



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Análise da Rentabilidade Económica de Janelas em Edifícios Residenciais Existentes

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Cátia Alexandra Graça Tavares

Orientador

Nuno Albino Vieira Simões

Colaboração institucional



Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Julho, 2015

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador, o professor Nuno Simões, por toda a ajuda e conhecimentos que me transmitiu ao longo desta dissertação.

Ainda uma palavra especial aos Engenheiros Sérgio Tadeu e Márcio Gonçalves por todo o auxílio e disponibilidade que demonstraram, quer para retirar dúvidas, quer para explicar novos conceitos necessários para aplicação nesta dissertação.

Um obrigado especial aos meus amigos de curso pelo companheirismo ao longo destes anos de formação e aprendizagem.

Por último um enorme agradecimento para os meus pais, irmão e namorado, que me acompanharam de perto nesta etapa, suportando-me nos momentos mais difíceis e aturando o meu mau humor. Obrigado por acreditarem em mim sem nunca questionar. Obrigado por tudo o que fizeram por mim.

RESUMO

O estabelecimento dos níveis ótimos de um edifício e suas componentes tem sido cada vez mais debatido, devido não só às exigências da diretiva europeia 2010/31/EU, como também à procura de um maior retorno financeiro por parte do investidor ao optar por melhores medidas de melhoria.

Nesse sentido, com esta dissertação pretende-se analisar o desempenho energético de diferentes envidraçados aplicados na envolvente de um edifício de referência e avaliar a sua viabilidade económica através de uma metodologia para determinação dos níveis ótimos de rentabilidade.

Será aplicado o novo regulamento de desempenho energético de habitações por forma a caracterizar a eficiência energética do edifício de referência existente, representativo da época de 1961 a 1990. Este regulamento baseia-se no Método Sazonal descrito na norma ISO 13790, que nem sempre traduz os consumos reais energéticos de edifícios. Optou-se por assumir que as necessidades energéticas correspondem a uma fração de 20% das necessidades nominais, calculadas através do referido método.

O método proposto no regulamento delegado da comissão europeia nº244/2012 será utilizado na avaliação da rentabilidade económica. Este servirá para determinar o nível ótimo das soluções, ou seja aquele que apresenta, em simultâneo, o menor consumo de energia primária e custo global.

Com esta abordagem metodológica pretende-se comparar soluções de envidraçados de diversas tipologias, com características térmicas e solares distintas e para diferentes dados climáticos. Tendo como objetivo principal a identificação do custo ótimo em termos de rentabilidade económica.

ABSTRACT

The establishment of the cost-optimal on buildings and their elements have been increasingly debated due to the requirements of European Directive 2010/31/EU as well as the research on a higher financial return for the investor to choose the best improvement measures.

Subsequently, this thesis is intended to analyse energy performance of different glazing, applied in reference buildings envelope. Evaluating their economic viability through a methodology to determine the profitability optimum levels.

The new energy performance regulations of dwellings will be applied in order to characterize energy efficiency of existing reference buildings, constructed between 1961 and 1990. This regulation is based on the seasonal method described in ISO 13790, which doesn't always reflect the real energy consumption of buildings. It was decided to assume that energy requirements correspond to a fraction of 20% of nominal needs, calculated by the method referred.

The proposed method in the European commission delegated regulation nº244/2012 will be used in the evaluation of economic profitability assessment. This will serve to determinate the solutions optimal levels, in other words the one that presents, simultaneously, the lowest primary energy consumption and overall cost.

With this methodological approach is intended to compare glazing solutions of multiple types, with distinct thermal and solar characteristics and different climatic data. Having as main goal the identification of the optimal cost in terms of profitability assessment.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE QUADROS	vii
ABREVIATURAS	viii
SIMBOLOGIA	ix
UNIDADES DE MEDIDA	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Estrutura do Documento	4
2 CASO DE ESTUDO	5
2.1 Edifício de Referência	5
2.2 Edifício em Estudo.....	8
3 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA RENTABILIDADE ECONÓMICA	
16	
3.1 Metodologia de levantamento de dados.....	16
3.2 Metodologia para avaliação do desempenho energético (REH).....	16
3.3 Metodologia de determinação dos custos globais.....	20
4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	26
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Representação do edificado português por época de construção.	3
Figura 2.1 – Representação do tipo de abertura das janelas em estudo.	11
Figura 2.2 – Identificação de vidros interiores e exteriores para colocação de capas baixo emissivas.	13
Figura 3.1 – Ilustração de um edifício de estudo e do edifício de referência (Adaptado de IteCons @ 2014).	21
Figura 3.2 – Representação do ponto ótimo de um conjunto de pacote de soluções.	21
Figura 3.3 – Categorização dos custos de acordo com o quadro metodológico (adaptado de comissão europeia, 2012a).	23
Figura 3.4 – Representação do cálculo de uma componente de um edifício com um tempo de vida superior ao período de cálculo (adaptado de comissão europeia, 2012a).	24
Figura 4.1 – Representação dos dois setores de soluções para ar condicionado e emissor elétrico para os 2000 GD.	27
Figura 4.2 – Identificação dos setores de isolamento para os 1000 GD.	28
Figura 4.3 – Necessidades de Energia Primária vs. Custo Global para os 1000 Graus-Dias com limites do REH.	28
Figura 4.4 – Conjunto de Pacote de dados na faixa da solução ótima: cenário com ar condicionado e isolamento na cobertura.	31
Figura 4.5 – Identificação das séries de duas folhas, nos dois sistemas, para os 1000 GD.	32
Figura 4.6 – Identificação das séries com fator solar g_1 , nos dois sistemas, para os 1000 GD.	33
Figura 4.7 – Representação da variação de energia com o fator solar para os 1000 GD.	28
Figura 4.8 – Representação da variação de energia com o coeficiente de transmissão térmica para os 1000 GD.	36
Figura 4.9 – Representação das melhores soluções por séries, com ar condicionado e 1000GD.	37
Figura 4.10 – Representação das melhores soluções por séries para emissor elétrico e 1000 GD.	38
Figura 4.11 – Gráficos globais para os 1500 e 2000 GD.	39
Figura 4.12 – Séries ótimas para o ar condicionado e emissor elétrico 2000 GD.	40

Figura 4.13 – Variação de energia com coeficiente de transmissão térmica e com o fator solar respetivamente.	42
Figura 4.14 – Representação da variação de energia por coeficiente de transmissão térmica e fator solar, respetivamente.	42
Figura 4.15 – Representação dos pacotes de soluções para os 1500 e 2000 GD com as necessidades energéticas a 100%, utilizando ar condicionado.	43
Figura 4.16 – Representação da janela ótima para os 1500 e 2000 GD utilizando um sistema eficiente.	44
Figura 4.17 – Representação da cultura de climatização para a melhor janela de cada série nos 1500 GD, utilizando emissor elétrico.	46
Figura 4.18 – Representação da cultura de climatização para a melhor janela de cada série nos 1500 GD, utilizando ar condicionado.	47

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1– Levantamento Dimensional do Edifício de Referência.....	6
Quadro 2.2 – Valores para o cálculo do fator de obstrução.	7
Quadro 2.3 – Pontes térmicas lineares presentes no edifício de referência.....	8
Quadro 2.4 – Parâmetro Climáticos.	9
Quadro 2.5 – Representação esquemática e desenhos de pormenor dos três caixilhos em análise.	12
Quadro 2.6 – Vidros em análise no edifício de estudo.....	12
Quadro 2.7 – Parâmetros de cálculo das janelas combinadas	14
Quadro 2.8 – Identificação das séries de janelas a simular.	15
Quadro 2.9 – Custos (€) de Caixilhos e da sua aplicação.....	15
Quadro 4.1 – Limites Regulamentares para os 1000 GD e para os diferentes sistemas.	29
Quadro 4.2 – Tabela resumo dos pontos ótimos das três melhores séries.	33
Quadro 4.3 – Dados e resultados das séries de janelas com melhores e piores desempenhos térmicos e ponto ótimo para os 1000 GD.	34
Quadro 4.4 – Representação do consumo de energia primária com a variação do fator solar para os 1000 GD.	35
Quadro 4.5 – Representação da variação do consumo de energia primária com a variação do coeficiente de transmissão térmica para os 1000 GD.....	36
Quadro 4.6 – Representação dos ganhos em 30 anos entre séries com melhor desempenho térmico.	39
Quadro 4.7 – Limites Regulamentares para os 1500 e 2000 GD.	40
Quadro 4.8 – Ganhos a 30 anos entre as três séries principais.....	41
Quadro 4.9 – Representação das janelas ótimas para séries relevantes com variação nos graus dias.....	45

ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia;

AQS – Águas Quentes Sanitárias;

COP – *Coefficient of Performance*;

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia;

EER – *Energy Efficiency Ratio*;

EM – Estados-Membros;

ENU – Espaço não útil;

EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*;

EPS – Poliestireno expandido moldado;

GD – Graus-Dias;

INE – Instituto Nacional de Estatística;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos;

nZEB – *Net Zero Energy Buildings*;

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação em Portugal;

UE – União Europeia;

VAL – Valor Atual Líquido.

SIMBOLOGIA

AB – Abrir-Basculante;

A_T – Área total da janela em m^2 ;

C – Correr;

CO_2 – Dióxido de carbono;

E – Este;

F_o – Sombreamento por elementos horizontais;

F_f – Sombreamento por elementos verticais;

F_h – Fator de obstrução do horizonte;

F_s – Fator de obstrução;

g – Fator solar do vidro;

g_T – Fator solar global;

N – Norte;

N_t – Valor máximo das necessidade energética total de energia primária do edifício de referência em $kWh_{EP}/(m^2.a)$;

O – Oeste;

$Q_{tr,i}$ – Coeficiente de transferência de calor por transmissão, na estação de aquecimento em kWh;

$Q_{tr,v}$ – Coeficiente de transferência de calor por transmissão, na estação de arrefecimento em kWh;

R_{ph} – Taxa de renovação horária;

S – Sul;

U – Coeficiente de transmissão térmica em $W/m^2°C$;

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela em $W/m^2°C$;

Ψ – Coeficiente de perda linear em $W/m.°C$.

UNIDADES DE MEDIDA

°C – Graus Celsius;

cm – Centímetros;

kW – Quilowatt;

kWh – Quilowatt-hora;

kWh_{EP} – Quilowatt-hora de energia primária;

m – Metros;

m² – Metros quadrados;

W – Watts.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e Motivação

Os edifícios são cada vez mais uma fonte relevante das emissões de CO₂ para a atmosfera, sendo que 40% das emissões de CO₂ provêm de edifícios. Como tal, é de extrema importância que haja uma forte intervenção a este nível.

A diretiva europeia EPBD (*European energy performance of buildings*) foi elaborada com o intuito de que a Europa pudesse diminuir as suas emissões de CO₂, impondo medidas de melhoria de eficiência energética em edifícios novos e existentes em todos os Estados-Membros (EM) (Comissão Europeia, 2010a). Esta diretiva foi transposta em Portugal pelo Decreto-Lei 118/2013, nomeadamente através do regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação (REH), aplicável a edifícios multifamiliares e unifamiliares (REH, 2013).

Tudo isto se iniciou após o compromisso assumido no protocolo de Quioto, onde vários países, se comprometeram a reduzir as emissões de gases que agravam o efeito de estufa. Para promover o que foi estabelecido neste protocolo, a Europa estabeleceu que em 2020 as emissões de CO₂ seriam reduzidas numa percentagem de 20%, prevendo uma maior ambição para 2040, onde estabelece uma redução de 40% (European Commission, 2010).

