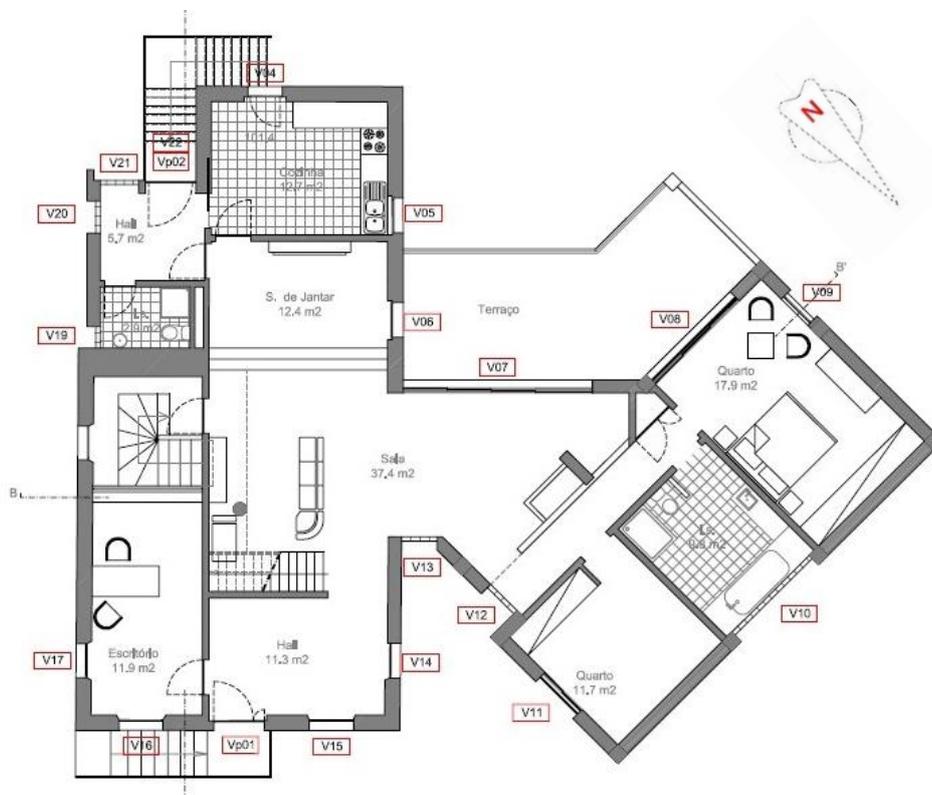


Figura 2.10. Moradia: Planta do Piso 0 [Raimundo et al, 2011b].

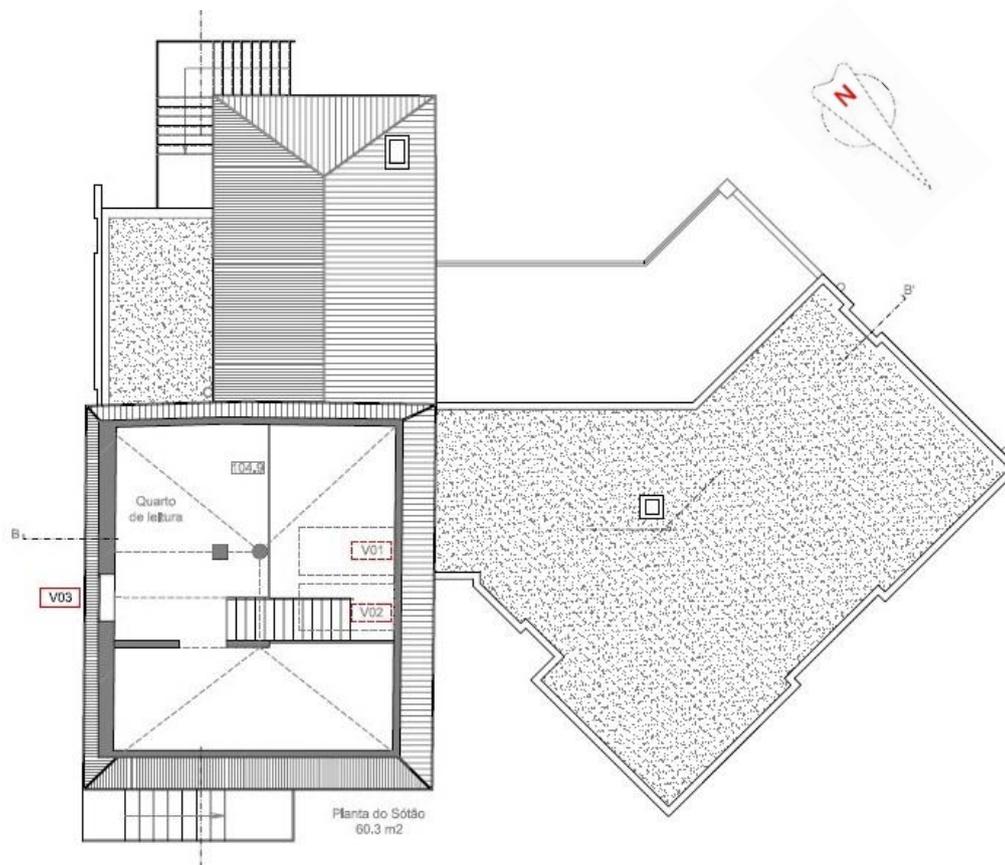


Figura 2.11. Moradia: Planta do Piso 1 [Raimundo et al, 2011b].

Relativamente à ala nova (ampliação), esta encontra-se apenas ao nível do piso intermédio do edifício, visto que, a parte inferior se destina ao estacionamento de automóveis, ficando totalmente aberta, e a parte superior constitui um terraço não acessível.

O Piso -1 é preenchido com espaços destinados a lavandaria, adega, arrumos e zona técnica, todos eles considerados como “não úteis” à luz do RCCTE (2006). O pavimento deste piso encontra-se ligeiramente abaixo da cota exterior em somente duas fachadas do edifício.

O Piso 0 constitui o espaço com maior perfil de ocupação. Nele encontram-se a cozinha, as salas, um escritório e dois quartos, bem como duas instalações sanitárias e dois vestíbulos. Neste piso situam-se as duas portas de entrada da moradia, estando a entrada principal voltada para Nordeste (lado da estrada).

No Piso 1 está o terceiro quarto, designado por quarto de leitura.

Os espaços climatizados situam-se ao nível do piso intermédio, integrando todas as divisões deste piso (com exceção da caixa de escada de acesso ao piso inferior), e no Piso

1, onde integram a única divisão aí existente. Assim, a área útil correspondente do edifício é de 167,13 m² e o valor médio ponderado do pé-direito para todo o espaço útil é de 2.62 m. De salientar que uma parte da sala de estar tem pé-direito duplo, ocupando o Piso 0 e o Piso 1 em simultâneo. Toda esta zona usufrui de iluminação natural proporcionada por duas claraboias que se encontram na cobertura do Piso 1 (vãos V1 e V2 da Figura 2.11).

A habitação é pintada pelo exterior com cores claras. Esta possui, na totalidade, uma área de 49,68 m² de vãos envidraçados exteriores, e uma área de 1,75 m² de vãos envidraçados interiores, à qual corresponde uma divisória localizada na parte superior da parede que separa o escritório da caixa de escada que liga o Piso 0 ao Piso -1.

Este edifício residencial tem ainda um sistema de coletores solares térmicos com dois módulos (4,0 m²), instalados com Azimute Sul e inclinação de 42°. Mais detalhes sobre esta moradia podem ser consultados em Raimundo *et al.* (2011b).

Sendo esta uma moradia unifamiliar de tipologia T3, ou seja, com quatro ocupantes, considerou-se que o seu perfil de funcionamento se encontra a 100% ao longo de todo o ano, com exceção do mês de agosto, período durante o qual normalmente ocorrem as férias familiares, tendo-se atribuído um funcionamento de 50%. A Tabela 2.4. descreve a utilização semanal deste edifício.

Na Tabela 2.5 apresenta-se uma compilação dos dados relativos ao investimento inicial na moradia. Mais uma vez se recorda que o valor correspondente às soluções construtivas diz respeito somente aos espaços úteis. No separador “outros encargos” encontra-se o custo de construção dos espaços ditos “não úteis” tomando como referência o valor médio de 450 €/m². É importante também lembrar que no valor de investimento inicial não se encontram contabilizados os custos respeitantes às janelas, mas apenas os custos dos seus dispositivos de oclusão.

Tabela 2.4. Moradia: perfil de ocupação para o edifício a funcionar a 100%.

2ª a 6ª Feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	100	0 - 1	100	0 - 1	100
1 - 2	100	1 - 2	100	1 - 2	100
2 - 3	100	2 - 3	100	2 - 3	100
3 - 4	100	3 - 4	100	3 - 4	100
4 - 5	100	4 - 5	100	4 - 5	100
5 - 6	100	5 - 6	100	5 - 6	100
6 - 7	100	6 - 7	100	6 - 7	100
7 - 8	60	7 - 8	100	7 - 8	100
8 - 9	40	8 - 9	100	8 - 9	100
9 - 10	0	9 - 10	75	9 - 10	50
10 - 11	0	10 - 11	75	10 - 11	50
11 - 12	0	11 - 12	100	11 - 12	100
12 - 13	30	12 - 13	100	12 - 13	100
13 - 14	30	13 - 14	100	13 - 14	100
14 - 15	0	14 - 15	50	14 - 15	25
15 - 16	0	15 - 16	50	15 - 16	25
16 - 17	0	16 - 17	50	16 - 17	25
17 - 18	50	17 - 18	50	17 - 18	25
18 - 19	100	18 - 19	50	18 - 19	100
19 - 20	100	19 - 20	100	19 - 20	100
20 - 21	100	20 - 21	100	20 - 21	100
21 - 22	100	21 - 22	100	21 - 22	100
22 - 23	100	22 - 23	100	22 - 23	100
23 - 24	100	23 - 24	100	23 - 24	100

2.4.4. Apartamento

O estudo incidiu sobre um apartamento, destinado a habitação, que se encontra no edifício apresentado na Figura 2.12. Trata-se de um edifício novo composto por cinco pisos: a Cave (Piso -1), destinada a garagem coletiva; o Piso 0, onde se encontram dois espaços comerciais; e três pisos para habitação, sendo que cada piso incorpora dois apartamentos, um T3 e um T4. Este edifício tem elevadores e possui uma escada de circulação comum sem abertura direta para o exterior. O acesso principal ao prédio é feito pela fachada voltada a Sul.

A fração autónoma em análise corresponde ao apartamento de tipologia T3 localizado no segundo piso, conforme se assinala na Figura 2.13.

Tabela 2.5. Moradia: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).

Investimento inicial	492 209,80 €
Soluções construtivas:	134 001,30 €
Terreno e infraestruturas:	200 000,00 €
Sistemas de iluminação:	20 000,00 €
Sistemas de AVAC:	20 000,00 €
Sistemas de água e esgotos:	10 000,00 €
Sistemas para preparação de AQS:	10 000,00 €
Sistemas de energia renovável: (fotovoltaicos, eólicos, biomassa, etc.)	3 000,00 €
Acabamentos e pinturas:	10 000,00 €
Outros encargos (licenças, etc.):	10 000,00 €
Outros encargos:	75 208,50 €

Vida útil do edifício	(Análise a preços constantes)
Período de vida útil do edifício:	50 anos
Taxa média de inflação neste período:	3,00 %/ano
Rendimentos líquidos de energia vendida:	0,00 €/ano
Rendimentos líquidos de rendas:	0,00 €/ano
Outros rendimentos líquidos:	0,00 €/ano
Gastos em conservação e manutenção:	1 000,00 €/ano
Gastos em impostos (IMI, etc.):	1 000,00 €/ano

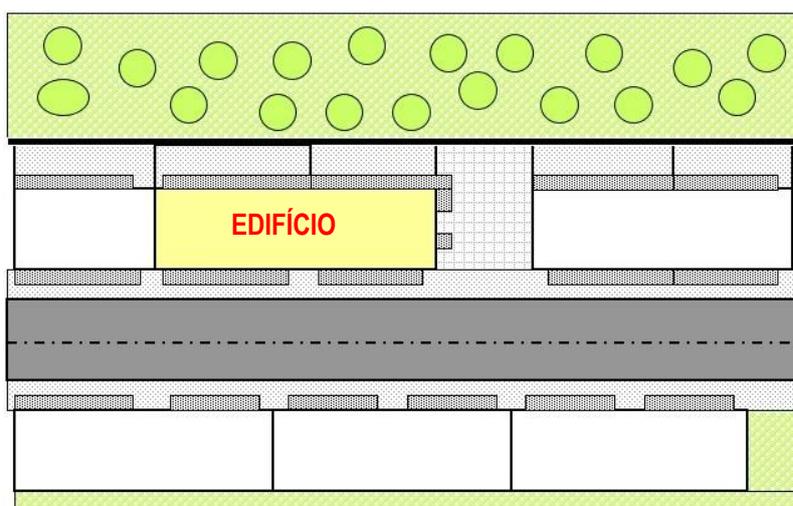


Figura 2.12. Apartamento: Implantação do Edifício [Raimundo et al, 2011c].