No sentido de cumprir estas metas, como referenciado anteriormente, foram sendo criadas ao longo dos anos várias diretivas e com elas começaram a aparecer conceitos, como as Passive House e ainda os nZEBs (Edifícios de energia quase zero) (Kurnitski *et al.*, 2011). Estes edifícios são praticamente autossustentáveis, necessitando de uma quantidade mínima de energia para climatização e preparação de águas quentes sanitárias, promovendo ainda o conforto térmico dos ocupantes.

Contudo, inicialmente com estas diretivas apenas se tinha em conta minimizar o consumo de energia primária, reduzindo assim emissões de CO₂ com edifícios autossustentáveis, não havendo uma preocupação ao nível da rentabilidade económica e retorno financeiro. Por forma a combater esta lacuna começaram a surgir diversos estudos, com métodos para determinar soluções com um custo ótimo (Boermans *et al.*, 2011). Porém estes estudos englobavam na sua maioria a região norte e centro da Europa, havendo uma escassez de investigação na zona mediterrânica, para climas secos e mesotérmicos, e para cálculos de rentabilidade económica

que têm por base as necessidades energéticas o clima é algo fundamental para a determinação do custo ótimo (Hamdy *et al.*, 2012).

Complementando então a diretiva europeia referente ao desempenho energéticos dos edifícios, surgiu um regulamento orientador que permite a cada estado membro calcular para a sua realidade os níveis ótimos de rentabilidade, tanto a um nível macroeconómico como financeiro, com o objetivo de definir os requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e suas componentes (Comissão Europeia, 2012). Devido à sua complexidade, este regulamento foi complementado com a publicação de um “guia” de orientação, o C115, para que houvesse um melhor entendimento da metodologia proposta (Comissão Europeia, 2012a).

As metodologias sugeridas pela comissão europeia, ao nível do desempenho energético, propõem o método sazonal (ISO 13790:2006). Este não tem em conta os hábitos de climatização da população, considerando que se estão a utilizar os sistemas de aquecimento/arrefecimento 24 h por dia, o que conduz a uma sobrestima das necessidades energéticas (Corgnati, *Et al.* 2013).

Em Portugal já foram feitas diversas investigações neste sentido, em particular para avaliar melhorias da eficiência energética tendo em vista o custo ótimo da envolvente opaca (Tadeu *et al.*, 2013), analisando em pormenor o impacto que a quantidade de isolamento, em maior ou menor quantidade, pode vir a ter na rentabilidade energética (Tadeu *et al.*, 2014).

Todavia a informação relativa às janelas ainda é escassa. A maioria dos estudos, nacionais e internacionais, não considera em detalhe a variabilidade das características e custos das janelas (Paris *et al.*, 2014).

Por este motivo, este trabalho centra-se nos edifícios residenciais em Portugal e mais especificamente no âmbito das janelas, considerando três regiões diferentes, Albufeira, Amares e Alfandega da Fé, retratando assim três climas diferentes.

As janelas é um tema pouco explorado: a maioria dos estudos ignoram-nas, analisando apenas as paredes como um todo e assumindo que as perdas/ganhos através do envidraçado são equivalentes. Torna-se bastante complexo conseguir analisar os ganhos que se obtêm através das janelas, sendo que há diversos fatores e componentes desta que entram na equação de análise. Ainda mais complexo se torna quando se consideram em conjunto janelas e envolvente, sendo que os ganhos e perdas irão ser completamente distintos entre si.

Os edifícios representados nesta dissertação correspondem a uma época construtiva que abrange os anos de 1961 a 1990, sendo que estes representam a maioria do edificado em

Portugal no setor residencial. Na Figura 1.1 verifica-se, com ajuda dos dados retirados do INE, que 45% dos edifícios em Portugal foram construídos entre os anos de 1961 e 1990 (INE, 2012).

Edificado Português por Época de Construção

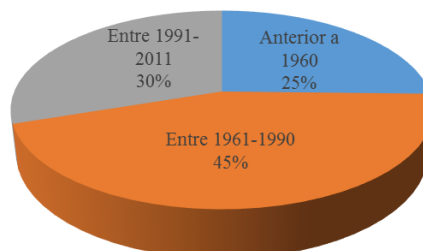


Figura 1.1 – Representação do edificado português por época de construção.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem por objetivo estudar as janelas ao nível do desempenho energético e perceber como este irá afetar o custo global, que abrange os custos associados a consumo de energia e climatização. O estudo inclui a variabilidade das necessidades energéticas de diferentes janelas em três climas distintos. Deste modo com este trabalho pretende-se alcançar as seguintes metas:

- Identificação do edifício de referência, bem como das medidas de melhoria a aplicar neste;
- Definição das janelas a investigar: tipo de caixilhos, vidros, características térmicas e custos associados;
- Determinação da metodologia de rentabilidade económica para uma análise financeira que inclui as seguintes fases:
 - Recolha de dados de mercado para aplicação no estudo;
 - Definição da metodologia de necessidades energéticas, bem como requisitos mínimos, apoiado no método sazonal, presente no REH;
 - Cálculo dos custos globais, precisando o nível de custo ótimo global para o ciclo de vida do edifício de referência, com base no valor atual líquido
- Em conclusão, análise comparativa dos resultados obtidos para os diferentes envidraçados em análise, demonstrando que ao investir no próprio edifício se poderá obter não só conforto térmico para os ocupantes como também retorno financeiro.

1.3 Estrutura do Documento

A presente dissertação encontram-se estruturada em cinco capítulos principais, com o acréscimo da listagem de referências bibliográficas.

No capítulo introdutório, “*Introdução*”, apresentou-se o tema deste trabalho, enquadrando-o no contexto europeu e de Portugal, através da legislação, estudos internacionais e nacionais. Por conseguinte identificou-se a motivação para a realização deste estudo, bem como os objetivos propostos para a dissertação.

No segundo capítulo, “*Caso de estudo*” irá ser descrito o edifício que serve de base ao trabalho bem como as alterações que lhe irão ser feitas. A informação para estes edifícios será recolhida a partir dos certificados da Agência para a Energia (ADENE), da base de dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), junto de fabricantes, entre outros.

No terceiro capítulo, “*Metodologia para determinação da rentabilidade económica*”, explicar-se-á ao nível do desempenho energético e da rentabilidade económica, as metodologias a serem aplicadas. No caso do desempenho energético utilizar-se-á o REH e para a rentabilidade económica o quadro metodológico comparativo presente no regulamento da comissão europeia (Comissão Europeia, 2012). E ainda uma breve descrição do levantamento dos dados necessários para este estudo.

No quarto capítulo, “*Análise de Resultados*”, analisar-se-á a influência da variação dos parâmetros térmicos das janelas, bem como a alteração de resultados em função da colocação de isolamento na habitação, e a utilização de diferentes sistemas de aquecimento/arrefecimento.

No quinto capítulo, “*Considerações Finais*”, revelam-se as conclusões do presente estudo tal como sugestões para trabalhos futuros.

Por último, no capítulo “*Referências Bibliográficas*”, expõem-se as referências citadas que encaminham a elaboração desta dissertação,

2 CASO DE ESTUDO

Neste capítulo vão ser introduzidos os edifícios unifamiliares que serão a base das simulações que se irão realizar, um de referência e outro em estudo.

Para se poder avaliar economicamente um edifício, inicialmente terá de se saber a energia de que este depende. O edifício a considerar é de referência, ou seja, é representativo de uma determinada tipologia e engloba a generalidade de edifícios desta época em Portugal.

Com o objetivo de dar início às simulações primeiro é necessário haver um termo comparativo, por forma a compreender as repercussões que iremos ter ao alterar diversas partes do edifício de referência, e para isso surge o edifício em estudo. Neste irão ser modificadas diversas partes do mesmo, colocando materiais ou substituindo-os por outros com um melhor comportamento e desempenho térmico, como o isolamento, o sistema de aquecimento e principalmente os envidraçados.

Nas subsecções seguintes será esclarecido como vão ser aplicados os dados dos edifícios aqui mencionados, tanto para o cálculo das necessidades energéticas, como para a determinação do ponto de custo ótimo.

2.1 Edifício de Referência

O edifício de referência é uma representação virtual das habitações portuguesas. Nesta dissertação utilizar-se-ão os dados das habitações construídas entre os anos de 1961 e 1990. As informações sobre este edificado foram reunidas e compiladas a partir de dados disponibilizados pela Agência para a Energia (ADENE), através dos certificados energéticos emitidos, e pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), com inquéritos concebidos para o consumidor.

No Quadro 2.1 apresenta-se o levantamento dimensional do edifício.

Levantamento Dimensional			
	Designação	Unid.	Valor
	Área Útil de Pavimento Média	m ²	100
	Pé-direito	m	2,7
Configuração	Tipologia	-	T3
	Numero de Pisos	-	1
	Numero de Frentes	-	4
Cobertura	Área	m ²	100,00
	Tipo	-	Com Desvão
	Coef. redução de perdas	-	1
Pavimento	Área contato com ENU (espaço não útil)	m ²	100,00
	Tipo	-	ENU
	Coef. redução de perdas	-	0,8
	Largura Média da Fachada	m	10,00
	Área Total de Fachadas	m ²	108,00
Envolvente Vertical	Área de Envolvente Exterior Opaca	m ²	93,00
	Área de Env. Exterior Opaca Sul	m ²	23,25
	Área de Env. Exterior Opaca Norte	m ²	23,25
	Área de Env. Exterior Opaca Este	m ²	23,25
	Área de Env. Exterior Opaca Oeste	m ²	23,25
	Área Envidraçado/Área de Pavimento	%	15%
	Área de Envidraçados	m ²	15,00
	Área de Envid. a Sul	m ²	3,75
	Área de Envid. a Norte	m ²	3,75
	Área de Envid. a Oeste	m ²	3,75
	Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	-	4
	Existem edificios situados em frente das fachadas?	-	Não
	Altura de referência do edifício (H _{edif})	m	6
	Altura de referência da fracção (H _{FA})	m	6

Quadro 2.1– Levantamento Dimensional do Edifício de Referência.

Pormenorizando mais um pouco e entrando agora na parte da envolvente comecemos por definir a envolvente exterior, que contém a zona das paredes, cobertura, pavimento envidraçados e pontes térmicas lineares e planas.

Os coeficientes de transmissão térmica, U , necessários à determinação da transferência de calor que existe através da envolvente (REH, 2013):

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \sum_j R_j + R_{Se}} \quad (1)$$

Em que:

R_j – Resistência térmica da camada j , [m².°C/W];

R_{Si} – Resistência térmica interior, [m².°C/W];

R_{Se} – Resistência térmica exterior, [m².°C/W];

As paredes exteriores e cobertura são de cor clara, no caso das paredes são simples compostas por alvenaria de tijolo furado de 22, apresentando um coeficiente de transmissão térmica de

1,30 W/m².°C. A cobertura por sua vez é inclinada, revestida com telha cerâmica, a laje que a suporta é aligeirada de blocos cerâmicos com espessura de 15 cm e o revestimento do teto de 2 cm em estuque, levando a um coeficiente de transmissão térmica de 2,80 W/m².°C.

Nos envidraçados temos uma caixilharia de madeira com permeabilidade ao ar alta e vidro simples, com fator solar de 0,85 e o coeficiente de transmissão térmica da janela de 4,1 W/m².°C. Como proteção solar tem portadas opacas interiores de cor clara. Com esta informação é possível calcular o fator solar global do vão envidraçado, g_T , (REH, 2013) que é 0,30. O fator de obstrução foi considerado de 20°, quer dizer que segundo o REH, apenas foi considerado o fator de obstrução do horizonte (F_h), e que o edifício está localizado fora de zonas urbanas. Com o objetivo de obter o fator de obstrução falta apenas verificar os valores de F_h para as diferentes orientações das janelas, uma vez que $F_o.F_f$ (sombreamento por elementos horizontais e verticais, respetivamente) se considera igual a 0,9 que corresponde à contabilização do sombreamento provocado pelo contorno do vão da janela. No Quadro 2.2 estão sintetizados os valores para o fator de obstrução.

Estação	Orientação	Obstrução do Horizonte (F_s)		
		F_h	$F_o.F_f$	F_s
Aquecimento	N	1	0,9	0,9
	S	0,9		0,81
	E/W	0,84		0,756
Arrefecimento	N/S/E/W	1		0,9

Quadro 2.2 – Valores para o cálculo do fator de obstrução.

Para finalizar a caracterização faltam as pontes térmicas. As pontes térmicas planas do edifício apresentam uma menor resistência térmica do que a zona corrente da envolvente. Encontram-se representadas em zonas tais como por exemplo, de pilares, vigas, entre outros. O REH prevê que para situações de ponte térmica plana, em edifícios existentes, se deve majorar o valor do coeficiente de transmissão térmico da parede em 35%, dando portanto um coeficiente de 2,69 W/m².°C. A ponte térmica linear, como o próprio nome indica tem a forma de uma linha, ou seja, representa as perdas que existem entre junções, por exemplo a “linha” que está representada na junção entre duas paredes. No edifício de referência apenas temos presentes quatro ligações que se encontram representadas no Quadro 2.3, e foram definidas usando os valores disponíveis no REH.

Ponte Térmica Linear (Ψ [W/m ² °C])		
Designação	Unid.	Valor
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	m W/m.°C	40,00 0,70
Fachada com cobertura	m W/m.°C	40,00 0,70
Duas paredes verticais em ângulo saliente	m W/m.°C	10,80 0,50
Fachada com caixilharia	m W/m.°C	50,00 0,25

Quadro 2.3 – Pontes térmicas lineares presentes no edifício de referência.

Na envolvente interior o pavimento é a única parte que carece de descrição. O revestimento deste é em ladrilho sobre 4 cm de betonilha. A laje é aligeirada com 15 cm de espessura e o revestimento do teto desta laje é em reboco com 2 cm de espessura, obtendo-se um coeficiente de transmissão térmica de 1,65 W/m².°C.

Por último, descrevem-se os sistemas. Considerou-se que para arrefecimento e aquecimento não existem sistemas instalados, utilizando por isso as eficiências por defeito presentes no regulamento. No caso do aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) está em uso um esquentador. A ventilação é natural, a fachada não tem aberturas de admissão de ar. O escoamento do ar é feito através de uma conduta de exaustão com 3 m de altura. No caso da taxa de renovação horária (R_{ph}), o regulamento prevê um mínimo para o inverno e para o verão. No inverno utiliza-se o mínimo permitido de 0,4 renovações por hora, enquanto no verão, também se assumiu o mínimo, igual a 0,6 renovações por hora (REH, 2013).

A classe térmica do edifício é média, e o edifício fica situado numa zona rural ou na periferia de uma zona urbana, conferindo-lhe uma rugosidade II. Este edifício está ainda inserido na categoria de regiões B em Portugal.

2.2 Edifício em Estudo

Definido o edifício base vai-se passar, neste ponto, a explicar as alterações que lhe vão ser feitas, ou seja, as medidas de melhoria. Estas vão ser centradas principalmente nos envidraçados, mas não só, uma vez que se torna imperativo perceber como é que estes se vão comportar, ao nível energético e económico, quando se alteram outras partes do edifício, como colocando isolamento, ou instalando sistemas de aquecimento, entre outras.

Embora Portugal seja um país pequeno o clima das regiões varia bastante chegando a um mínimo de 604 graus dias e a um máximo de 2015, e estas diferenças vão ter influência nas

necessidades energética do edifício, portanto decidiu-se estudar três regiões diferentes com climas distintos. Baseado no zonamento climático presente no REH, como já referido vai-se trabalhar com os municípios de Albufeira, Amares e Alfândega da fé que através da Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, se encontram representadas nas regiões do Algarve, Cávado e Alto Trás-os-Montes, respetivamente, no Quadro 2.4 estão as especificações de cada região e para as diferentes estações de aquecimento/arrefecimento.

Parâmetros Climáticos							
Região	Altitude de Referência (m)	Graus dias (°C) - Zona Clim. Inv.	$\theta_{ext,v}$ (°C)- Zona Clim. Ver.	$\theta_{ext,i}$ (°C)	Meses de aquecimento	Meses de arrefecimento	G_{sul}
Algarve	145	987 - I1	23,1 - V3	14,4	4,8		155
Cávado	171	1491 - I2	20,7 - V1	9	6,8	4	125
Alto Trás-os-Montes	680	2015 - I3	21,5 - V2	5,5	7,3		125

Quadro 2.4 – Parâmetro Climáticos.

Sendo que:

$\theta_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [°C];

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média da estação de arrefecimento [°C];

G_{Sul} – Energia solar média durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/m².mês].

O isolamento térmico é um dos materiais mais utilizados quando falamos em reabilitação, sendo que promove um maior conforto térmico no interior do edifício e reduzindo as perdas de calor na estação de aquecimento e os ganhos na estação de arrefecimento. Contudo em Portugal apenas 21,1% dos alojamentos possuem isolamento nas paredes exteriores e na cobertura somente 17% da população utiliza isolamento (INE *et al.*, 2010).

Para perceber a importância que o isolamento térmico toma num edifício primeiro torna-se necessário compreender o conceito de inércia térmica. O edifício de referência tem uma inércia térmica média, e esta, explicando de uma forma genérica, representa a capacidade que a envolvente do edifício tem de armazenar calor.

Então no edifício em estudo irá ser utilizado isolamento térmico, na cobertura, nas paredes, e nos dois em simultâneo, por forma a perceber se realmente se consegue diminuir os custos para aquecimento e arrefecimento do ambiente interior dos edifícios e ainda onde se deve colocar o isolamento para poder maximizar esta diminuição de custos.

A partir de dados recolhidos em dissertações e artigos foi possível escolher o material ótimo para o isolamento, por forma a se obter o melhor desempenho económico. O poliestireno expandido moldado, EPS, é o que apresenta custos mais baixos (Gonçalves, 2013 e Tadeu *et*

al., 2014). No pavimento não será colocado isolamento, uma vez que os ganhos obtidos não compensariam os custos acrescidos da sua aplicação (Goncalves, 2013). Na cobertura será utilizada uma espessura de 80 mm de isolamento, conferindo um coeficiente de transmissão térmica a esta de $0,388 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Na parede também será aplicada uma espessura de 80 mm, ficando então a mesma com um U de $0,334 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. O EPS neste estudo tem uma condutibilidade térmica de $0,036 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ e um custo de $22,12\text{€/m}^2$, que inclui a sua aplicação. O isolamento nas paredes é colocado pelo interior, e na cobertura sobre a laje.

A fatura energética de uma habitação tende a crescer devido ao aumento do aquecimento/arrefecimento, associado à utilização de sistemas, porque a população é cada vez mais exigente relativamente aos seus níveis de conforto.

Contudo em Portugal apenas 0,5% da energia despendida no consumo doméstico é utilizada para arrefecimento (INE *et al.*, 2010).

Optou-se, neste estudo, utilizar um sistema com eficiência energética (EER) de 2,8.

No caso do Inverno a percentagem de utilização de sistemas de aquecimento no consumo doméstico é muito maior, chegando aos 21,5% (INE *et al.*, 2010). A eficiência do sistema que se utiliza nesta estação vai contribuir em grande parte para o maior ou menor valor na fatura energética do edifício, sendo que para um sistema eficiente manter as condições de calor estáveis, requer um consumo de energia muito menor do que um sistema de eficiência baixa. Por conseguinte decidiu-se que esta análise deveria ser realizada para dois tipos de sistema, um eficiente e outro pouco eficiente. O sistema eficiente será uma unidade exterior de ar condicionado com um coeficiente de desempenho (COP) de 4,8, é um sistema ar-ar multi-split, potência calorífica nominal de 8,6 kW, tem um custo de 2790 €/un. O sistema de baixa eficiência é um acumulador noturno de calor estático (emissor elétrico), de 1200 W de potência e 9,6 kWh de energia de acumulação em 8 horas, tem um COP de 1, vão ser necessários 3 aparelhos para que se consiga ter uma temperatura constante em toda a habitação, levando a um custo de 246,12€/un. Para ambos os sistemas o combustível utilizado é a eletricidade.

Relativamente às intervenções previstas aplicar no edifício de referência, falta apresentar os envidraçados, a componente a que se deu mais relevância neste trabalho. Tendo em a diversidade das janelas que se podem encontrar no mercado, optou-se por seleccionar três tipos: de abrir, basculante e de correr (Figura 2.1). As janelas de correr serão sempre de duas folhas, enquanto que as de abrir e basculante terão a particularidade de serem estudadas não só com duas folhas mas também com uma folha unicamente.

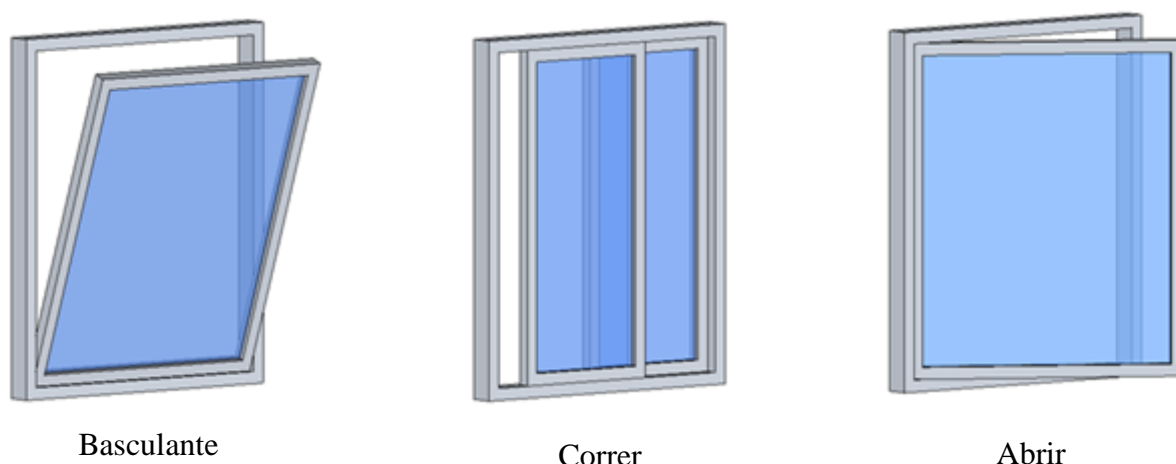
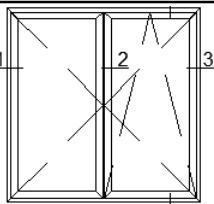
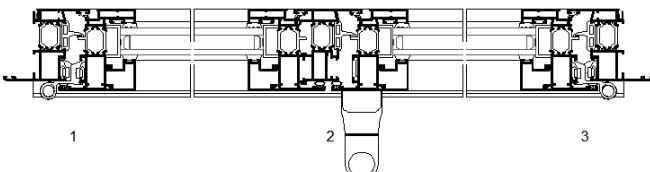
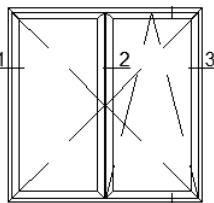
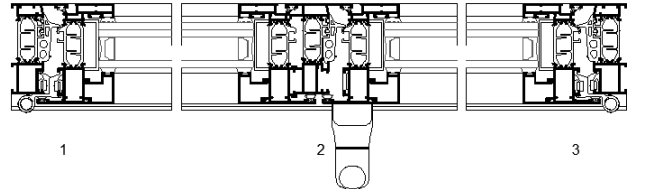
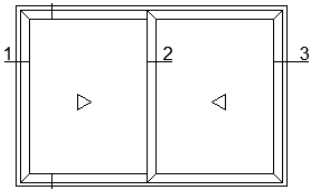
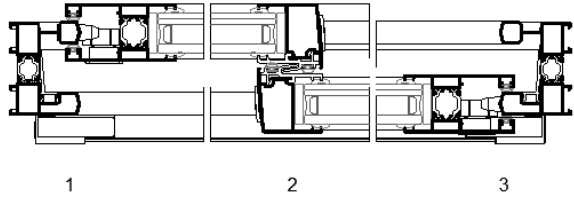


Figura 2.1 – Representação do tipo de abertura das janelas em estudo.