Figura 2.13. Vista geral do prédio (Fachada principal orientada a Sul) [Raimundo et al, 2011c].

Conforme se verifica na planta de arquitetura do apartamento (Figura 2.14), este é constituído pelo vestíbulo, uma sala, uma cozinha, duas instalações sanitárias, três quartos, uma circulação comum, um espaço para arrumos e três varandas exteriores, o que corresponde a uma área total de pavimento útil de 109.40 m², com 2,60 m de pé-direito. O apartamento apresenta 21,06 m² de área total de vãos envidraçados. Mais informação sobre esta fração autónoma pode ser encontrada com detalhe em Raimundo *et al.* (2011c).

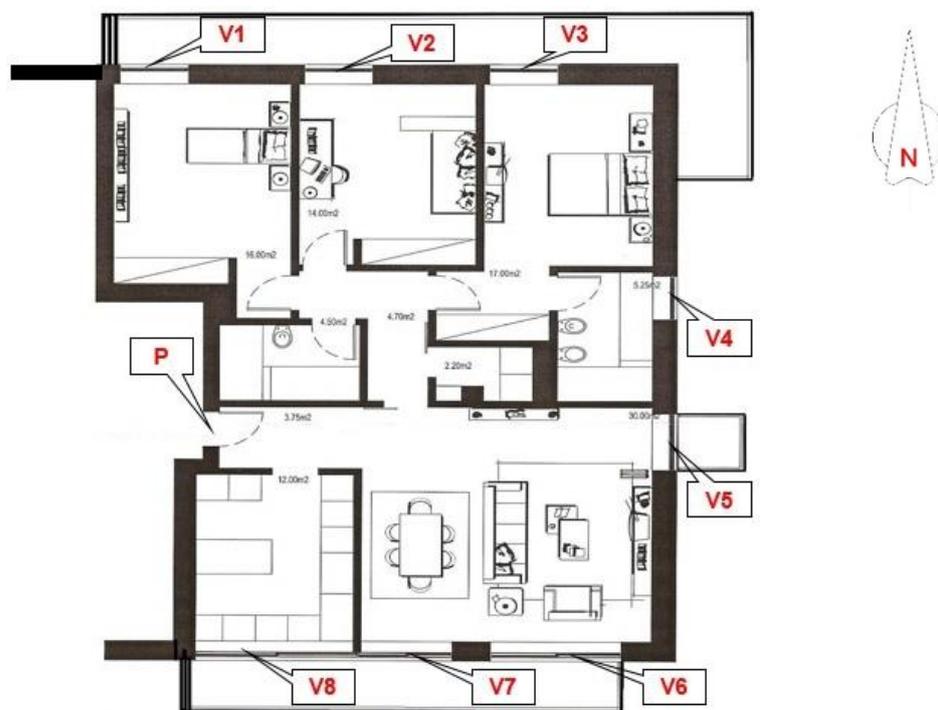


Figura 2.14. Planta do apartamento T3 do Piso 2 [Raimundo et al, 2011c].

Relativamente à preparação de águas quentes sanitárias, esta será assegurada através de um sistema de coletores solares, o qual será apoiado por uma caldeira mural a gás natural. Existem 4,7 m² de painéis solares térmicos, instalados na cobertura em terraço, orientados a Sul e inclinados a 40° (sistemas individuais por fração autónoma).

De realçar que, sendo esta uma fração autónoma do tipo residencial com tipologia T3, considerou-se o mesmo perfil de funcionamento e perfil de ocupação utilizados para o caso da moradia (Tabela 2.4).

Apresenta-se na Tabela 2.6 os custos de investimento (sem incluir as janelas), os rendimentos e os gastos anuais não energéticos do apartamento. Neste caso, todos os espaços da fração autónoma são considerados úteis.

Tabela 2.6. Apartamento: custos fixos de investimento, rendimentos e gastos anuais (sem IVA).

Investimento inicial	165 361,82 €
Soluções construtivas:	111 061,82 €
Terreno e infraestruturas:	15 000,00 €
Sistemas de iluminação:	6 000,00 €
Sistemas de AVAC:	6 000,00 €
Sistemas de água e esgotos:	3 000,00 €
Sistemas para preparação de AQS:	3 000,00 €
Sistemas de energia renovável: (fotovoltaicos, eólicos, biomassa, etc.)	3 000,00 €
Acabamentos e pinturas:	2 000,00 €
Outros encargos (licenças, etc.):	10 000,00 €
Outros encargos:	6300,00 €

Vida útil do edifício	(Análise a preços constantes)
Período de vida útil do edifício:	50 anos
Taxa média de inflação neste período:	3,00 %/ano
Rendimentos líquidos de energia vendida:	0,00 €/ano
Rendimentos líquidos de rendas:	0,00 €/ano
Outros rendimentos líquidos:	0,00 €/ano
Gastos em conservação e manutenção:	1 000,00 €/ano
Gastos em impostos (IMI, etc.):	2 000,00 €/ano

2.5. Folha de Cálculo *SEnergEd*

Os programas de simulação dinâmica detalhada multizona são ferramentas muito úteis na análise do comportamento energético de edifícios, existindo vários disponíveis no mercado. No entanto estes *softwares* não são de fácil utilização, dado que exigem um grande esforço de aprendizagem e a introdução de dados é um processo moroso. Logo a sua utilização na simulação do comportamento energético de edifícios de habitação e de pequenos edifícios de comércio e/ou serviços é pouco prática. No caso deste tipo de edifício é mais prático o recurso a programas de simulação dinâmica monozona, de fácil aprendizagem e com uma introdução de dados expedita. No entanto a oferta deste tipo de *software* não muito variada.

Neste trabalho, para além da simulação do comportamento energético de pequenos edifícios (de habitação, de comércio e de serviços), pretendia-se realizar uma análise económica do ciclo de vida do edifício. Ora, isto muito poucos (ou nenhum) dos *softwares* de simulação do comportamento energético de edifícios disponíveis no mercado faz, sejam eles multizona ou monozona. Pensa-se que um dos poucos *softwares* com esta capacidade é o programa *SEnergEd* desenvolvido no DEM-FCTUC [Raimundo, 2008; Lopes, 2013].

A primeira versão do programa *SEnergEd* foi desenvolvida por Raimundo (2008), sendo posteriormente melhorado no âmbito de uma tese de MiEM [Lopes, 2013] e, a partir daqui, tem sido sucessivamente melhorado e complementado com novas funcionalidades, encontrando-se atualmente na versão 30 (versão utilizada no presente estudo). Na realidade trata-se de uma folha de cálculo em *MS Excel* de simulação dinâmica monozona do comportamento energético da zona climatizada de um edifício e dos seus espaços complementares (AQS, cozinha, lavandaria, armazéns, estacionamentos, equipamentos específicos e espaço exterior), realizando simultaneamente uma análise económica do ciclo de vida do edifício. A folha de cálculo *SEnergEd* tem por base o modelo dinâmico horário monozona 5R1C formulado na norma ISO 13790 (2006) [Raimundo, 2008; Lopes, 2013].

A *SEnergEd* foi validada por Claro (2015), que comparou os consumos energéticos anuais reais da Escola Secundária de Avelar Brotero com as correspondentes previsões, tendo encontrado uma diferença de apenas 0,75%. De realçar que o edifício para o qual foi feita a validação do programa é um dos considerados neste estudo.

2.5.1. Metodologia de cálculo

O método horário monozona seguido pela *SEnergEd* é conhecido como 5R1C por se basear num circuito de analogia reo-elétrica composto por cinco resistências e uma capacitância [Raimundo, 2008]. Este método assenta numa metodologia de simulação horária anual (8 760 horas) de um espaço monozona representado esquematicamente na Figura 2.15.

É feita a distinção entre a temperatura do ar no interior da zona (T_i), a temperatura média das superfícies da envolvente em contato com o ar interior (T_s) e a temperatura média da massa térmica (T_m).

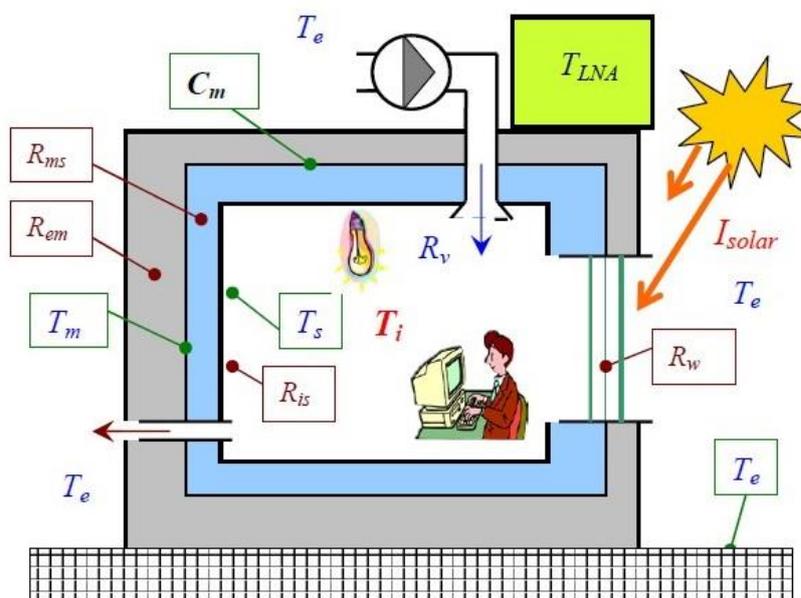


Figura 2.15. Esquema de princípio do método 5R1C [Raimundo, 2008].

No esquema de princípio deste método destacam-se as cinco resistências (5R) e a capacitância (1C). Em termos de resistências temos: R_{ms} - resistência térmica entre a massa térmica e as superfícies interiores dos elementos opacos, R_{em} - resistência térmica entre o exterior e a massa térmica dos elementos opacos, R_{is} - resistência térmica entre as superfícies interiores e o ar interior, R_w - resistência térmica dos vãos envidraçados entre o exterior e o ar interior, e R_v - resistência térmica associada ao caudal de ar novo introduzido no espaço. Em termos de capacitância temos: C_m - massa de inércia, suposta concentrada no interior dos

elementos opacos da envolvente. Por outro lado, I_{solar} e T_{LNA} representam, respetivamente, a radiação solar incidente e a temperatura dos locais não climatizados.

Os cálculos efetuados por esta metodologia têm por base a área útil do pavimento e o volume útil do edifício ou fração autónoma, assumindo intervalos de tempo de uma hora. Não permite calcular o comportamento térmico dos espaços definidos como “não úteis” pelo RCCTE (2006), pois considera o edifício ou fração autónoma como uma única zona, constituída apenas por espaços climatizados [Raimundo, 2008].

A aplicabilidade deste modelo 5R1C pressupõe que, no caso de existir ventilação mecânica, pelo menos 96% do caudal de ar novo é insuflado nos espaços da zona climatizada. Quando existem sistemas de climatização, só é permitido um único sistema de aquecimento e um único sistema de arrefecimento, que são comuns a todo o espaço climatizado. Sendo que, assume que todo o espaço climatizado se encontra à mesma temperatura e que está sujeitos aos mesmos limites de set-point de temperatura do ar interior.

2.5.2. Custo anual equivalente

No presente trabalho analisaram-se várias subclasses energéticas de janelas, sendo que a sua viabilidade económica acaba por se tornar um fator decisivo na comparação e consequente escolha da subclasse energética de janela que deve ser implementada em determinada tipologia de edifício ou fração autónoma.

A versão do programa *SEnergEd* utilizada tem a capacidade para efetuar uma análise a preços constantes da viabilidade económica do ciclo de vida do edifício. Por se considerar o mais adequado para o efeito, o estudo é baseado no indicador económico-financeiro CAE (custo anual equivalente). Na prática, o CAE expressa o montante anual gasto com o funcionamento do edifício levando em consideração quer os gastos para garantir as necessidades energéticas do edifício quer os investimentos financeiros aplicados na construção do mesmo. Como consequência, a subclasse energética de janelas mais benéfica para cada tipologia de edifício será aquela que refletir um menor valor de CAE.