Estima-se que cerca de 25 a 30% perdas de calor ocorrem pelo envidraçado e dois dos fatores que maior contribuição têm são o vidro e o caixilho (Isolani, 2008). Neste edifício vão ser consideradas 8 janelas com as dimensões de 1,4 m de altura e 1,3 m de largura, perfazendo uma área individual de 1,82 m².

As janelas vão estar orientadas a Sul, Norte, Este e Oeste, divididas de igual forma pelas quatro fachadas do edifício. A orientação do edifício é muito importante principalmente no caso dos envidraçados, sendo que orientando a parte envidraçada a Sul alcançam-se maiores ganhos solares. No verão, através de palas ou dispositivos de oclusão sombreamento, deve assegurar-se o sombreamento. No entanto, neste edifício optou-se por continuar com os mesmos valores do fator de sombreamento que estão no edifício de referência.

A estatística dos produtos mais utilizados em Portugal revela que a caixilharia que tem uma maior presença no edificado novo é o alumínio com corte térmico (LNEC, 2011), logo neste trabalho avalia-se apenas este tipo de caixilharia. Vão ser colocadas nas simulações três tipos de caixilhariarias com corte térmico, de formas diferentes entre si e conseqüentemente coeficientes de transmissão térmica também. O Sistema AB1 e o AB2 representam um modelo de batente com câmara europeia, com rotura térmica obtida por inserção de varetas de poliamida. No caso do sistema AB2 este isolante apenas tem 24 mm no caso do AB2 tem 39 mm. O C é um sistema diferente dos anteriores, sendo que o sistema de abertura é de correr, mas apresenta também um sistema de rotura térmica. Todos estes sistemas estão destacados no Quadro 2.5.

Caixilhos			
Sistema	Uf (W/m ² .°C)	Tipo de Janela	Forma
AB1	2,9		
AB2	2,1		
C	4,0		

Quadro 2.5 – Representação esquemática e desenhos de pormenor dos três caixilhos em análise.

Quando falamos em vidros, o mercado ainda é mais vasto, existindo desde vidros simples aos duplos e triplos, incolores e com cor, com película, com gases nobres entre outros. Há um conjunto de soluções para melhorar o desempenho térmico do vidro. As estatísticas indicam que em novas construções o vidro mais utilizado é o duplo incolor, representando uma percentagem de 41% (LNEC, 2011). Como já se encontra, no edifício de referência, um vidro simples, as melhorias contemplam a colocação de vidros duplos. No Quadro 2.6 encontram-se os vidros que são alvo de estudo.

Vidros			
Composição	Ug (W/m ² .°C)	Factor Solar (g)	Preço/m ²
6 Planitherm Ultra N /16/4	1,4	0,59	46,37
6 Planitherm Ultra N /16 argon/4	1,1	0,58	59,87
6 Planitherm ONE /16/4	1,3	0,48	55,44
6 Planitherm ONE /16 argon/4	1,0	0,47	68,94
6 Cool-Lite SKN 154/16/4	1,3	0,31	92,21
6 Cool-Lite SKN 154/16 Argon/4	1,0	0,30	105,71
6 Cool-Lite SKN 165/16/4	1,3	0,37	92,21
6 Cool-Lite SKN 165/16 Argon/4	1,0	0,36	105,71
6 Cool-Lite SKN 174/16/4	1,4	0,44	92,21
6 Cool-Lite SKN 174/16 Argon/4	1,1	0,44	105,71

Quadro 2.6 – Vidros em análise no edifício de estudo.

Antes de começar a caracterizar os vidros da amostra (Quadro 2.6), primeiro torna-se necessário clarificar alguns conceitos, como o fator solar e o fator de transmissão luminosa. O primeiro revela a quantidade de energia solar que é transmitida e absorvida através do vidro para o interior do edifício enquanto o segundo traduz a energia luminosa transmitida pelo vidro, tendo em conta a luz solar incidente na janela.

Os vidros Planitherm Ultra N e One são composto por uma capa baixo emissiva diferindo entre eles apenas composições da capa (Figura 2.2). Ambas as capas são inseridas no vidro interior, na face que se encontra dentro do caixilho, representada como vidro 2 na Figura 2.2. Tem como função refletir a energia por radiação gerada no interior, mas continuando a permitir a entrada de radiação pelo exterior.

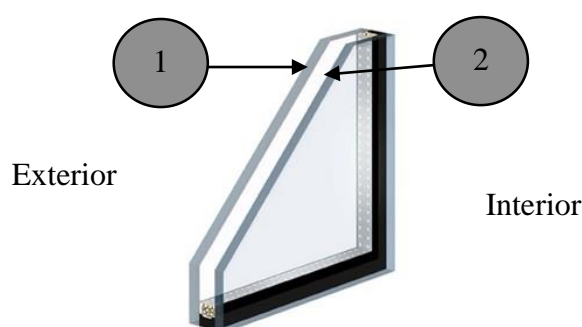


Figura 2.2 – Identificação de vidros interiores e exteriores para colocação de capas baixo emissivas.

Os vidros Cool-Lite SKN por outro lado têm uma capa de controlo solar. Esta é colocada na face interior do vidro 1 (Figura 2.2), que representa o vidro exterior. Tem como funcionalidade refletir a energia solar proveniente do exterior, daí conter a gama de fatores solares mais baixos (Quadro 2.6).

Tendo já estabelecido os vidros e caixilhos, agora há que os conciliar por forma a obter o preço final de cada combinação de janela e o coeficiente de transmissão térmica da janela (U_w) (2). Este último, foi calculado tendo em conta a norma ISO 10077-1:2006(E). O valor de ψ_g , devido à complexidade de cálculo optou-se por utilizar o valor proposto na norma ISO 10077-1:2006(E).

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \phi_g}{\sum A_f + \sum A_g} \quad (2)$$

Sendo que:

A_g – Área de vidro, [m²];

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro, [W/m².°C];

A_f – Área de caixilho, [m²];

U_f – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho, [W/m².°C];

L_g – Comprimento do perímetro total do vidro, [m];

ψ_g – Ponte térmica linear da ligação entre vidro, espaçador e caixilho, [W/m.°C].

No sistema AB1 e AB2 estão incluídas as janelas de abrir e basculante uma vez que têm as mesmas áreas quer de caixilho quer de vidro e ainda as mesmas características térmicas. No sistema C apenas estão incluídas as janelas de correr (Quadro 2.7).

Nº Folhas	Janelas		L_g (m)	ψ_g (W/m°C)	A_f (m ²)	A_g (m ²)	A_T (m ²)
		Sistema					
1		AB1	4,7136	0,06	0,4339	1,3861	1,82
		AB2	4,7136	0,06	0,4339	1,3861	1,82
2		AB1	6,7042	0,06	0,5840	1,2360	1,82
		AB2	6,7042	0,06	0,5840	1,2360	1,82
		C	6,6140	0,06	0,5843	1,2357	1,82

Quadro 2.7 – Parâmetros de cálculo das janelas combinadas

No total obtiveram-se 50 combinações de janelas, dando cinco combinações de caixilhos (Quadro 2.7) para 10 vidros (Quadro 2.6). Juntaram-se estas combinações em 10 séries de janelas, para um melhor entendimento futuro das simulações que vão ser efetuadas. Estas 10 séries foram subdivididas em dois grupos, um com fator solar alto (g_1), que varia dos 0,47 aos 0,59, e outra com fator solar baixo (g_2), que contém os valores de 0,3 até 0,44. A gama de valores destes dois grupos encontra-se presente no Quadro 2.6. Em cada grupo, os mesmos vidros vão ser incluídos em cinco séries distintas, entre as quais se irá variar o caixilho. No Quadro 2.8 estão apresentadas as 10 séries para um melhor entendimento do que foi acima explicado. A série de nome AB representa as janelas abrir e basculante (oscilobatentes) e a C as de correr.

Séries		
Fator solar	Nº Vidros por série	Nome
		C g1
g ₁	4	AB1 g1 - 1 Folha
		AB1 g1 - 2 Folhas
		AB2 g1 - 1 Folha
		AB2 g1 - 2 Folhas
		C g2
g ₂	6	AB1 g2 - 1 Folha
		AB1 g2 - 2 Folhas
		AB2 g2 - 1 Folha
		AB2 g2 - 2 Folhas

Quadro 2.8 – Identificação das séries de janelas a simular.

O custo total de cada janela será a soma do custo da caixilharia, o custo de aplicação da janela (tendo já em conta que é reabilitação) e o custo do vidro. O custo do vidro (Quadro 2.6) será multiplicado pela área de vidro presente no Quadro 2.7 para cada janela respetivamente. No Quadro 2.9 estão os custos de aplicação de cada janela a ser simulada bem como os custos de manutenção.

Designação		Custos	
Nº de Folhas	Caixilho	Caixilharia	Aplicação
2	C	247	45
1	AB2	273,3	45
	AB1	300,7	45
2	AB2	347	70
	AB1	381,7	70

Quadro 2.9 – Custos (€) de Caixilhos e da sua aplicação.

3 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA RENTABILIDADE ECONÓMICA

3.1 Metodologia de levantamento de dados

Foi necessário efetuar uma pesquisa alargada para conseguir reunir todos os dados necessários à avaliação económica das soluções, e as suas necessidades energéticas (pré-dimensionamento) e para pôr em marcha os cálculos da rentabilidade económica.

Inicialmente, o primeiro objetivo foi obter toda a informação possível sobre janelas, nomeadamente todo o tipo de soluções para a envolvente quer ao nível do caixilho quer ao nível do vidro. Para tal recorreu-se a uma pesquisa de mercado, em superfícies comerciais da especialidade, e empresas Nacionais que têm na sua linha de produção estes elementos. No isolamento como já se sabia à partida com qual se iria trabalhar, por ter sido identificado previamente como ótimo, apenas se recolheram os dados de dissertações elaboradas neste tema (Gonçalves, 2013 e Ribeiro, 2013) que se conjugou com estudos recentes (Tadeu *et al.*, 2014). Após escolhidos os sistemas de aquecimento a utilizar, foram utilizados os dados dos produtos disponíveis no mercado.

Ao nível da rentabilidade económica foi necessário recolher informações sobre os custos da energia, impostos e taxas de desconto. Os fatores de conversão para energia primária e os fatores padrão de emissões de CO₂ foram obtidos através do REH.

As simulações efetuadas correspondem a uma análise a 30 anos, logo é necessário saber a evolução dos custos de energia e com emissões de CO₂. Neste caso, utilizou-se o documento “EU energy trends to 2030” (European Commission, 2010). No estabelecimento da análise do ciclo de vida da envolvente, sistemas entre outros utilizou-se a norma ISO 15459:2007.

3.2 Metodologia para avaliação do desempenho energético (REH)

A metodologia utilizada para o desempenho energético é aquela pela qual se rege a regulamentação portuguesa, ou seja, o regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação (REH).

A base deste regulamento para classificar energeticamente um edifício é a comparação do edifício em estudo com um edifício geometricamente idêntico mas utilizando parâmetros de referência para as suas componentes e sistemas (Figura 3.1). O edifício em estudo encontra-se descrito no capítulo anterior. O método de cálculo utilizado é o sazonal (ISO 13790:2006), trabalhando com duas estações, uma de aquecimento (Inverno) e outra de arrefecimento (Verão). No REH os meses da estação de arrefecimento são apenas 4 independentemente da região do país, para os meses de aquecimento já há dependência na zona climática. Os graus dias definem a porção de meses em que é necessário aquecer uma habitação, retratando o número de dias ao ano, para cada região NUTS III, em que a temperatura se encontra abaixo dos 18°C.

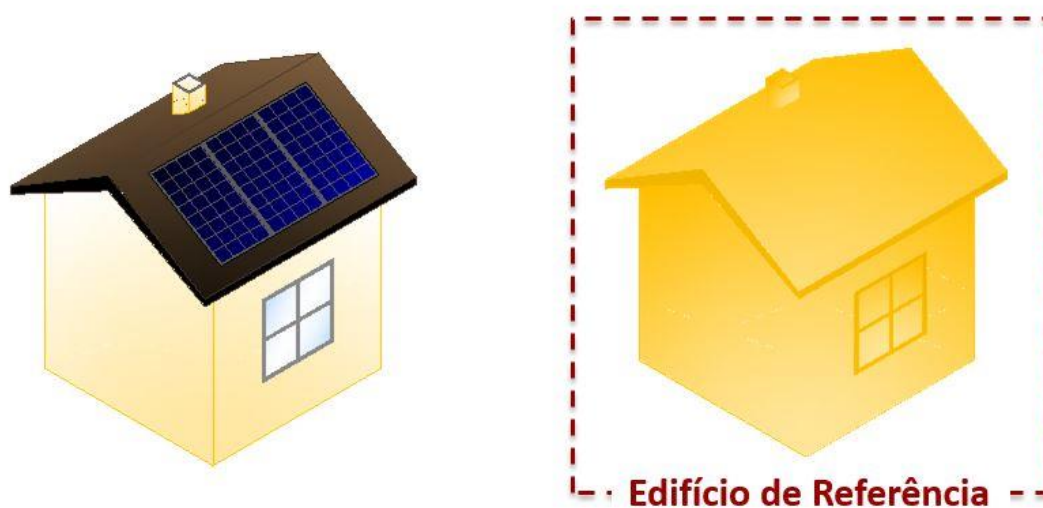


Figura 3.1 – Ilustração de um edifício de estudo e do edifício de referência (Adaptado de IteCons@ 2014)

Há dois aspetos fundamentais, no REH, para avaliar energeticamente o desempenho de um edifício, o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas técnicos.

No comportamento térmico pretende-se garantir a qualidade térmica da envolvente, a ventilação adequada dos espaços. Torna-se necessário calcular as perdas e ganhos de calor, nos espaços aquecidos ou arrefecidos, assumindo sempre uma temperatura no interior da habitação uniforme (ISO 13789:2007) e ainda se impõem limites e referências ao nível das necessidades nominais de energia útil.

Na eficiência dos sistemas técnicos, o regulamento tem por objetivo que sejam cumpridos os requisitos de qualidade, eficiência e funcionamento de sistemas. No caso em estudo serão utilizados dois sistemas técnicos para aquecimento, um de baixa eficiência (emissor elétrico) e

um de alta eficiência (ar-condicionado) e para o arrefecimento considerou-se um sistema por defeito adotado pelo regulamento, como já explicado no caso de estudo.

No caso das águas quentes sanitárias faz-se uma estimativa do consumo médio diário de referência, que tem em conta o rendimento dos sistemas técnicos em uso. Contudo este valor na parcela de cálculo das necessidades de energia primária é sempre igual e não faz parte do objetivo do trabalho. Por este motivo, neste estudo decidiu-se eliminar esta parcela, correspondente à última parcela da expressão (4).

A metodologia de cálculo para as necessidades de energia primária compara o comportamento do edifício em estudo com os parâmetros de referência, ou seja, as necessidades de energia primária do edifício em estudo têm que ser sempre inferiores às do edifício de referência (3), no caso dos edifícios novos.

$$N_{tc} < N_t \text{ e } N_{ic} < N_i \text{ e } N_{vc} < N_v \quad (3)$$

Em que:

N_{tc} – Necessidade energética total de energia primária do edifício de estudo, [kWh/(m².a)];

N_t – Valor máximo das necessidade energética total de energia primária do edifício de referência, [kWh_{EP}/(m².a)];

N_{ic} – Valor de necessidade energética para aquecimento de energia útil do edifício de estudo, [kWh/(m².a)];

N_i – Valor máximo da necessidade energética para aquecimento de energia útil do edifício de referência, [kWh/(m².a)];

N_{vc} – Valor da necessidade energética para arrefecimento de energia útil do edifício de estudo, [kWh/(m².a)];

N_v – Valor máximo da necessidade energética para arrefecimento de energia útil do edifício de referência, [kWh_{EP}/(m².a)].

Contudo como o edifício de referência se encontra na faixa dos edifícios entre 1961 e 1990, os limites para as necessidades energéticas são alargados, ou seja, $N_{ic} < 1,25 N_i$; $N_{vc} < 1,25 N_v$; $N_{tc} < 1,5 N_t$.

Para se poder calcular então o valor máximo das necessidades nominais de energia primária (N_t) recorreu-se à seguinte expressão (4):

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (4)$$

Em que:

Q_a – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k .

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema de referência k .

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema de referência k .

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia de preparação de AQS supridas pelo sistema de referência k .

$\eta_{ref,k}$ – Valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS.

j – Fonte de energia

A_p – Área interior útil de pavimento, [m²];

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão para energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado, em quilowatt – hora de energia primária por kWh (kWh_{EP}/kWh)

Para o cálculo das necessidades energéticas totais do edifício em estudo a expressão é igual à (3), difere apenas nos valores utilizados, que em vez de serem os de referência são os calculados para o edifício em estudo, com as alterações efetuadas.

A contribuição dos envidraçados entra nas necessidades energéticas para arrefecimento e para o verão na forma de transmissão solar, através do coeficiente de transmissão térmica (U_w) e na forma de radiação com o fator solar (g).

A transmissão térmica através da janela é quantificada nas necessidades quer de verão quer de inverno. No inverno há perda de calor através do envidraçado, e esta perda de calor reflete-se num aumento das necessidades energéticas. No verão é precisamente o contrário, os ganhos de calor por transferência e radiação que passa através do envidraçado do exterior para o interior, é que conduzem a maiores necessidades de arrefecimento para manter o ambiente com uma temperatura constante.

Refira-se que no inverno, é útil maximizar os ganhos solares, logo os ganhos que se vão obter através do envidraçado são subtraídos às necessidades de aquecimento do ambiente (5), e para que sejam obtidos na totalidade os dispositivos que estejam aplicados junto ao envidraçado (cortinas, estores, etc.) são considerados como permanentemente abertos. No Verão, o objetivo será minimizar os ganhos solares, logo os dispositivos existentes consideram-se parcialmente ativos, e o ganho por radiação solar agrava as necessidades de arrefecimento (6).

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p \quad (5)$$

$$N_{vc} = (1 - \eta_v)Q_{g,v}/A_p \quad (6)$$

Em que:

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia para aquecimento do edifício, [kWh/m².a];

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia para arrefecimento do edifício, [kWh/m².a];

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];

$Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh];

η_v – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh];

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

O método sazonal tem a particularidade de assumir que as necessidades energéticas são calculadas para garantir condições de conforto em permanência, isto significa que teoricamente, os sistemas de aquecimento e arrefecimento encontram-se ativos 24 h por dia, nos meses de aquecimento/arrefecimento respetivamente. Ao fazer o comparativo com os consumos efetivos da população portuguesa torna-se claro que este valor é sobredimensionado e que o número de horas que os sistemas se encontram em funcionamento é muito inferior. Então assumiu-se que as necessidades energéticas efetivas seriam uma fração de 20% das necessidades nominais, adotando este valor com base no estudo português (Tadeu, *et al.*, 2014), conduzindo a valores aproximados dos consumos energéticos a este nível, em Portugal.

O cálculo das necessidades energéticas foi conseguido através da folha de cálculo do IteCons (Itecons, 2014), sendo que no final foi feita a conversão para os 20% de necessidades energéticas. A partir desta folha de cálculo tiram-se nas necessidades energéticas do edifício em estudo, bem como os requisitos mínimos de desempenho energético, quer para o verão quer para o inverno. Tendo em conta que neste estudo a análise que vai ser feita inclui as duas estações atrás mencionadas.

3.3 Metodologia de determinação dos custos globais

A metodologia inserida neste subcapítulo tem por objetivo a determinação dos níveis ótimos de rentabilidade, comparando medidas de melhoria de eficiência energética, previstas para o edifício em estudo, e associando-lhes um custo. A metodologia base segue as recomendações da diretiva europeia e do regulamento delegado que a complementa (Comissão Europeia, 2010a e Comissão Europeia, 2012a).

Num conjunto de pacotes de medidas de melhoria de eficiência energética, o nível ótimo de rentabilidade representa o ponto, ou o conjunto de pontos, para os quais o custo global é o mais

baixo. Este é representado através de um gráfico que contém no eixo dos y os custos globais, em €/m², e no eixo do x o consumo de energia primária em, kWh_{EP}/m².a. O desempenho energético dos pacotes de medidas efetuados no edifício de referência é o que leva a este ponto (Figura 3.2).