O método de cálculo implementado no programa *SEnergEd* que permite obter este parâmetro baseia-se numa metodologia que se encontra descrita no material de apoio à disciplina de Economia e Gestão Industrial do curso de MiEM [Raimundo, 2015]. De acordo com essa metodologia, o *cash-flow* (*CF*) anual de exploração para cada panorama simulado,

traduz o saldo entre os fluxos económicos de entrada e de saída. Ou seja, corresponde, numa base anual, à subtração dos gastos (G) aos rendimentos (R), vindo

$$CF = R - G \quad (2.1)$$

Os gastos anuais de cada edifício ou fração autónoma devem-se, essencialmente, ao pagamento dos valores correspondentes ao consumo de energia, ao pagamento de impostos, dos quais se destaca o imposto municipal sobre imóveis (IMI) e ainda a possíveis atividades de manutenção e conservação de equipamentos e infraestruturas. Por outro lado, os rendimentos anuais podem resultar de uma possível venda de energia elétrica ou aluguer de espaços. Em nenhum dos edifícios se contabilizaram rendimentos líquidos de energia vendida.

Considerou-se, para efeitos do presente estudo, um período de análise económico-financeira $n = 50$ anos (vida útil dos edifícios) e uma taxa de atualização para análise a preços constantes (i) igual à taxa de inflação, assumida como igual a 3,00 %/ano. O fim de vida do edifício é representado pelo valor residual (VR), que incorpora um rendimento representativo do valor económico do terreno e os gastos de demolição e remoção de escombros. O investimento global (I_0) representa os recursos financeiros que é necessário despender para construir e tornar utilizável o edifício, nomeadamente os gastos com a aquisição do terreno, os projetos, a construção do edifício, os equipamentos necessários, os sistemas de AVAC e outros, mobiliário, etc. Assume-se que estes investimentos ocorrem todos no instante inicial do período de utilização do edifício, o que provavelmente não corresponde exatamente à verdade.

A partir dos parâmetros anteriores é possível determinar o VLA (valor líquido atual) do projeto económico representado pelo investimento no edifício, que é o valor do resultado (ou lucro) global do projeto quando atualizado para o instante inicial, vindo

$$VLA = \frac{VR}{(1+i)^n} - I_0 + \sum_{k=0}^n \frac{R_k - G_k}{(1+i)^k} \quad (2.2)$$

em que, como é evidente, no caso de edifícios o VLA resulta provavelmente negativo.

Conhecido o VLA pode, finalmente, determinar-se o valor do CAE (custo anual equivalente) recorrendo à Equação 2.3.

$$CAE = -VLA \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.3)$$

Por também haver rendimentos envolvidos nas expressões de cálculo do CAE, este parâmetro representa um “prejuízo anual equivalente” com o uso do edifício e não apenas um “custo anual equivalente” [Raimundo, 2015]. De igual modo, no caso de o CAE apresentar um valor negativo estamos perante um “lucro anual equivalente” e não de apenas um “rendimento anual equivalente” [Raimundo, 2015].

É provável que, para todos os projetos utilizados neste estudo, o *VLA* seja negativo, esperando-se assim encontrar um valor de CAE positivo em todos eles.

3. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são elementos construtivos semitransparentes que permitem a entrada de luz e de radiação solar para o interior dos edifícios (e saída/entrada de calor por condução) [Raimundo, 2011]. Designa-se por vão envidraçado o conjunto formado por uma ou mais janelas juntamente com os seus dispositivos de proteção solar interior e/ou exterior, conforme ilustra o esquema da Figura 3.1.



Figura 3.1. Constituição de um vão envidraçado.

De um modo geral, as janelas dos vãos envidraçados são compostas pela zona translúcida, por norma em vidro, podendo ser constituída por uma ou mais lâminas de vidro separadas entre si por câmaras de gás, e pelo caixilho que representa o conjunto de todos os perfis que integram tanto as partes fixas como as partes móveis da janela, suportando assim toda a sua estrutura (normalmente em alumínio, pvc ou madeira). A janela pode conter uma ou mais folhas, considerando-se o número de folhas como o número de elementos, geralmente móveis, que constituem a janela.

As janelas são assim formadas por vários elementos e componentes, que variam de acordo com o material e tipologia de abertura utilizada. Porém podem considerar-se como elementos base constituintes de uma janela, o aro fixo, folha(s) que podem ser fixas ou móveis, o(s) vidro(s), os bites, as ferragens (dobradiças, mecanismos de fecho) e as borrachas de selagem. Todos estes elementos base são adquiridos pelas empresas do setor da caixilharia (serralharias) que, após transformação, produzem as janelas mediante as características exigidas para cada edifício, procedendo posteriormente à sua instalação em obra.

Nos últimos anos, tem-se assistido, por parte dos fabricantes de janelas, a uma crescente aposta na inovação, na tecnologia e no número de envidraçados disponíveis no mercado para dar resposta a projetos de construção cada vez mais exigentes e para cumprir as atuais diretivas e normas europeias relativamente a eficiência energética e sustentabilidade ambiental e certificação de qualidade dos seus produtos.

3.1. Caraterísticas Gerais e Preços das Janelas

As janelas representam o elemento principal deste estudo. Assim, de modo a conseguir identificar, de uma forma mais realista e concreta, qual o tipo de janelas habitualmente utilizadas nos edifícios portugueses, o seu preço e a eficiência energética que promovem, procedeu-se ao pedido de orçamento para janelas a várias empresas fabricantes nacionais.

Após serem informadas dos objetivos a atingir com este estudo, foi solicitado a estas empresas a elaboração de um orçamento para seis janelas, cada uma de diferente qualidade térmica: excelente, muito boa, boa, média, fraca e muito fraca. Para facilitar o posterior tratamento de dados e a comparação dos mesmos, estipulou-se que todas as janelas são de duas folhas e apresentam as seguintes dimensões: 1 300 mm de largura e 1 100 mm de altura, ou seja janelas para vãos envidraçados de 1,43 m². Solicitou-se ainda que os preços das janelas incluíssem a mão-de-obra, a deslocação e o assentamento, tal como se de uma situação real se tratasse.

Ao critério do orçamentista deixaram-se as restantes especificações, de acordo com as diferentes qualidades de janela: tipologia de abertura (janela de correr ou de batente); material a usar (alumínio, pvc ou madeira) com as respetivas séries e fabricantes; e o tipo de vidro (simples, duplo ou triplo), espessuras e tipo de gás presente nas câmaras.

▪ Caraterísticas gerais das janelas

Das empresas contatadas 18 responderam, tendo-se recebido orçamentos para 81 janelas. De realçar que alguns fabricantes não indicaram orçamento para todos os tipos de qualidade térmica de janelas por não as fabricarem, caso contrário ter-se-iam recebido orçamentos para 108 janelas. Em termos de caixilhos, das 81 janelas, 70 são em alumínio (sem e com corte térmico), 8 em pvc e 3 em madeira. Em termos de sistema de abertura, 72 são do tipo “de batente” ou “oscilo-batente” e 9 do tipo “de correr”.

Na fase de tratamento de dados, com o objetivo de garantir a confidencialidade das empresas, estabeleceu-se um código para cada janela. Por exemplo, a referência J2E016 corresponde à janela que o orçamentista considerou de qualidade 2 (ou seja muito boa) da empresa fabricante à qual foi atribuído o número 016. Para cada janela orçamentada, a informação foi organizada como no caso que se apresenta:

- Código: J2E016
- Sistema: Batente
- Material: Alumínio
- Série: Performance 70 FP Super Haute Isolation
- Extrusora/Fabricante: Sapa Building System
- Vidro: Triplo – GuardianSun8/12Argon/6/12Argon/Laminado(5.5)
- Preço: 610,63€.

▪ Preços das janelas

O preço das janelas não varia linearmente com a sua área. Sendo assim, de modo a determinar o preço das janelas para as diferentes áreas de vãos dos edifícios simulados, seguiu-se a metodologia que a seguir se descreve.

Inicialmente, identificaram-se os critérios a usar para obter a área mínima de uma janela, abaixo da qual o preço da janela se mantém. Dado que a maioria das janelas orçamentadas são de duas folhas e o seu sistema de abertura é do tipo oscilo-batente, então, a área mínima que se considerou é a área de uma janela de duas folhas com oscilo-batente. Na Figura 3.2 encontra-se um exemplo deste tipo de janela.



Figura 3.2. Janela oscilo-batente [Google, 2016c].

Tendo em linha de conta a área de vidro mínima de faturação abaixo da qual determinada vidreira estabelece sempre o mesmo preço de vidro é de 0,2 m² e que a dimensão mínima da folha 1, de modo a que seja possível incorporar um mecanismo de

oscilo-batente, bem como a dimensão mínima da folha 2 que permite aplicar o chamado “fecho de segunda folha”, obteve-se uma janela com as seguintes dimensões: 800 mm de largura e 625 mm de altura. Assim, a área mínima de janela abaixo da qual o preço se mantém constante é de 0,5 m². Note-se que estes critérios foram estabelecidos com o auxílio de algumas das empresas contatadas, sendo por isso, meramente indicativos, podendo surgir situações excecionais que não se enquadrem nestes valores.

Após estabelecer a área mínima, solicitou-se a uma das empresas um orçamento com as mesmas características do orçamento inicialmente proposto, alterando apenas a área das janelas. Assim, considerando como P_{min} o preço da janela para a área mínima ($A_{min} = 0,5 \text{ m}^2$) e P_{ref} o preço da janela para a área de referência ($A_{ref} = 1,43 \text{ m}^2$), concluiu-se que em média

$$P_{min} = 0,70 P_{ref} \quad (3.1)$$

Considerando agora que existe um valor de α , em €/m², dado por

$$\alpha = \frac{P_{ref} - P_{min}}{A_{ref}} \quad (3.1)$$

obtem-se assim a equação que permite calcular o preço de uma janela (P_w), em função da área (A_w) da mesma

$$P_w = P_{min} + \alpha \cdot A_w \quad (3.2)$$

Estas equações foram implementadas numa folha de cálculo em *MS Excel*, sendo assim possível determinar o preço das janelas para cada edifício, de acordo com a sua área.

3.2. Características Técnicas das Janelas

O primeiro passo para a seleção exigencial do sistema envidraçado passa pelo conhecimento dos seus componentes e das características técnicas dos seus elementos. A caracterização técnica das janelas pressupõe assim o conhecimento do fator solar do vidro (g_{\pm}) e do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w).

▪ Fator solar do vidro

Para se obterem os dados relativos aos vidros das janelas recorreu-se a duas ferramentas de cálculo: *Calumen II*, versão 1.3.3 [Saint-Gobain, 2015] e *Guardian Configurator*, versão 4.1.181 [Guardian Glass, 2015], desenvolvidos pela *Saint-Gobain Glass* e pela *Guardian Glass*, respetivamente. Estas ferramentas de simulação permitem produzir relatórios de

desempenho de qualquer vidro simples ou da combinação de diferentes tipos de vidro e espessura para unidades de vidro duplo e triplo. Estes *softwares* calculam, de acordo com as normas EN 410 (2011) e EN 673 (2011), as características do vidro, tais como a transmissão luminosa, o fator solar ou o coeficiente de transmissão térmica.

Na Figura 3.3 encontra-se parte do relatório de desempenho do vidro triplo *GuardianSun8/12Argon/6/12Argon/Laminado(5.5)*, fornecido pela ferramenta de cálculo *Guardian Configurator*. Pode verificar-se que este vidro tem coeficiente de transmissão térmica (U_g) igual a 0,9 W/(m².K) e fator solar (g_{\perp}) igual a 0,386.

Resultados	
Luz visible (EN 410 - 2011)	
Transmitancia	Energía Solar (EN 410 - 2011)
Luminosa [%] $\tau_v = 61,6$	Transmitancia energética solar total [%] g = 38,6
Reflexión Luminosa exterior [%] $\rho_v = 22,8$	Coefficiente de sombra (G/0,87) $sc = 0,44$
Reflexión Luminosa interior [%] $\rho_v = 21,4$	Transmitancia energética directa [%] $\tau_e = 32,8$
Índice general de rendimento de color [%] $R_a = 91,7$	Reflexión energética exterior [%] $\rho_e = 36,8$
Propiedades térmicas (EN 673 - 2011)	Reflexión energética interior [%] $\rho_e = 27,8$
Valor-U [W/(m ² K)] $U_g = 0,9$	Absorción energética [%] $a = 30,4$
Inclinación $\alpha = 90^\circ$	Transitancia de UV [%] $\tau_{uv} = 1,3$
	Transmitancia energética indirecta [%] $q_i = 5,8$
	Otros datos
	Índice de atenuación acústica estimada $R_w = \text{NPD}$
	[dB] $C = \text{NPD}$
	(EN 717-1) $C_{tr} = \text{NPD}$

Figura 3.3. Relatório de desempenho do vidro [Guardian Configurator, 2015].

▪ Coeficiente de transmissão térmica da janela

A determinação do coeficiente de transmissão térmica da janela (U_W) fez-se pelo método do cálculo numérico descrito na norma EN ISO 10077-1 (2006), vindo

$$U_W = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}, \quad (3.4)$$

em que A_g é área de vidro da janela, U_g é o coeficiente de transmissão térmica do vidro, A_f é a área de caixilho, U_f é o coeficiente de transmissão térmica do perfil do caixilho, l_g é o perímetro de vidro visível e ψ_g é o coeficiente de transmissão térmica linear da ligação entre o vidro e o caixilho.

Para implementar a equação 3.4 desenvolveu-se uma folha de cálculo em *MS Excel*, em que para determinar os parâmetros ditos “dimensionais” da janela se tomou como referência o esquema representado na Figura 3.3. A partir da altura (H) e a largura (L) da

janela, de acordo com a dimensão central de caixilho (D_C), dimensão superior (D_S), dimensão inferior (D_I) e dimensão lateral (D_L), se obtém a correspondente área de caixilho e a área de vidro, bem como o perímetro de vidro visível.

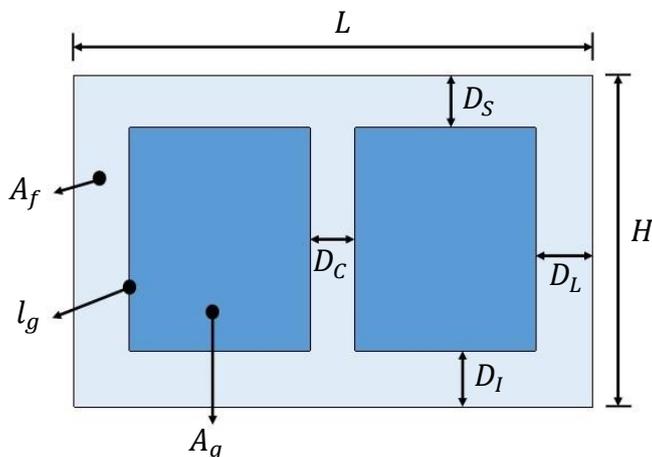


Figura 3.4. Representação esquemática de uma janela.

Para cada janela orçamentada identificou-se o material, o nome da série e o respetivo fabricante/extrusora. Com esta informação procedeu-se à consulta da ficha técnica de cada produto, obtendo-se, deste modo, as dimensões (D_C , D_S , D_I e D_L) e o coeficiente de transmissão térmica da série em causa (U_f).

Os perfis intercalares (espaçadores) são os elementos que separam as folhas de vidro num sistema de vidros múltiplos (vidro duplo ou triplo) e geralmente são em alumínio ou aço. A condutibilidade térmica elevada destes materiais metálicos cria uma ponte térmica no vão envidraçado, aumentando o risco de ocorrência de condensações, especialmente no contorno da área envidraçada. Para evitar isto têm surgido no mercado perfis intercalares com novos materiais e novas tecnologias construtivas. São espaçadores com melhor desempenho térmico, que aumentam a resistência térmica do envidraçado, reduzindo assim o risco de ocorrência de condensações e designam-se por WET “*Warm-Edge Technology*” [Mendes, 2011]. Estes intercalares possuem materiais com condutibilidade térmica baixa (poliuretano) ou são montados nos envidraçados com elementos de corte térmico, contribuindo para a redução do coeficiente de transmissão térmica linear da ligação entre o vidro e o caixilho (ψ_g). Quando utilizados com vidros de isolamento térmico com películas de baixa emissividade e gases inertes como o kriptón e o argón, selados na camada intermédia, podem reduzir consideravelmente a transferência global de calor pela janela e o risco de ocorrência de condensações.

Dado que nos orçamentos recebidos nada constava em relação aos perfis intercalares, considerou-se que em todas as janelas de vidro duplo e triplo o espaçador usado é em alumínio. Como consequência, para obter ψ_g consultou-se a Tabela E.1 da norma EN ISO 10077-1 (2006), em detrimento da Tabela E.2 da mesma norma.

Seguidamente, todos estes dados foram introduzidos na folha de cálculo para obter o correspondente valor U de cada janela.

3.3. Eficiência Energética das Janelas

Receberam-se orçamentos para 81 janelas, as quais, segundo os seus fabricantes, 16 são de qualidade térmica excelente, 14 de muito boa, 14 de boa, 11 de média, 12 de fraca e 14 de muito fraca. Ora como por norma os fabricantes não possuem ao seu serviço técnicos com os conhecimentos necessários para fazer este tipo de avaliação e como também não é garantido que a tenham solicitado a alguém com a competência necessária, é óbvia a necessidade de refazer esta classificação.

▪ Classificação energética das janelas

Neste trabalho a classificação térmica das janelas foi efetuada tendo em conta os dois parâmetros mais importantes em termos energéticos: o coeficiente de transmissão térmica linear da janela (U_w) e o fator solar da sua zona semitransparente (g_{\perp}). Como estes parâmetros têm unidades e gamas de variação diferentes um do outro é necessário proceder previamente à sua uniformização.

Para representar o coeficiente de transmissão térmica linear da janela considera-se o parâmetro R_{U_w} definido pela expressão

$$R_{U_w} = \frac{U_w}{U_{w,ref}} \quad (3.5)$$

em que se assume como referência o valor $U_{w,ref} = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, que de acordo com Bandarra (2014) é o de U_w de janelas da subclasse energética B-.

Para representar o fator solar da zona semitransparente da janela considera-se o parâmetro ($R_{g_{\perp}}$) definido pela expressão

$$R_{g_{\perp}} = \frac{g_{\perp}}{g_{\perp,ref}} \quad (3.6)$$

em que se assume como referência o valor $g_{\perp_{ref}} = 0,5$ por ser o valor máximo permitido pelo RCCTE (2006) para envidraçados instalados em edifícios com inércia térmica média ou forte e zona climática de verão V3 (a mais desfavorável).

O coeficiente de transmissão térmica da janela e o fator solar do vidro são duas características técnicas essenciais na caracterização das janelas. No entanto, dado tratar-se de uma classificação energética, assumem representatividades diferentes. Assim, estipulou-se que o U_w teria um contributo de 75% para a classificação energética da janela e o (g_{\perp}) assumiria os restantes 25%, conforme traduz a próxima expressão

$$R = 0,75 R_{U_w} + 0,25 R_{g_{\perp}}. \quad (3.7)$$

O parâmetro R é então o fator utilizado neste trabalho para classificar energeticamente as janelas, encontrando-se na Tabela 3.1 os seus valores mínimo e máximo estipulados para cada subclasse. Nesta tabela, tomou-se como referência o valor mais desfavorável da subclasse B- como sendo $R = 1.0$.

Tabela 3.1. Subclasses energéticas de janelas.

Classe energética	Fator R	Qualidade energética (presente classificação)
Classe A - Subclasse A+	$R \leq 0,25$	Excelente
Classe A - Subclasse A-	$0,25 < R \leq 0,50$	Muito boa
Classe B - Subclasse B+	$0,50 < R \leq 0,75$	Boa
Classe B - Subclasse B-	$0,75 < R \leq 1,00$	Boa
Classe C - Subclasse C+	$1,00 < R \leq 1,25$	Média
Classe C - Subclasse C-	$1,25 < R \leq 1,50$	Média
Classe D - subclasse D+	$1,50 < R \leq 1,75$	Fraca
Classe D - Subclasse D-	$1,75 < R \leq 2,00$	Fraca
Classe E	$R > 2,00$	Muito fraca

Embora exista alguma coerência nas qualidades térmicas atribuídas pelos fabricantes às janelas que produzem (embora com algumas exceções), não foi possível estabelecer uma relação direta com a classificação estabelecida neste trabalho.

Para além disto, nenhuma das janelas é suficientemente má para ser classificada como muito fraca (os fabricantes identificaram 14 janelas nesta categoria), nenhuma é suficientemente boa para poder ser classificada como muito boa (os fabricantes identificaram 14 janelas nesta categoria) e nenhuma é suficientemente boa para poder ser classificada como excelente (os fabricantes identificaram 16 janelas nesta categoria).

Segundo a classificação proposta neste trabalho, das 81 janelas para as quais se recebeu orçamento 13 são da Subclasse B+ (Boa), 16 da B- (Boa), 23 da C+ (Média), 19 da C- (Média), 4 da D+ (Fraca) e 6 da D- (Muito fraca).

Como nenhuma das janelas existentes no mercado é da Classe A (subclasses A- e A+) e com o objetivo de incluir neste estudo janelas desta classe utilizou-se uma estratégia que assenta na utilização de duas janelas em vez de só uma. Ou seja, tomou-se uma janela a usar no lado exterior (sempre a mesma) e verificou-se para todas as janelas qual a janela interior para a qual o conjunto das duas alcançava a classe energética A. Para implementar este processo, construiu-se uma folha de cálculo em *MS Excel*, na qual se calculou o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar do conjunto das duas janelas. Valores que posteriormente se inseriram nas equações 3.5 e 3.6, respetivamente, para se poder determinar o fator R e assim verificar a subclasse energética correspondente.

A determinação do coeficiente de transmissão térmica para o conjunto das duas janelas (U_w) foi efetuado de acordo com a norma EN ISO 10077-1 (2006), vindo

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{W_1}} - R_{si} + R_s - R_{se} + \frac{1}{U_{W_2}}}, \quad (3.8)$$

onde U_{W_1} e U_{W_2} representam o coeficiente de transmissão térmica da janela exterior e interior, respetivamente, R_{si} e R_{se} a resistência térmica superficial interior e exterior e R_s a resistência térmica do espaço de ar criado entre as duas janelas. Considerou-se, para janelas na posição vertical, $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ e $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, de acordo com o Anexo A da norma EN ISO 10077-1 (2006), e $R_s = 0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ para uma distância entre janelas de 50 mm, de acordo com o Anexo C da mesma norma.

O fator solar das janelas obteve-se recorrendo à equação 3.9a ou à equação 3.9b, consoante o vidro da janela exterior fosse simples ou apresentasse mais do que um vidro, respetivamente [RCCTE, 2006; Raimundo, 2011].

$$g_{\perp} = g_{\perp E} \cdot \prod_{i=1}^n \frac{g_{\perp i}}{0,85}, \quad (3.9a)$$

$$g_{\perp} = g_{\perp E} \cdot \prod_{i=1}^n \frac{g_{\perp i}}{0,75} \quad (3.9b)$$

onde $g_{\perp E}$ representa o fator solar do vidro da janela mais exterior, $g_{\perp i}$ o fator solar do vidro da janela i e n corresponde ao número de janelas (a contar de fora para dentro e sem incluir a janela mais exterior). O preço dos conjuntos de janelas obteve-se somando o preço de cada janela que o constitui.

Após experimentar diferentes janelas para a posição exterior, optou-se por utilizar as janelas J5E009 e J1E010 para obter a subclasse energética A- e a subclasse A+, respetivamente. As suas características principais encontram-se na Tabela 3.2. Note-se que a informação disponibilizada nesta tabela refere-se às dimensões de janela solicitadas em orçamento, ou seja, para uma área de janela de $1,43 \text{ m}^2$.

Tabela 3.2. Janela J5E009 e J1E010: resumo de características ($A_w = 1,43 \text{ m}^2$).

Janela	Material	Vidro	g_{\perp}	U_w [W/m ² .K]	Preço [€]
J5E009	alumínio	5/10/4 (ar) <i>Planilux</i>	0,77	3,48	193,79
J1E010	pvc	5/12/4/12/6 (árgon) <i>GuardianSun</i>	0,40	1,27	412,55

De realçar que a utilização de envidraçados que incorporam duas janelas independentes, é uma solução construtiva dita “normal” em países frios e muito pouco utilizada em Portugal, sendo expectável a sua viabilidade térmica e económica.

▪ Preço da eficiência energética das janelas

É possível determinar o preço da eficiência energética de uma janela, ou seja, determinar a quantia que é necessário investir numa janela para reduzir as perdas térmicas em 1 Watt por cada grau Kelvin de diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício. Para efetuar este cálculo é necessário determinar previamente o coeficiente de transmissão térmica da pior janela que se pode conceber.

A pior janela que se pode conceber será constituída por apenas uma chapa muito fina de um material de muita elevada condutividade térmica, por exemplo de alumínio com 1 mm de espessura. Neste caso a resistência térmica condutiva é desprezável, podendo ser assumido que $R_w = 0,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Para uma janela na posição vertical, $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ e $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, podendo o coeficiente de transmissão térmica desta janela ($U_{W_{máx}}$) ser obtido pela equação

$$U_{W_{máx}} = \frac{1}{R_{si} + R_W + R_{se}} \tag{3.10}$$

Resulta para esta janela um coeficiente de transmissão térmica $U_{W_{máx}} = 5,882 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, o qual pode ser considerado como o maior valor de U_W que uma janela pode ter.

Tomando agora como referência o valor de $U_{W_{máx}}$ é possível obter um parâmetro, a que se chamou preço específico da eficiência energética da janela (*PEEJ*), utilizando a seguinte expressão

$$PEEJ = \frac{P_{m2}}{U_{W_{máx}} - U_w} \tag{3.11}$$

em que P_{m2} traduz o preço médio do metro quadrado de janela de uma determinada subclasse energética e U_w é o coeficiente de transmissão térmica médio das janelas dessa subclasse.