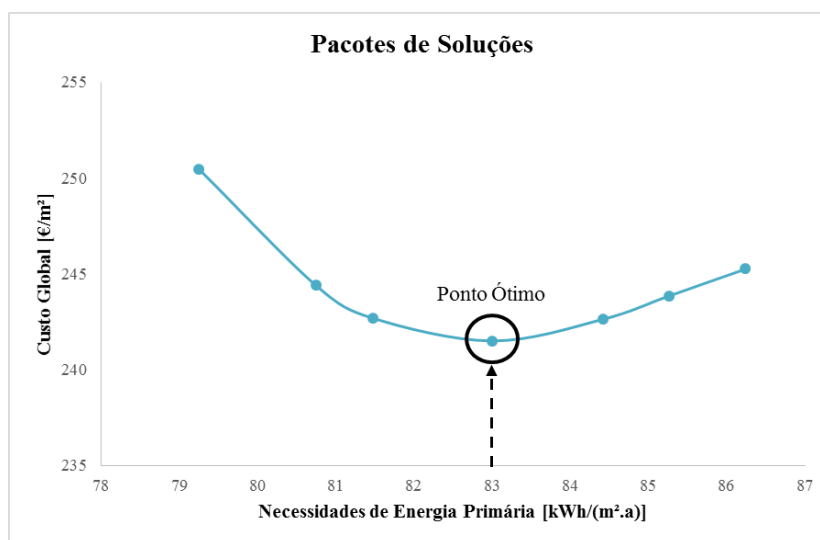


Figura 3.2 – Representação do ponto ótimo de um conjunto de pacote de soluções.

O nível ótimo de rentabilidade só será credível se estiver dentro dos requisitos mínimos das necessidades energéticas, que vem do cálculo das necessidades energéticas do subcapítulo anterior.

A rentabilidade ótima também vai depender do tipo de perspetiva que se está a abordar, se é macroeconómica que tem em conta benefícios indiretos, abrangendo uma perspetiva mais ampla do bem da população, ou se é financeira que diz respeito a investimentos individuais, que tem em conta o benefício do investidor. Nesta dissertação vai-se trabalhar com a perspetiva financeira, sendo que é uma abordagem que dá uma maior proximidade do panorama que se pode obter com o investimento de cada individuo. A este nível o regulamento exige que se leve em consideração o valor pago pelo consumidor final, incluindo impostos. Porém, ao contrário da perspetiva macroeconómica, exclui os custos de redução de gases com efeito de estufa, sendo que não se torna necessário ter os fatores de emissão. No âmbito deste estudo também se excluíram subsídios a investimentos, porque é recomendado que não se considerem.

Com uma análise de rentabilidade económica, o retorno financeiro é também uma prioridade. A análise financeira por um lado vai ter um retorno financeiro simples mais baixo que a macroeconómica, visto que o preço da energia na financeira é mais elevado devido aos impostos que são acrescentados nesta perspetiva e não na macroeconómica.

A base do método é a do valor atual líquido (VAL). O custo global representa a soma de todas as quantias associadas às medidas de melhoria, desde os custos de investimento iniciais, exploração, substituição e eliminação (Figura 3.3). Para isto torna-se necessário fazer uma análise do ciclo de vida do edifício e suas componentes. No caso das janelas a substituição destas admite-se que seja efetuada de 40 em 40 anos. Apesar de não representar a globalidade da realidade portuguesa, é aquilo que o regulamento assume.

Os custos globais reúnem os custos de todas as componentes em termos de investimento inicial, substituição e manutenção. Os custos de energia são baseados no consumo, usando-se taxas e previsões de preços. As previsões de preços forem conseguidas através da base de dados do Eurostat (Eurostat@, 2014), que estão de acordo com a evolução que a união europeia prevê.

Este regulamento também permite, para o tipo de edifício de referência com o qual se está a trabalhar, que se excluam custos que são idênticos para todas as medidas de melhoria, mesmo que possam ter influência no desempenho energético do edifício. Isto vai de encontro ao que foi dito relativamente às AQS que não vão ser incluídas nas simulações, sendo que o seu valor iria ser sempre o mesmo e não contribuiria para a análise que vai ser feita.

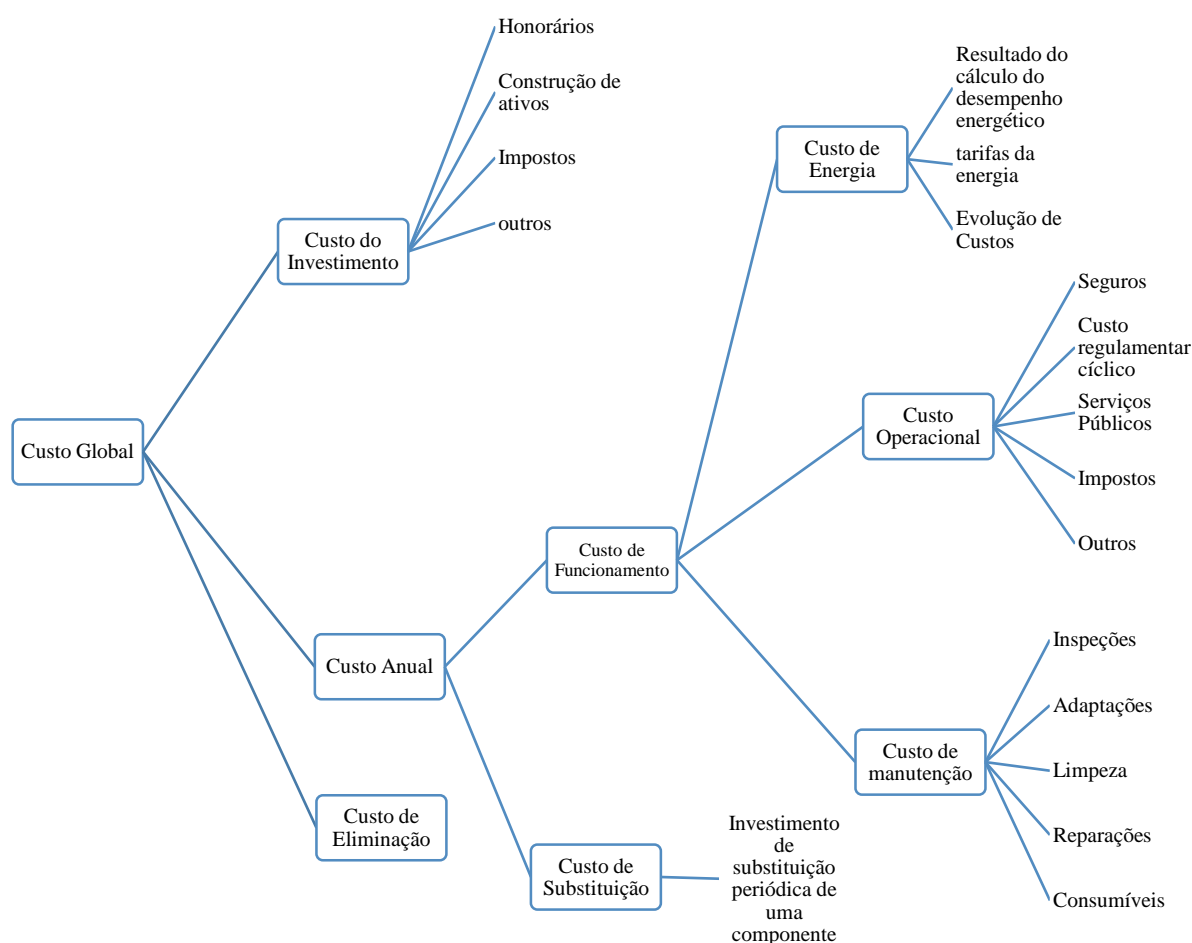


Figura 3.3 – Categorização dos custos de acordo com o quadro metodológico (adaptado de comissão europeia, 2012a).

O cálculo dos custos globais (ISO 15459:2007) tem que ser definido num período de tempo, para que se possa obter as projeções do valor atual líquido, dos custos energéticos e das taxas de juro. Nesta análise o ciclo de vida é de 30 anos, sendo que isto não representa o ciclo de vida do edifício mas sim o do investimento realizado.

O ciclo de vida do edifício ou de componentes do edifício pode ser superior ou inferior ao período de cálculo. Tomando como exemplo os envidraçados que têm um período de vida de 40 anos e o fim do período de cálculo é de 30 anos. Considerando a curva de declínio dos custos do envidraçado ao longo dos 40 anos, transporta-se o valor residual do envidraçado aos 30 anos, que corresponde a 25% do custo de investimento inicial no envidraçado, para o custo do investimento inicial que representa o valor residual descontado, como se encontra representado na Figura 3.4.

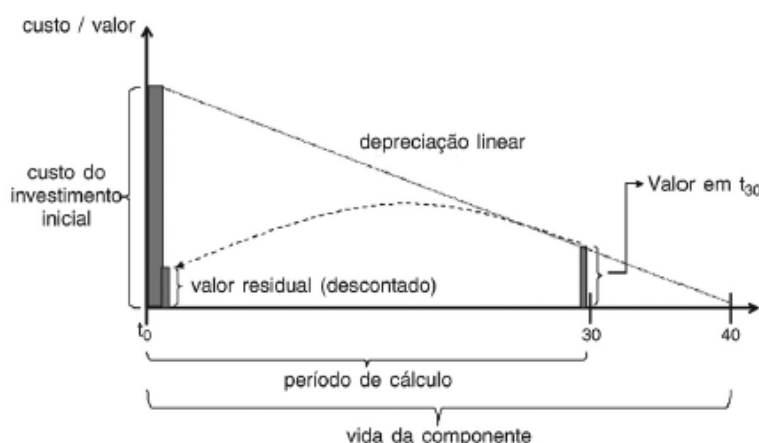


Figura 3.4 – Representação do cálculo de uma componente de um edifício com um tempo de vida superior ao período de cálculo (adaptado de comissão europeia, 2012a).

Na perspetiva financeira, o cálculo do custo global, irá depender dos preços pagos pelo cliente, incluindo imposto aplicáveis, como já foi referido. Os custos para os edifícios e as suas componentes é a soma dos custos de vários tipos (Figura 3.3), aos quais devem ser aplicados a taxa de desconto.

A taxa de desconto vai servir para trazer a valor presente os custos previstos no período em análise. Esta taxa representa a taxa de juros cobrada pelos bancos centrais em empréstimos, e como é expressa em termos reais não tem inflação.

Na análise financeira a taxa de desconto pode atingir valores na ordem dos 6%. Para que esta taxa (r) possa ser aplicável no cálculo dos custos globais torna-se necessário primeiro calcular o fator de desconto para o ano i :

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + r/100} \right)^p \quad (7)$$

Em que:

p – número de anos desde o período inicial

r – taxa de desconto real

Sendo então os custos globais na análise financeira representados pela seguinte fórmula:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad (8)$$

Em que:

τ – Período de cálculo

$C_g(\tau)$ – Custo global (relativo ao ano inicial τ_0) no período de cálculo

C_I – Custos de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j

$C_{a,i}(j)$ – Custo anual no ano i para a medida ou conjunto de medidas j

$V_{f,\tau}(j)$ – Valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo (em relação ao ano inicial τ_0).

$R_d(i)$ – Fator de desconto para o ano i , com base na taxa de desconto r a calcular pela fórmula (7)

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A preocupação com esta análise de dados é compreender como vai variar as necessidades energéticas e a rentabilidade económica das janelas em estudo colocando-as em diversos cenários. Tendo isto em vista, é importante mencionar que a análise irá incidir sobretudo nas necessidades energéticas a 20%, como já referido anteriormente, mas será confrontada com as necessidades energéticas a 100%.

Para entender como a variação de clima vai interferir nas necessidades energéticas e rentabilidade económica das janelas estudaram-se três climas diferentes, 1000, 1500 e 2000 graus-dias. Estes últimos vão ter interferência direta no consumo que irá ser feito pelos sistemas de aquecimento/arrefecimento e como tal este fator não foi tomado de ânimo leve, sendo que os sistemas foram bem definidos para o aquecimento, onde foi utilizado um sistema eficiente (ar condicionado) e um pouco eficiente (emissor elétrico). No caso do arrefecimento como é uma alternativa quase inexistente em Portugal, ou muito pouco utilizada, foi apenas colocado um sistema por defeito considerado no REH.