Apresentam-se na Tabela 3.3 e na Figura 3.5, para cada subclasse energética, o valor do *PEEJ* obtido para as janelas consideradas no presente estudo.

Tabela 3.3. Preço da eficiência energética da janela (*PEEJ*)

Subclasse Energética	U_w [W/(m ² .K)]	P_{m2} [€/m ²]	<i>PEEJ</i> [€/W/K]
A+	0,677	422,70	81,21
A-	1,040	333,54	68,88
B+	1,525	240,89	55,28
B-	2,194	196,23	53,20
C+	2,807	172,35	56,04
C-	3,477	124,52	51,77
D+	4,088	117,58	65,53
D-	5,523	101,07	281,26

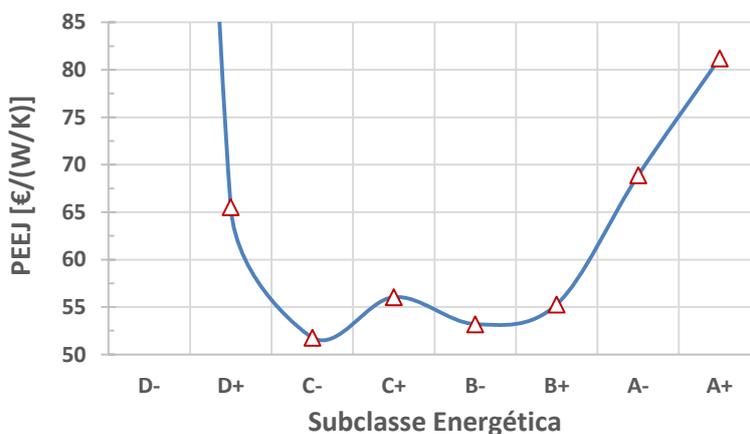


Figura 3.5. Preço da eficiência energética da janela (*PEEJ*).

O *PEEJ* representa o investimento que é necessário efetuar em janelas para poupar 1 Watt por cada grau Kelvin de diferença de temperatura *DT*, em que *DT* corresponde à diferença entre a temperatura interior e a temperatura exterior.

Analisando os valores obtidos para o *PEEJ* constata-se que as janelas mais potencialmente económicas são as pertencentes à subclasse energética C-, seguidas das B-, B+ e C+. Torna-se assim expetável que a subclasse energética de janelas que conduz ao menor valor do custo anual equivalente de cada edifício esteja compreendida entre as subclasses C- e B+.

3.4. Caraterísticas e Preço dos Vãos Envidraçados

Para além das janelas os vãos envidraçados são também constituídos pelos dispositivos de oclusão (interior e/ou exterior). Para determinar o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com os dispositivos de proteção ativos (U_{WS}) recorreu-se às equações seguintes [Raimundo, 2011], sendo a (3.12) usada para envidraçados simples e a (3.13) para envidraçados com duas janelas.

$$U_{WS} = \frac{1}{R_{si} + R_{pi} + R_w + R_{pe} + R_{se}}, \quad (3.12)$$

$$U_{WS} = \frac{1}{R_{si} + R_{pi} + R_{wi} + R_s + R_{we} + R_{pe} + R_{se}}, \quad (3.13)$$

onde R_{si} e R_{se} são as resistências térmicas superficiais interior e exterior, respetivamente, R_{pi} e R_{pe} as resistências térmicas adicionais dos dispositivos de proteção interior e exterior, respetivamente, R_s a resistência térmica do espaço de ar criado entre as duas janelas e R_{wi} e R_{we} as resistências térmicas da janela interior e exterior, respetivamente (com $R_w = 1/U_w$).

Como dispositivo de proteção interior utilizou-se uma cortina opaca, para a qual $R_{pi} = 0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ [Raimundo, 2011]. Como dispositivo de proteção exterior envidraçados considerou-se uma persiana enrolável de régua horizontais metálicas, um dispositivo de proteção com baixa permeabilidade ao ar para o qual $R_{pe} = 0,32 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ [Raimundo, 2011]. Estes dispositivos de oclusão foram considerados em todos os edifícios.

O coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados a utilizar nas simulações é o correspondente ao valor médio dia-noite (U_{Wdn}), dado pela equação

$$U_{Wdn} = 0,5 (U_d + U_n) \quad (3.14)$$

em que U_d é o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado com os dispositivo de proteção não ativos (posição típica durante o dia), ou seja, $U_d = U_w$ e U_n é o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado com os dispositivos de proteção ativos (posição típica durante a noite), sendo, $U_n = U_{WS}$.

Resume-se na Tabela 3.4 uma compilação dos dados relativos às características técnicas e ao preço dos vãos envidraçados a considerar neste trabalho, sendo que, para cada subclasse energética, se apresenta o valor médio (\bar{x}) e o correspondente desvio padrão (σ). Note-se que os valores presentes nesta tabela foram obtidos para uma área de vão $A_w = 1,43 \text{ m}^2$. É importante também lembrar que na classe energética A os vãos envidraçados são constituídos por duas janelas, enquanto que nas restantes classes os vãos são simples. Como já referido, nenhuma janela obteve classificação energética E. O preço indicado é o que resultou dos orçamentos recebidos e é para o envidraçado, logo e inclui a janela (ou janelas), a proteção exterior e a aplicação em obra, mas não considera o IVA.

Tabela 3.4. Característica dos vãos envidraçados para cada subclasse energética ($A_w = 1,43 \text{ m}^2$).

Subclasse Energética		g_{\pm}	U_g [W/m ² .K]	U_f [W/m ² .K]	U_w [W/m ² .K]	U_{WS} [W/m ² .K]	U_{Wdn} [W/m ² .K]	Preço [sem IVA]
A+	\bar{x}	0,114	-	-	0,677	0,530	0,603	688,42 €
	σ	0,005	-	-	0,041	0,024	0,030	209,50 €
A-	\bar{x}	0,427	-	-	1,040	0,732	0,887	560,92 €
	σ	0,017	-	-	0,094	0,048	0,070	202,66 €
B+	\bar{x}	0,440	1,046	1,883	1,525	0,943	1,234	428,43 €
	σ	0,079	0,257	0,933	0,207	0,082	0,144	195,88 €
B-	\bar{x}	0,471	1,263	2,847	2,194	1,165	1,680	364,56 €
	σ	0,091	0,178	0,701	0,242	0,069	0,156	142,56 €
C+	\bar{x}	0,713	2,470	2,489	2,807	1,316	2,061	330,42 €
	σ	0,124	0,516	1,199	0,409	0,090	0,250	161,29 €
C-	\bar{x}	0,786	2,837	3,971	3,477	1,452	2,465	262,02 €
	σ	0,011	0,121	0,915	0,266	0,046	0,156	146,26 €
D+	\bar{x}	0,783	2,875	4,425	4,088	1,551	2,819	252,09 €
	σ	0,022	0,050	0,850	0,053	0,008	0,030	120,35 €
D-	\bar{x}	0,877	5,783	5,000	5,523	1,721	3,622	228,49 €
	σ	0,005	0,041	0,010	0,064	0,006	0,035	161,62 €

Nos edifícios em estudo, quando um vão envidraçado apresenta dispositivos de proteção solar tomou-se como referência o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite (U_{Wdn}). Para os casos em que o vão envidraçado é constituído apenas pela(s) janela(s) utilizou-se o coeficiente U do vão envidraçado para a situação diurna (U_W).

A folha de cálculo *SEnergEd* só permite, por cada orientação, a utilização de três vãos envidraçados. Neste sentido, na impossibilidade de se introduzirem individualmente os dados relativos a cada vão envidraçado, houve a necessidade de os agrupar. Para tal, teve-se em linha de conta fatores como a tipologia de envidraçado, as propriedades U e g_{\perp} e os ângulos de sombreamento do horizonte, de sombreamento por elementos horizontais e de sombreamento por elementos verticais. Apresentam-se, a seguir, algumas das considerações, relativas aos vãos envidraçados, que foram tidas em conta nas simulações dos edifícios em estudo.

Na clínica identificaram-se três tipos de vãos envidraçados: VE1, VE2 e VE3. Aos vãos VE1 corresponde uma tipologia de envidraçado com dispositivo de proteção interior e exterior. Os vãos do tipo VE2 não têm dispositivos de proteção, sendo utilizados como portas de entrada localizadas no acesso ao Piso 0 a partir do exterior. Por sua vez os vãos do tipo VE3 funcionam como claraboias de iluminação das circulações internas. Em todas as simulações, para os vãos do tipo VE2 e VE3 foram sempre utilizados os dados relativos à subclasse energética C-, dado ser a mais económica de acordo com o *PEEJ*. Só se efetuou o estudo variando a qualidade térmica dos vãos do tipo VE1, que representa a quase totalidade dos envidraçados deste edifício.

Na moradia existem três tipos de vãos envidraçados: VE1 - vãos envidraçados com dispositivos de proteção interior e exterior (a grande maioria); VE2 - 2 vãos envidraçados que funcionam como claraboias de iluminação; e VE3 - 1 vão em tijolo de vidro. Nas simulações, e de modo a aumentar a área envidraçada, o vão VE3 foi considerado como sendo da tipologia VE1. Também aqui se atribuiu a subclasse energética C- aos vãos envidraçados do tipo VE2, fazendo o estudo variando apenas as características dos vãos VE1.

No caso do apartamento e da escola secundária considerou-se que todos os vãos envidraçados são iguais, apresentando dispositivos de proteção interior e exterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para efeitos deste trabalho, o custo anual equivalente (CAE) de um edifício é supostamente a renda que será necessário suportar em cada ano pela utilização do edifício, a qual é, em termos financeiros, equivalente aos gastos em energia e em manutenção do edifício, descontados eventuais rendimentos e contada a correspondente parcela representativa dos investimentos que foi necessário efetuar para construir o edifício e torná-lo habitável. De entre os investimentos necessários para que um edifício fique pronto para se utilizado destacam-se, entre outros, os gastos com a compra do terreno, os projetos, as licenças, as infraestruturas, a construção do edifício, o mobiliário, as taxas de ligação e os impostos.

Neste capítulo apresentam-se os valores previstos para o CAE dos quatro edifícios simulados (Clínica privada, Escola secundária, Moradia isolada e Apartamento) quando localizados em localidades representativas das zonas climáticas de Portugal continental (Odemira, I1-V1; Ansião, I2-V2; e Mirandela, I3-V3), em função de cada Subclasse energética das janelas assumidas. Deste modo foi possível identificar a Subclasse energética economicamente mais recomendável para cada caso.

4.1. Clínica Privada

Apresentam-se na Tabela 4.1 e na Figura 4.1 os valores obtidos do custo anual equivalente da Clínica, quando implantada em Odemira, em Ansião e em Mirandela, em função da Subclasse energética considerada para as janelas. É possível verificar que, para as três localidades, a subclasse energética das janelas que mais contribui para a rentabilidade económica deste edifício é a subclasse B+. Em oposição a isto aparecem as janelas da Subclasse energética D- que conduzem ao valor mais elevado de CAE, logo ao pior.

De um modo geral é possível verificar que a Clínica apresenta uma evolução do CAE indiferente à localidade em que se encontra implantada. Em Odemira (I1-V1) os valores do CAE resultante da utilização das diferentes tipologias de janelas apresentam-se muito próximos uns dos outros. Por outro lado, para Mirandela (I3-V3) existe uma grande discrepância entre o valor do CAE máximo e mínimo. Isto sugere que, para este tipo de

edifícios, a classe energética da janela pode ser pouco relevante para edifícios localizados em climas moderados, ganhando importância com o aumento da severidade do clima.