Como se estão a avaliar janelas não se poderia deixar de considerar os dois parâmetros mais importantes que as caracterizam, o fator solar e o coeficiente de transmissão térmica. Sendo que se irá tentar perceber qual o grau de participação de cada um destes fatores no desempenho da janela, tanto ao nível térmico como em termos de custos.

Tendo sempre em vista que tudo isto tem por base um estudo da rentabilidade económica, também é uma preocupação perceber os ganhos versus perdas entre a janela ótima, e o impacto sob o ponto de vista económico, e a janela com o melhor desempenho térmico.

Para finalizar terá que haver sempre uma comparação entre o custo associado a cada série de janelas e o impacto que isso implica na escolha da janela ótima versus a janela com melhor desempenho térmico.

Posto tudo isto não se pode deixar de ter em vista que os resultados que irão ser obtidos têm por base determinados pressupostos, como a área das janelas que estão a ser utilizadas (1,3x1,4 m), as dimensões do edifício de referência em causa, os preços de energia atuais e a previsão de evolução, e ainda que a análise de rentabilidade económica é feita para apenas 30 anos numa análise financeira, entre muitos outros.

Começando então primeiro por examinar as necessidades energéticas a 20% vamos obter inicialmente três tipos de gráficos globais para os diferentes graus-dias acima referidos (1000,

1500 e 2000). Em cada um destes gráficos vão existir duas secções (Figura 4.1), onde uma secção representa os cálculos com um sistema eficiente (ar condicionado) e a outra um sistema com uma eficiência significativamente menor (emissor elétrico), para aquecimento. Ainda na Figura 4.1 também é possível observar os limites regulamentares tanto para o ar condicionado como para o emissor elétrico.

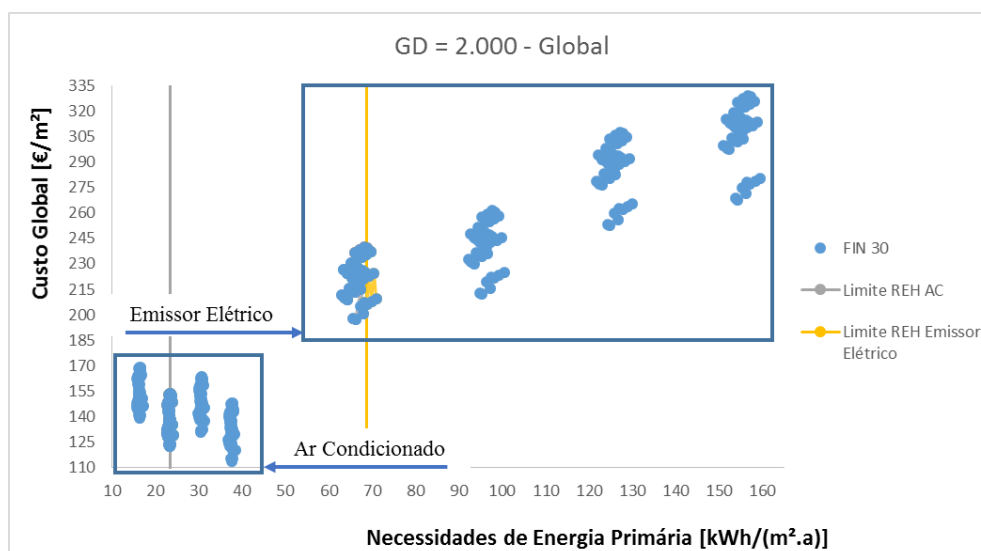


Figura 4.1 – Representação dos dois setores de soluções para ar condicionado e emissor elétrico para os 2000 GD.

As duas secções mencionadas ainda se subdividem em quatro setores, estes são caracterizados pelo isolamento, ou seja, no primeiro setor tanto as paredes como a cobertura têm isolamento, no segundo setor apenas a cobertura tem isolamento, no terceiro setor só as paredes têm isolamento e no último setor não há qualquer isolamento, o qual apresenta menores valores de necessidades energéticas.

Na Figura 4.2 está identificado quais são os quatro setores de isolamento para o ar condicionado e emissor elétrico. O número um, na Figura 4.2, corresponde ao setor de isolamento na cobertura e nas paredes, o número dois representa o setor de isolamento na cobertura, o número três contém o conjunto de pacotes com isolamento apenas nas paredes e por último no conjunto de soluções número quatro não há isolamento. Os quatro primeiros setores (da esquerda), estão inseridos no pacote de soluções para o ar-condicionado, enquanto que os quatro últimos dizem respeito ao pacote de soluções para o emissor elétrico. Para o ar condicionado verifica-se que os valores para os quatro setores se tornam muito mais compactos e a variação no eixo das necessidades de energia primária é muito menor. No caso do emissor elétrico para cada setor as soluções de cada pacote tornam-se mais dispersas. Esta dispersão/compactação deve-se única e exclusivamente à eficiência do sistema. Quando um sistema tem uma maior eficiência, o seu consumo de energia irá ser menor, logo as soluções passivas, como a colocação de isolamento e o melhoramento das janelas, deixam de ter tanta relevância. Do ponto de vista do emissor

elétrico, como este sistema tem uma eficiência baixa vai necessitar de uma maior consumo de energia para poder aquecer o edifício em questão, logo as medidas como a colocação isolamento ou o melhoramento das janelas começa a ter uma maior expressão, visto que é necessário evitar o consumo de energia por parte deste aparelho, e para isso torna-se necessário conservar o calor. Torna-se assim óbvio que estas medidas levam a um maior aproveitamento de energia primária.

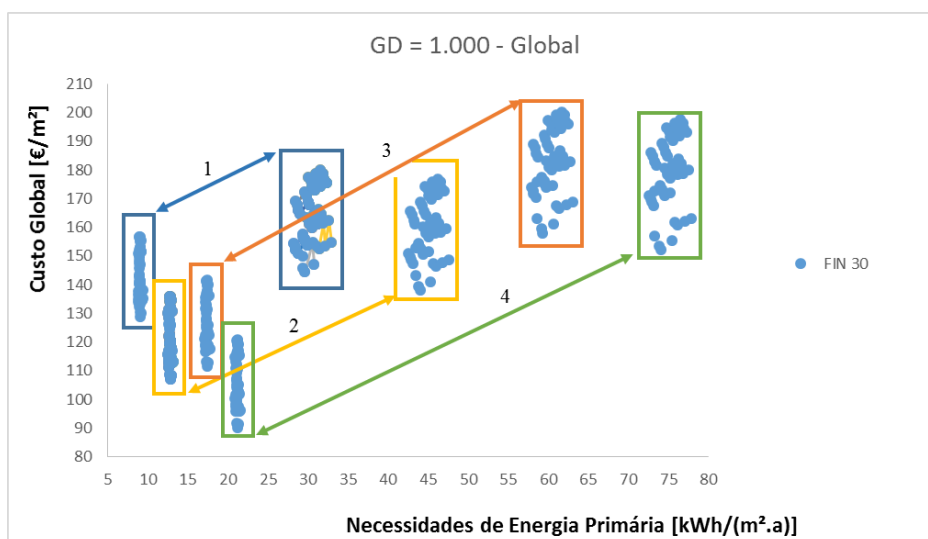


Figura 4.2 – Identificação dos setores de isolamento para os 1000 GD

Tendo percebido a dinâmica dos gráficos obtidos e como estes devem ser observados, passamos agora a analisar os dados obtidos para os 1000 GD. Olhando para a Figura 4.3 há que perceber com que pacote de soluções se irá trabalhar, portanto primeiro há que ir buscar os pacotes que se encontram dentro dos limites regulamentares. Estes encontram-se representados na Figura 4.3, pelas retas a cinzento (para ar condicionado) e a amarelo (para emissor elétrico), e ainda os seus valores estão expostos no Quadro 4.1. Estas retas foram obtidas a partir da folha de cálculo do Itecons (Itecons, 2014), onde se somou os limites regulamentares das necessidades de aquecimento e arrefecimento obtendo o total. Importa salientar que nesta folha de cálculo as necessidades energéticas são obtidas a 100%. Como apenas se está a trabalhar com 20%, fez-se a redução devida, gerando os valores da primeira linha de cada sistema no Quadro 4.1. Contudo, no REH está previsto que para os edifícios entre 1960 e 1990, os limites máximos sejam mais flexíveis do que para edifícios novos, acrescentando-se uma margem de 50% ao limite total. Esse acréscimo está representado, para cada sistema, na segunda linha da primeira coluna do Quadro 4.1.

1000 GD ($\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)			
Sistemas	Nt	Energia Primária para Aquecimento	Energia Primária para Arrefecimento
Ar Condicionado	10,93	7,54	3,39
	16,39	9,43	4,24
Emissor Elétrico	27,52	24,13	3,39
	41,28	30,16	4,24

Quadro 4.1 – Limites Regulamentares para os 1000 GD e para os diferentes sistemas.

Voltando novamente à escolha dos pacotes de soluções atendendo aos resultados do emissor elétrico, percebe-se que apenas um pacote está dentro dos limites regulamentares, que é com isolamento na cobertura e nas paredes. Por este motivo os dados são analisados para este sistema. No caso do ar condicionado, abaixo do limite regulamentar, já há dois grupos de pacotes com soluções possíveis, portanto destes dois grupos vai-se escolher aquele que tem o ponto ótimo, que está enquadrado na secção de isolamento na cobertura. Serão estes os dados analisados.

Ainda neste gráfico para se perceber a proporção de consumos entre um sistema eficiente e pouco eficiente, calculou-se a diferença de energia primária consumida nos quatro pacotes de soluções para os dois sistemas. Verificou-se que para o ar condicionado há uma variação de consumos de $12,73 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ e para o emissor elétrico de $49,68 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

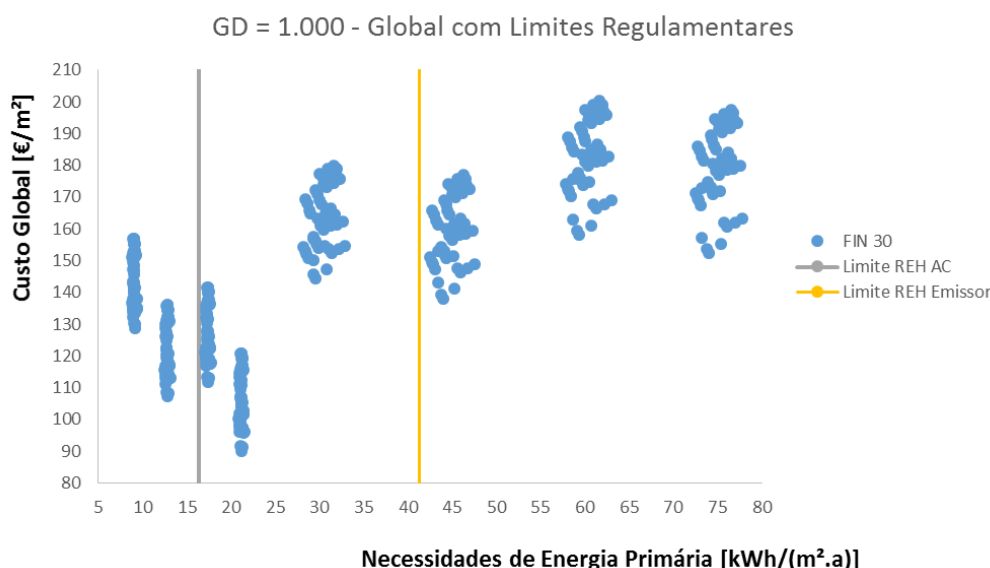


Figura 4.3 – Necessidade de Energia Primária vs. Custo Global para os 1000 Graus-Dias com limites do REH.