Tabela 4.1. Clínica Privada: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

I1-V1 Odemira		I2-V2 Ansião		I3-V3 Mirandela	
Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]
D-	202 457,15	D-	206 087,46	D-	214 411,92
D+	201 475,29	D+	204 785,77	D+	212 629,91
C-	201 135,57	C-	204 383,25	C-	212 085,85
C+	201 059,83	C+	204 170,31	C+	211 784,97
B-	201 010,64	B-	204 176,33	B-	211 803,53
B+	200 950,19	B+	203 960,18	B+	211 531,08
A-	201 243,28	A-	204 132,79	A-	211 690,88
A+	201 861,98	A+	205 004,18	A+	212 687,29

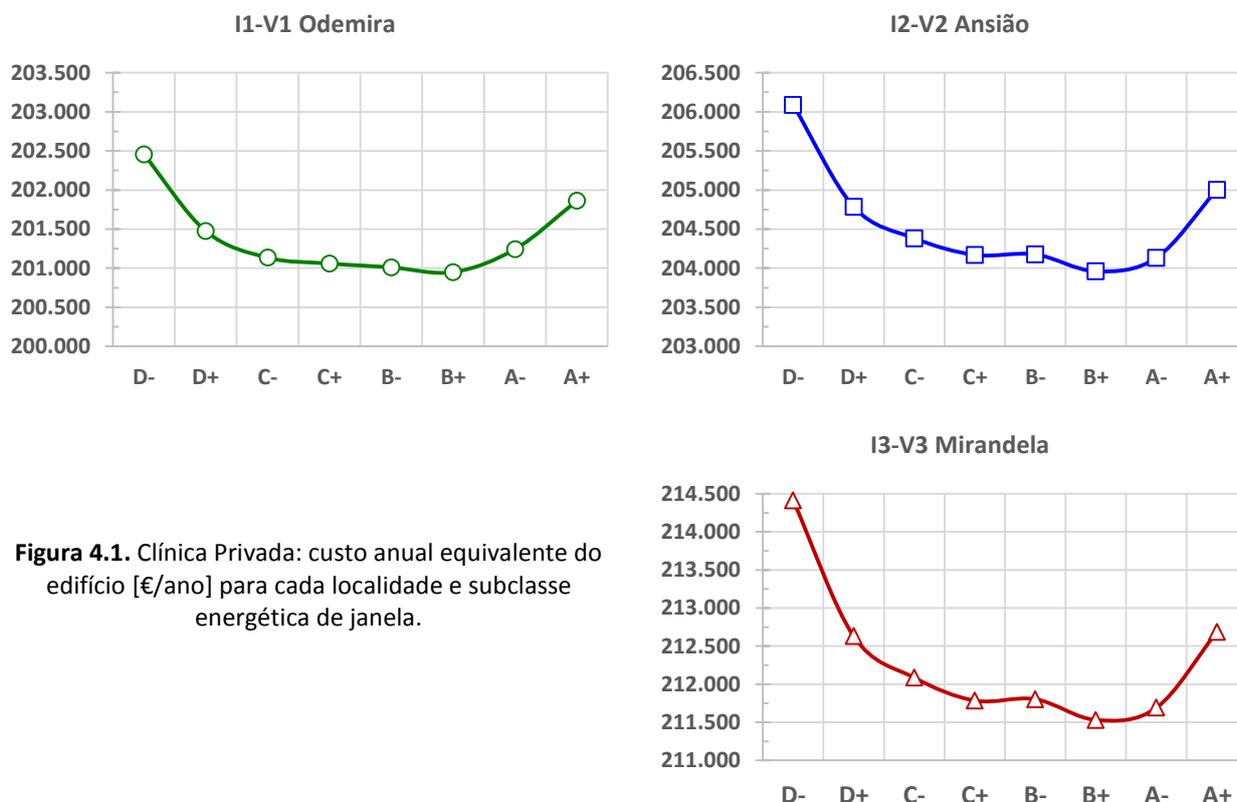


Figura 4.1. Clínica Privada: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética de janela.

Através do gráfico da Figura 4.2 constata-se que, quando comparado com as restantes localidades, o CAE deste edifício é bastante elevado para a cidade de Mirandela. Neste sentido, conclui-se também que, independentemente da subclasse energética de vão envidraçado instalada neste edifício, a construção e correspondente utilização desta clínica torna-se economicamente mais viável quando executada em Odemira.

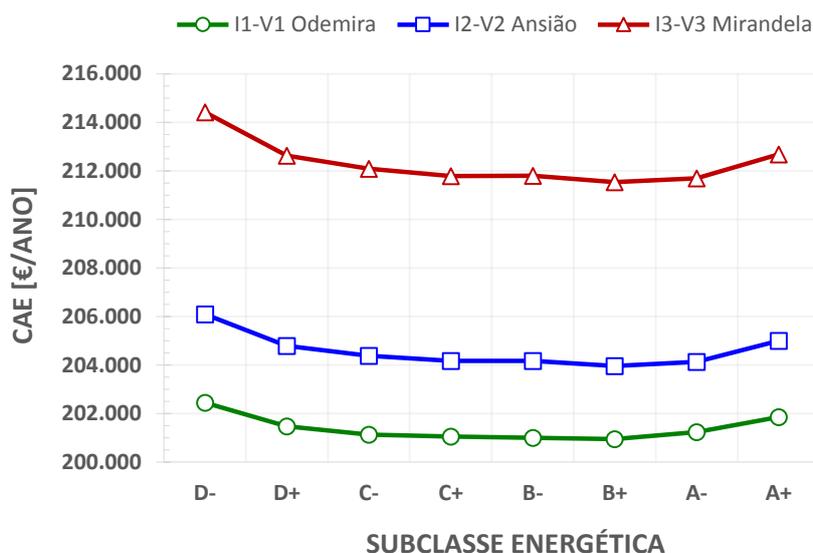


Figura 4.2. Clínica Privada: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

4.2. Escola Secundária

O valor do CAE da Escola secundária, obtido para os vários cenários e subclasses de janelas, encontra-se exposto na Tabela 4.2 e representado graficamente na Figura 4.3. Neste caso o “custo ótimo” do edifício (CAE mínimo) é alcançado com janelas da Subclasse energética C- independentemente da zona climática em que o edifício se localize. Note-se que este resultado já era expectável, uma vez que segundo o *PEEJ* (preço da eficiência energética da janela) as janelas potencialmente mais económicas são as pertencentes à Subclasse energética C-.

Analisando a Figura 4.3 constata-se que, para este tipo de edifício, as janelas menos benéficas são as pertencentes à Subclasse energética A+. Em termos de evolução do CAE observa-se um comportamento muito diferente do caso anterior (a Clínica privada), caso em que o pior CAE foi atingido com janelas da Subclasse D-. Outra diferença em

relação à situação anterior é que agora a subclasse energética das janelas é relevante mesmo que o edifício se localize em Odemira (I1-V1).

Tabela 4.2. Escola Secundária: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

I1-V1 Odemira		I2-V2 Ansião		I3-V3 Mirandela	
Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]
D-	415 131,51	D-	420 052,06	D-	433 848,71
D+	413 191,64	D+	416 791,13	D+	427 991,89
C-	412 657,71	C-	415 861,99	C-	426 243,41
C+	414 945,97	C+	417 809,52	C+	427 442,35
B-	415 478,98	B-	418 572,48	B-	428 339,24
B+	417 733,66	B+	420 451,31	B+	429 449,77
A-	423 621,25	A-	426 046,62	A-	434 470,33
A+	429 743,83	A+	432 794,93	A+	441 865,46

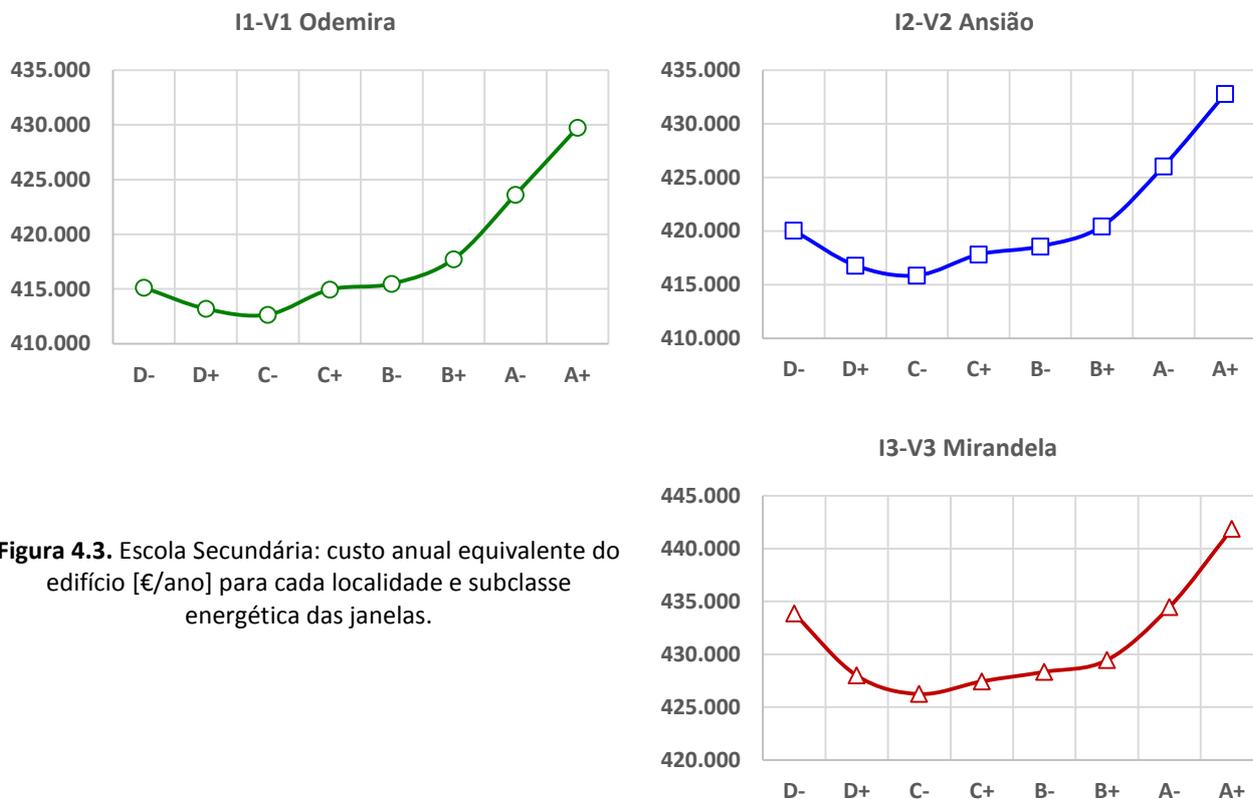


Figura 4.3. Escola Secundária: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética das janelas.

Na Figura 4.4 é possível analisar em simultâneo a evolução da curva do custo anual equivalente do edifício para as três localidades. Mais uma vez, é em Mirandela que o CAE do edifício é mais elevado. A linha de tendência de evolução do CAE da escola é semelhante em todas as zonas climáticas. Para todos os casos se verifica um declive negativo na curva do CAE entre as Subclasses D- e C-, alcançando o mínimo em C-. A partir daqui a curva tem um comportamento crescente, atingindo o valor máximo para janelas da Subclasse energética A+.

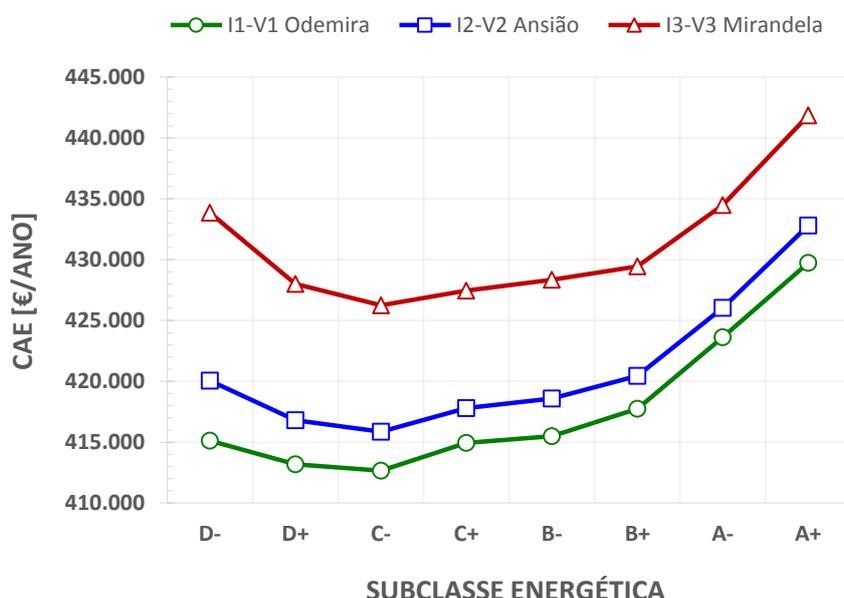


Figura 4.4. Escola Secundária: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

4.3. Moradia isolada

Os valores previstos para o CAE da Moradia isolada são apresentados na Tabela 4.3 e na Figura 4.5 em função da Subclasse energética das janelas e para as três localidades representativas do clima de Portugal continental. Verifica-se que as curvas do CAE da moradia para Odemira e Ansião apresentam um comportamento muito análogo. Para estes casos constata-se nitidamente que o valor máximo do CAE do edifício se alcança com a subclasse energética A+, sendo esta a solução economicamente menos viável. Por outro lado, em Mirandela D- é a subclasse energética que reflete o maior valor de CAE para esta tipologia de edifício. Nesta localidade, verifica-se também uma grande proximidade nos montantes anuais de CAE resultantes da utilização de janelas das Subclasses D- e A+.

Ao contrário do que ocorreu nos dois edifícios de serviços, no caso da Moradia o “CAE ótimo” do edifício não é alcançado sempre para a mesma subclasse energética das janelas. Para Odemira e Ansião o valor mínimo do CAE corresponde a janelas da Subclasse C- enquanto que para Mirandela a Subclasse mais benéfica é a C+.

Tabela 4.3. Moradia: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

I1-V1 Odemira		I2-V2 Ansião		I3-V3 Mirandela	
Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]
D-	22 829,31	D-	23 060,85	D-	23 658,52
D+	22 675,93	D+	22 847,08	D+	23 354,75
C-	22 621,96	C-	22 773,85	C-	23 248,43
C+	22 643,54	C+	22 777,67	C+	23 220,03
B-	22 670,26	B-	22 814,07	B-	23 255,76
B+	22 712,78	B+	22 841,70	B+	23 258,12
A-	22 859,68	A-	22 977,12	A-	23 375,14
A+	23 105,66	A+	23 241,53	A+	23 644,01

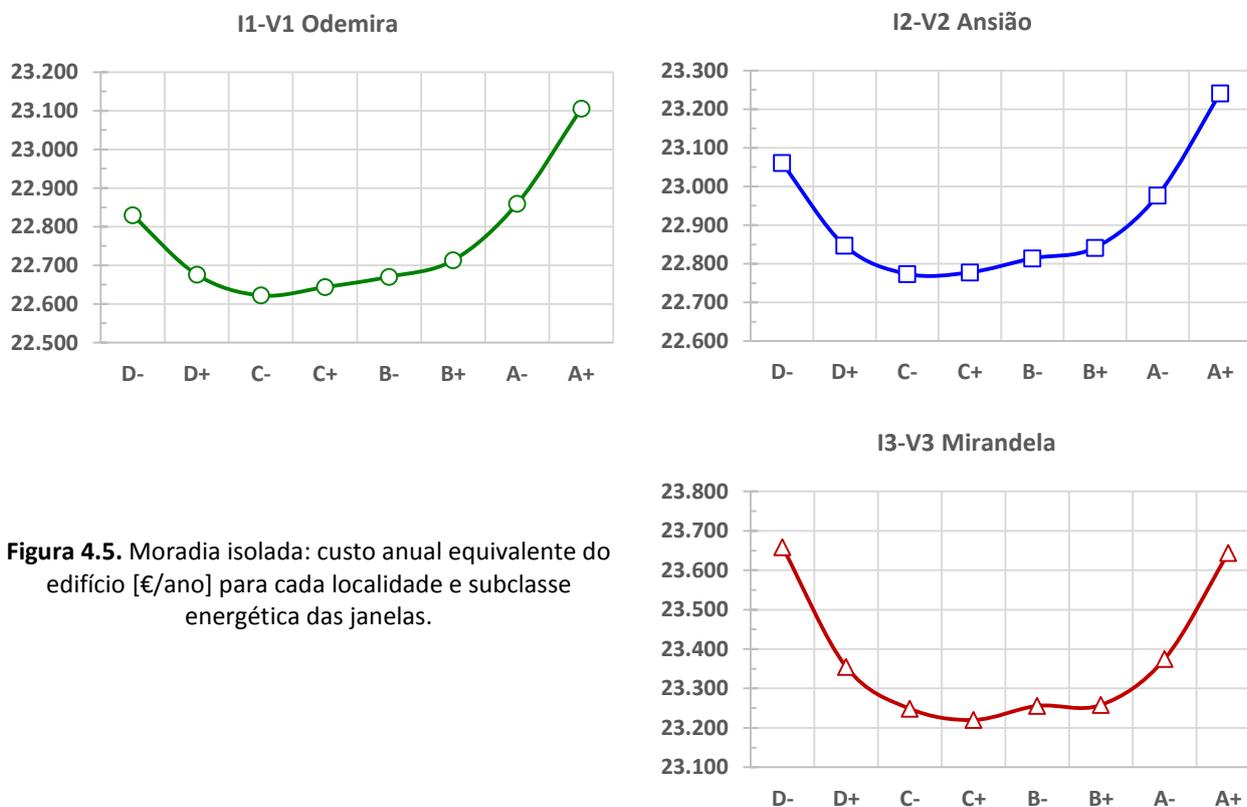


Figura 4.5. Moradia isolada: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética das janelas.

A representação simultânea da evolução do CAE do edifício com a Subclasse energética das janelas, conforme consta na Figura 4.6, demonstra que é bem mais oneroso habitar uma moradia isolada em Mirandela (I3-V3) do que nas outras duas zonas climáticas. Aliás, existe pouca diferença em termos de CAE do edifício entre Ansião (I2-V2) e Odemira (I1-V1).

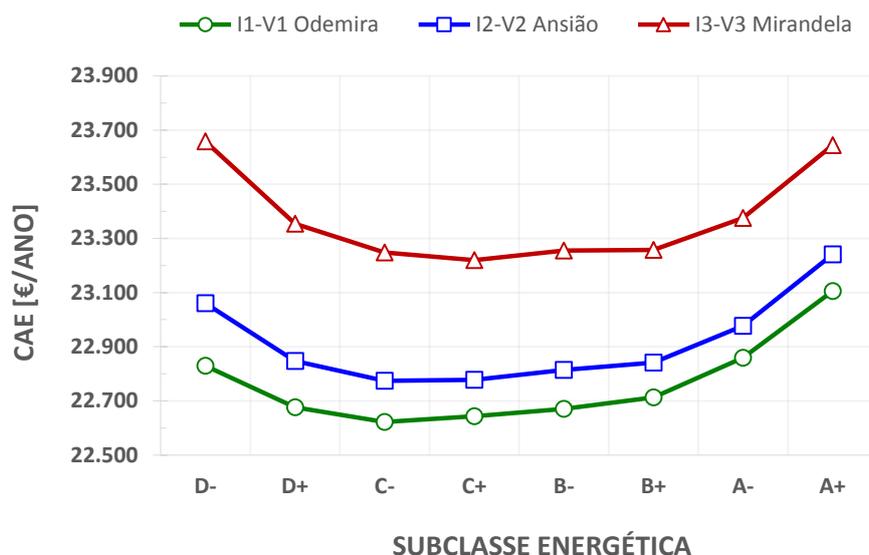


Figura 4.6. Moradia: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

4.4. Apartamento

O valor do CAE para o Apartamento, obtido para os vários cenários e subclasses de janelas, encontra-se exposto na Tabela 4.4 e representado graficamente na Figura 4.7. Neste caso o “custo ótimo” do edifício (CAE mínimo) ocorre exatamente para janelas da mesma classe energética que no caso da moradia. Pelo fato de ambos serem edifícios residenciais foi assumido nas simulações o mesmo perfil de utilização. No entanto são edifícios muito diferentes quando comparados quer em termos de necessidades energéticas para manter o seu funcionamento quer em termos de custos de construção. De realçar que em todas as situações o CAE do Apartamento é cerca de metade do CAE da moradia isolada.

O ponto ótimo de rentabilidade económica das janelas é conseguido utilizando janelas da Subclasse C- quando o edifício está implantado em Odemira ou em Ansião, sendo a subclasse C+ a mais indicada para apartamentos localizados em Mirandela.

Também em termos de evolução do CAE com a classe energética das janelas se verifica semelhança com o caso da moradia. A subclasse energética A+ é a que reflete o maior custo anual equivalente para as localidades de Odemira e Ansião, já a subclasse D- se apresenta como a solução menos viável quando esta edificação se encontra em Mirandela.

Tabela 4.4. Apartamento: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

I1-V1 Odemira		I2-V2 Ansião		I3-V3 Mirandela	
Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]	Subclasse energética	CAE [€/ano]
D-	11 156,45	D-	11 217,93	D-	11 432,39
D+	11 102,44	D+	11 132,89	D+	11 294,76
C-	11 087,41	C-	11 108,30	C-	11 247,94
C+	11 109,10	C+	11 120,72	C+	11 235,51
B-	11 118,19	B-	11 127,42	B-	11 238,65
B+	11 148,56	B+	11 148,33	B+	11 239,74
A-	11 226,02	A-	11 216,92	A-	11 291,74
A+	11 295,26	A+	11 294,79	A+	11 377,21

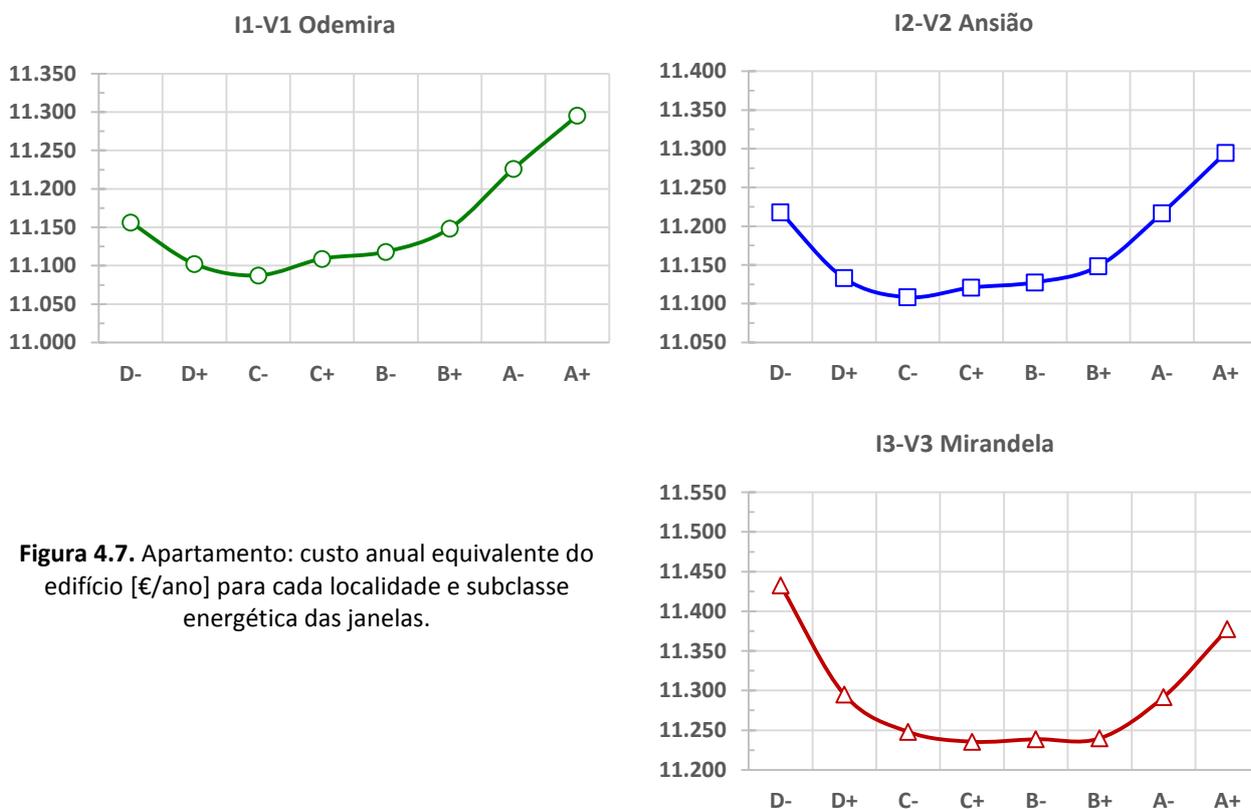


Figura 4.7. Apartamento: custo anual equivalente do edifício [€/ano] para cada localidade e subclasse energética das janelas.

Conforme se pode constatar na Figura 4.8, independentemente da subclasse energética das janelas utilizadas, a construção deste edifício na zona climática I3-V3 (Mirandela) conduz a um maior custo anual equivalente do que quando este tipo de edifício se localiza nas zonas climáticas I1-V1 e I2-V2. É interessante verificar o comportamento quase coincidente do CAE do apartamento quando simulado em Odemira e Ansião.

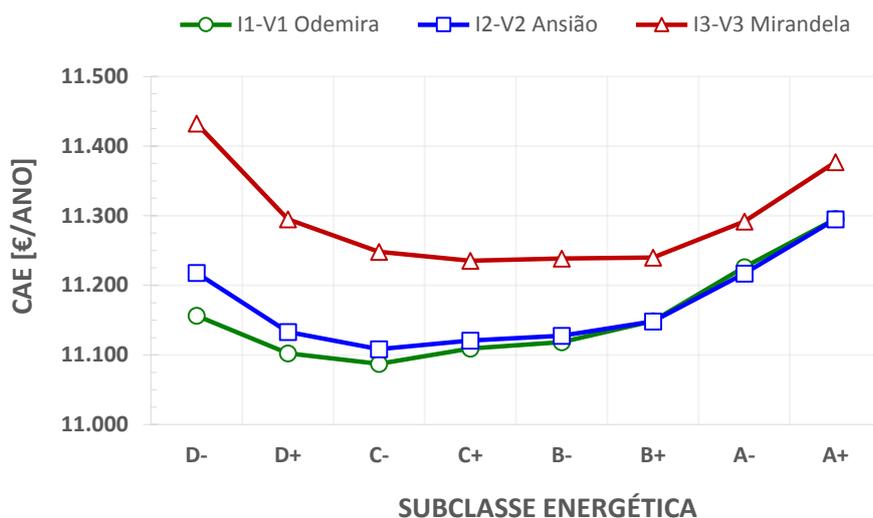


Figura 4.8. Apartamento: CAE em função da localidade e da Subclasse energética das janelas.

4.5. Análise Comparativa

Pretende-se agora analisar se, para além da tipologia de uso e da zona climática de implantação do edifício, existem outros aspetos que condicionam a classe energética das janelas que leva ao ponto ótimo de rentabilidade económica das mesmas janelas.

Por se considerarem como com maior potencial de influência toma-se o Fator de forma do edifício (FF) e a Razão de área de vãos envidraçados (R_v) definidos aqui como

$$FF = \frac{A_{opacos} + A_{vãos}}{A_{pav}} \quad [---] \quad (4.1)$$

$$R_v = 100 \frac{A_{vãos}}{A_{pav}} \quad [\%] \quad (4.2)$$

em que A_{opacos} representa a área de elementos opacos de separação do interior do edifício do ambiente exterior, $A_{vãos}$ a área de vãos envidraçados em contacto com o exterior e A_{pav} a área de pavimento dos espaço climatizado do edifício. De realçar que o Fator de forma do edifício é aqui definido de modo diferente do estipulado nos regulamentos do SCE [RCCTE, 2006].

Verifica-se que existe uma preocupação em reduzir ao máximo as áreas expostas dos edificadas, uma vez que as perdas térmicas pela superfície da envolvente exterior são proporcionais a essas mesmas áreas. Quer isto dizer que, para um edifício com idênticas características de vãos envidraçados e coeficientes térmicos mas com diferenças no seu fator de forma existe uma variação na sua capacidade de retenção do calor interno. Assim, quanto maior o fator de forma do edifício, maiores serão as perdas térmicas nele verificadas.

Apresenta-se na Tabela 4.5 os valores do Fator de forma (FF) e da Razão de área de vãos envidraçados (R_v) dos edifícios analisados neste trabalho. Na Tabela 4.6 indica-se a Subclasse energética da janela que leva ao menor CAE do edifício, ou seja a Subclasse energética da janelas recomendadas para esse edifício implantado nas localidades consideradas para representar as várias condições climáticas de Portugal continental.

Tabela 4.5. Fator de forma e Razão de área de envidraçados para cada edifício.

Edifício	Área de pavimento climatizada A_{pav} [m ²]	Área de opacos exteriores A_{opacos} [m ²]	Área de envidraçados exteriores $A_{vãos}$ [m ²]	Fator de forma FF [--]	Razão de área de vãos envidraçados R_v [--]
Clínica Privada	926,70	2 406,42	163,42	2,77	17,6%
Escola Secundária	11 246,20	20 293,69	1 785,18	1,96	15,9%
Moradia	167,13	427,51	49,68	2,86	29,7%
Apartamento	109,40	73,57	21,32	0,87	19,5%

Tabela 4.6. Subclasse energética mais “económica” para cada edifício e para as várias localidades.

Edifício	Subclasse energética de janela recomendada			
	Odemira	Ansião	Mirandela	Global
Clínica Privada	B+	B+	B+	B+
Escola Secundária	C-	C-	C-	C-
Moradia	C-	C-	C+	C-
Apartamento	C-	C-	C+	C-

Analisando a informação que consta na Tabela 4.6 verifica-se que as Subclasses energéticas das janelas recomendadas para os edifícios em apreço estão de acordo com o valor anteriormente apresentado para o Preço da eficiência energética das janelas (*PEEJ*). Relembrando, segundo o *PEEJ*, as janelas mais económicas são as da subclasse C-, seguidas das da B-, da B+ e da C+, contrariamente à subclasse D- que se apresenta como a alternativa menos benéfica.

Conforme se constata nas Tabelas 4.5 e 4.6, o maior *FF* foi obtido para a moradia enquanto que o mínimo foi obtido para o apartamento. Apesar de apresentarem fatores de forma “opostos”, verifica-se que a subclasse energética das janelas recomendadas para os dois edifícios é a mesma, não se verificando assim qualquer relação entre o fator de forma do edifício e a subclasse energética das janelas que conduzem ao “CAE ótimo” do mesmo.

É na moradia que se verifica uma maior representatividade de área de vãos envidraçados por metro quadrado de pavimento. Por outro lado, o valor mínimo de R_v obtém-se para a escola secundária. Numa análise global, verifica-se que a subclasse energética das janelas que conduz ao menor CAE destes dois edifícios é a Subclasse C-. Na prática, também aqui não se encontra qualquer tipo de relação entre a razão R_v e a subclasse energética de janela mais indicada.

No caso da Clínica privada, a subclasse energética de janela mais recomendada é a B+, enquanto que para os restantes edifícios a subclasse mais recomendada é a C-. Fazendo uma análise às características dos edifícios em estudo, verifica-se que, provavelmente, o indicador que permite fazer esta distinção entre as várias subclasses energéticas de janelas é o perfil de ocupação e consequente perfil de funcionamento de cada edifício. Tendo em consideração que a clínica é um estabelecimento de saúde com internamento, cujo funcionamento decorre durante todo o ano, 24 horas por dia, talvez se justifica a necessidade de se instalarem vãos envidraçados energeticamente mais eficientes. A escola secundária, a moradia e o apartamento, como apresentam apenas um perfil de funcionamento parcial, torna-se economicamente mais vantajosa a utilização de vãos envidraçados com Subclasse energética C-.

5. CONCLUSÕES

Pretendeu-se com este trabalho relacionar o custo de aquisição das janelas com a redução de gastos em energia que promovem, e assim identificar o seu ponto ótimo de rentabilidade económica das janelas vulgarmente utilizadas nos edifícios Portugueses.

A partir dos orçamentos recebidos verificou-se que nenhum deles incluía janelas da Classe energética E (a pior) nem da Classe A (a melhor). Logo, neste trabalho não se considerou a possibilidade de aplicação de janelas da Classe E e para “produzir” janelas da Classe A considerou-se a existência de duas janelas independentes por vão envidraçado.

Em termos genéricos, e contrariamente às expectativas iniciais, constatou-se que é economicamente desvantajosa a aplicação de janelas da Classe energética A (subclasses A+ e A-). Este facto deve-se a que o *PEEJ* (preço da eficiência energética das janelas) da Classe A é o segundo mais elevado, logo a seguir às janelas da Classe D. Da análise do parâmetro *PEEJ* das janelas comercializadas em Portugal constata-se que não é recomendável a instalação de janelas das Classes energéticas D e A, indicando como solução mais económica a utilização de Janelas simples pertencentes à Subclasse C-.

De acordo com o que era espectável, em todos os edifícios simulados e para todas as classes energéticas das janelas, o CAE mais elevado foi o previsto para a zona climática I3-V3 (Mirandela), seguido da I2-V2 (Ansião) e da I1-V1 (Odemira).

As previsões obtidas permitem afirmar que as janelas mais económicas para a Clínica privada são as pertencentes à Subclasse B+. No caso da Escola secundária, da Moradia e do Apartamento o menor CAE é alcançado com janelas da subclasse C-.

Os resultados obtidos sugerem que não existe qualquer relação da janela mais económica com o fator de forma do edifício ou com o fator de área de envidraçados. A relação desta janela “ótima” com a zona climática é muito ténue ou inexistente. O que determina a janela ótima a instalar é a tipologia de utilização do edifício.

Em termos muito genéricos identificaram-se as janelas da Subclasse energética C- como as com maior potencial de contribuição para o “ponto ótimo de rentabilidade económica” dos edifícios portugueses, devendo ser a solução a utilizar na construção de edifícios novos e na reabilitação de usados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bandarra, L. e Casquiço, M. (2014), Sistema de etiquetagem energética de produtos: janelas eficientes, Instruções para preparação dos artigos para o CINCOS'14.
- Claro, J.A. (2015), Viabilidade da instalação em escolas secundárias de sistemas de geração em regime de produção para autoconsumo, Tese de MiEM (Mestrado integrado em Engenharia Mecânica), Universidade de Coimbra, Julho de 2015.
- Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto (2013), Novos regulamentos do SCE (Sistema de Certificação Energética dos Edifícios), DR, 1.ª série, nº 159, 20 de agosto.
- Diretiva 2002/91/CE (2002), Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- EPBD (2010), Energy Performance of Buildings Directive - recast (Diretiva da UE relativa ao desempenho energético dos edifícios - reformulada), Diretiva 2010/31/EU do Parlamento e do Conselho de 19 de Maio de 2010.
- EN 410 (2011), Glass in building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing, European Standard.
- EN 673 (2011), Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value) - calculation method, European Standard.
- EN ISO 10077-1:2006 (2006), Thermal performance of windows, doors and shutters, Calculation of thermal transmittance, Part 1: General.
- Gerador de Preços do CYPE (2016), versão gratuita. Acedido em Janeiro de 2016, a partir do site: <http://www.geradordeprecos.info/>
- Gimenezganga (2015), Modelo de persiana Alugix – 45. *Download* em Dezembro de 2015 a partir do site: <http://www.gimenezganga.com/productos/alugix-45/>
- Google imagens (2016a), Mapa de Odemira, Ansião e Mirandela. *Download* em Janeiro de 2016, a partir do site: <https://www.google.pt/search?q=imagens=mapa>
- Google imagens (2016b), Escola Secundária de Avelar Brotero. *Download* em Janeiro de 2016 a partir do site: http://sombrapalavras.brotero.pt/images/galerias/sombra/entrada_brotero.png
- Google imagens (2016c), Janela oscilo-batente. *Download* em Janeiro de 2016 a partir do site: <https://www.google.pt/search?q=janela+oscilo+batente&source>
- Guardian Glass (2015), Guardian Configurator, versão 4.1.181, *Download* a partir do site: <http://www.guardianglass.co.uk/industry/configurator>, Setembro 2015.
- INE, I.P./DGEG (2011), Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico 2010, Edição 2011, Lisboa-Portugal.

- ISO 13790 (2006), Energy performance of buildings - calculation of energy use for space heating and cooling, International standard.
- Lopes, D.V.S. (2013), Simulação do comportamento térmico e energético de pequenos edifícios com recurso a uma folha de cálculo em Excel, Tese de MiEM, Universidade de Coimbra, Setembro de 2013.
- Mendes, V.G.P (2011), Quantificação do coeficiente de transmissão térmica de vãos envidraçados – Modelo de cálculo, Tese de MiEC (Mestrado integrado em Engenharia Civil), Universidade do Porto, Março de 2011.
- Oliveira, E.V. e Galhano, F. (1992), Arquitetura Tradicional Portuguesa, Dom Quixote, Lisboa, 1992.
- Raimundo, A.M. (2008), Cálculo do comportamento térmico de edifícios através do modelo dinâmico horário monozona 5R1C, II Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica de Fluidos e Termodinâmica, Universidade de Aveiro, 8-9 de Maio de 2008.
- Raimundo, A.M.; Gaspar, A.R. e Lamas, F.B. (2011a), Projeto RSECE de um edifício de serviços (caso prático), Cursos de formação sobre SCE, DEM-FCTUC.
- Raimundo, A.M.; Gaspar, A.R. e Lamas, F.B. (2011b), Projeto RCCTE de uma moradia (caso prático), Cursos de formação sobre o SCE, DEM-FCTUC.
- Raimundo, A.M.; Gaspar, A.R. e Lamas, F.B. (2011c), Projeto RCCTE de um apartamento (caso prático), Cursos de formação sobre o SCE, DEM-FCTUC.
- Raimundo, A.M. (2011), Vãos envidraçados (e elementos não opacos da envolvente), Cursos de formação sobre o SCE, DEM-FCTUC.
- Raimundo, A.M. (2012). Exequibilidade dos edifícios com necessidades quase nulas de energia em clima mediterrânico, Revista Climatização, Nº 79, pp. 68-72.
- Raimundo, A. M. (2015). Elementos de apoio à disciplina Economia e Gestão Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.
- RCCTE (2006), Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios, Decreto-Lei nº 80/2006, DR nº 67 - Série I – A, 4 de Abril de 2006.
- Saint-Gobain (2015), Calumen II, versão 1.3.3 (versão gratuita), *Download* a partir do site: <http://pt.saint-gobain-glass.com/content/calumen-0>, Setembro de 2015.
- Santos, C.A.P. e Matias, L.M.C. (2006), ITE-50: Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Versão de 2006, ICT Informação Técnica Edifícios, LNEC.
- Silva, S.B. (2008), A janela: relações e transformações no contexto da história da arquitetura, Prova final da Licenciatura de Arquitetura, Universidade de Coimbra, Setembro de 2008.
- Távora, F. (1991), O ensino da arquitetura na atualidade, Conferência proferida no antigo cinema Éden, em 1991.