Fazendo agora zoom no pacote de soluções escolhido para o ar condicionado (isolamento na cobertura), é possível observar, na Figura 4.4, que os pontos da série financeira a 30 anos, que

se encontravam representados a azul nos gráficos anteriores, foram substituídos por séries de janelas. As séries de janelas foram construídas tendo por base os sistemas de caixilho utilizados, de correr (C) e abrir/basculante, sendo que há dois sistemas de abrir/basculante (AB1 e AB2), como já visto em capítulos anteriores. Nas séries AB1 e AB2 cada uma delas foi subdividida em mais duas, onde uma série representa o sistema em questão com uma folha e a outra com duas folhas, o caixilho C como é de correr só irá ter uma série.

Por último, cada uma das cinco séries já existentes foram subdivididas mais uma vez, obtendo um total de 10 séries. Esta última subdivisão ocorreu por forma a haver uma distinção entre fatores solares altos (g_2) e fatores solares baixos (g_1). Entre cada série C, AB1 e AB2, os vidros com fator solar g_1 são os mesmos, ou seja, para as séries com g_1 distinguem-se na Figura 4.4.

Os quatro vidros com o coeficiente de transmissão térmica diferentes são os mesmos entre estas séries. O mesmo ocorre para as séries com fator solar g_2 , só que nesta gama de fatores solares baixos estão a ser utilizados seis vidros diferentes, como se pode observar na Figura 4.4.

Tendo em vista que se está à procura do ponto com o menor custo global, observa-se neste gráfico que esse ponto corresponde à série C g_1 . Esta série contempla os vidros com fator solar alto, o caixilho com o coeficiente de transmissão térmico mais alto e com o um preço mais reduzido. Isto vai de encontro ao que foi dito anteriormente sobre sistemas eficientes, porque os consumos de energia primária são baixos, podendo não ser rentável investir numa janela com um melhor desempenho térmico, pois a quantidade de energia primária necessária para aquecer um ambiente é muito menor do que aquela que se pouparia tendo uma janela melhor termicamente. Por outro lado também é possível verificar isto mesmo pela baixa variação de valores no eixo das necessidades de energia primária: entre as janelas com o menor e maior consumo a diferença é de $0,62 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$.

Observar-se ainda que as séries com um melhor desempenho térmico são precisamente aquelas que têm um menor consumo de energia primária, a AB1 $g_1 - 1$ Folha g_1 e a AB2 $g_1 - 1$ Folha, contudo também são as mais caras, visto que o custo global também se torna mais elevado, quando comparado com a C g_1 .

Para o emissor elétrico obtém-se precisamente os mesmos resultados em termos de ordem de séries, embora neste caso se trabalhe com o pacote de dados que contempla isolamento na cobertura e nas paredes (limites regulamentares). Neste caso, o consumo de energia primária na série também é maior, como já visto anteriormente, chegando a ser de $4,74 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$.

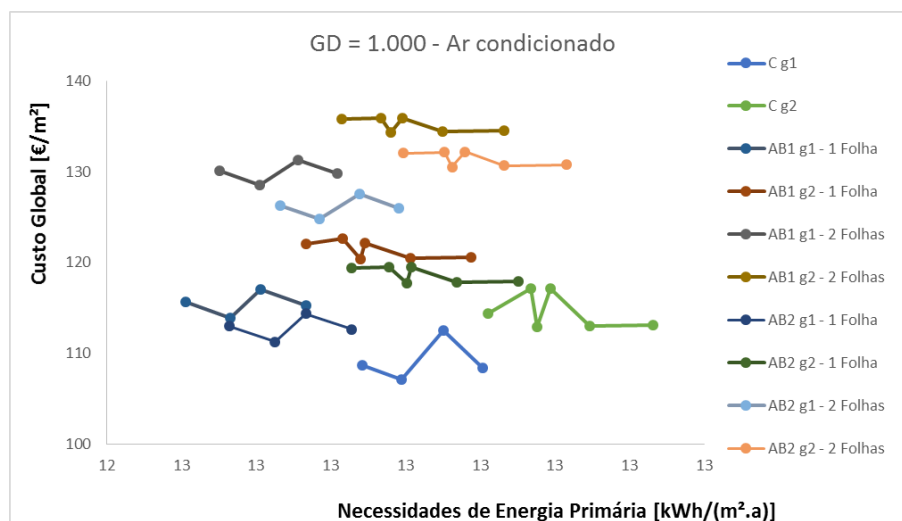


Figura 4.4 – Conjunto de Pacote de dados na faixa da solução ótima: cenário com ar condicionado e isolamento na cobertura.

Por forma a compreender melhor este aglomerado de séries delimitou-se uma região que contém apenas as janelas de duas folhas, tanto para o emissor elétrico como para o ar condicionado (Figura 4.5).

Consegue-se perceber, na Figura 4.5 o impacto do custo superior das séries AB1 e AB2 por serem de duas folhas e não de uma folha. Como o caixilho tem um preço mais elevado do que o vidro, há uma maior área de caixilho e o custo global destas janelas aumenta. Por outro lado nas séries C, embora sejam igualmente de duas folhas, o caixilho apresenta menor qualidade térmica, tornando-se mais simples que os outros e consecutivamente mais económico.

É possível verificar que as janelas de duas folhas, quando comparadas com as correspondentes de uma folha, têm um maior consumo de energia primária, devido ao seu pior desempenho térmico. As perdas de calor são superiores pelo caixilho do que pelo vidro, logo o facto de o caixilho ser maior nas séries de duas folhas tem influencia direta no consumo de energia primária.

No entanto, é necessário ter em mente que se estão a analisar janelas com uma área de 1,3x1,4: case se aumente a área da janela, o vidro passará a ter uma maior expressão do que o caixilho (maior área de vidro) e o desempenho do sistema melhora.

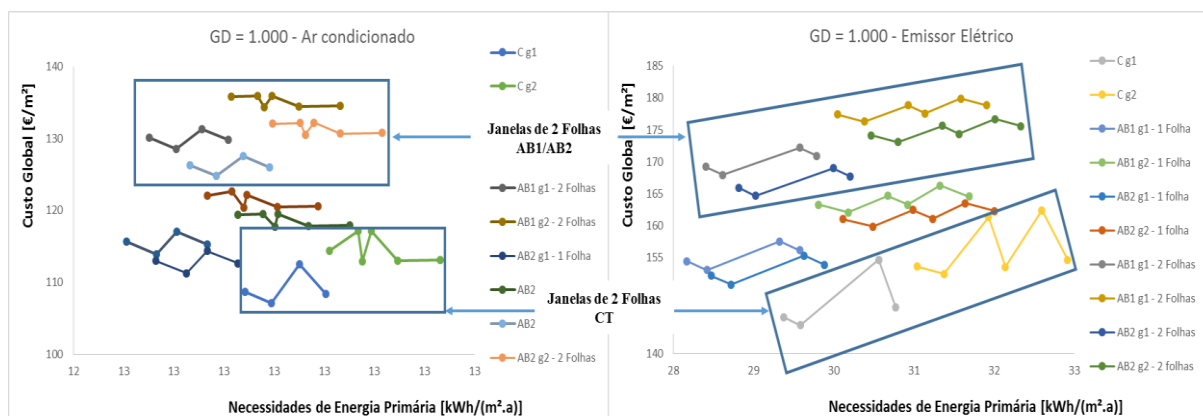


Figura 4.5 – Identificação das séries de duas folhas, nos dois sistemas, para os 1000 GD.

Salienta-se ainda que os resultados revelam uma divisão clara entre as séries com fatores solares altos (g1) e baixos (g2). As séries g1 apresentam melhores resultados, do ponto de vista da rentabilidade económica e do desempenho energético, do que as séries correspondentes a g2.

Este aspeto encontra-se ilustrado na Figura 4.6, que contém as séries divididas pelos fatores solares g1 e g2, para o ar condicionado e emissor elétrico.

Quanto maior for o fator solar maior serão os ganhos de calor através do envidraçado. Logo, menor energia será requerida por parte dos sistemas a utilizar para aquecer o ambiente, daí as necessidades de energia primária serem menores.

Como neste caso de estudo se está a trabalhar tanto com as necessidades de aquecimento como de arrefecimento, também se pode concluir que a estação de aquecimento (inverno) tem uma expressão muito superior nos resultados do que o arrefecimento.

No verão ter um fator solar alto não é benéfico, porque aumenta os ganhos e consequentemente as necessidades energéticas de arrefecimento. Conclui-se que se o estudo aponta que a melhor solução é com fatores solares altos, então as necessidades energéticas para arrefecimento não foram condicionantes.

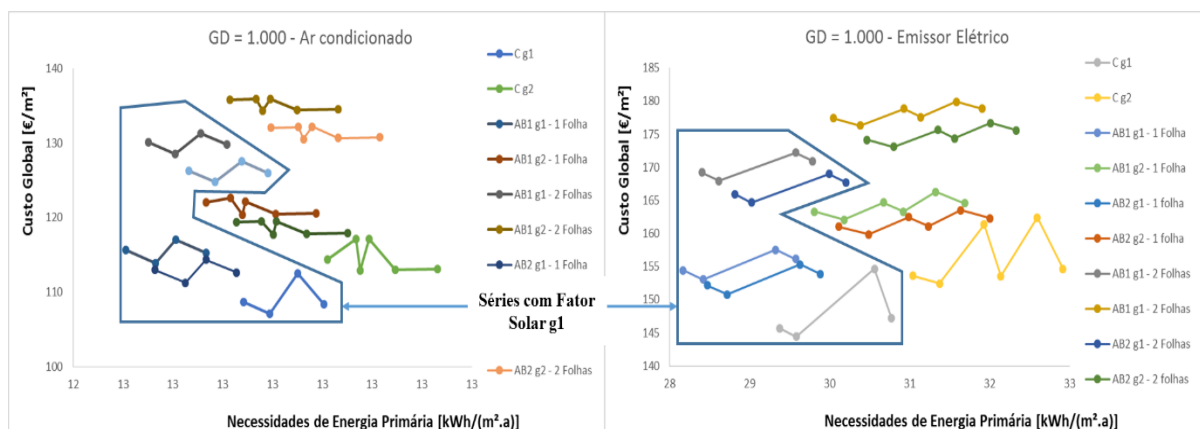


Figura 4.6 – Identificação das séries com fator solar g_1 , nos dois sistemas, para os 1000 GD.

O que acima foi explicado consolida-se no Quadro 4.2, onde se apresentam os valores dos pontos ótimos para as três séries. Importa salientar que as três janelas com custo ótimo, têm o mesmo tipo de vidro, reforçando a ideia de que apenas o caixilho faz variar os custos e o consumo de energia nesta análise.

Para que exista um termo de comparação entre séries foi determinado o custo da janela com o melhor desempenho térmico para que garantisse a rentabilidade ótima. Para a série AB1 a diferença de preços ronda aproximadamente os 25 € enquanto que para a série AB2 ronda os 15 €, por janela e para os 1000 GD.

A janela de madeira existente no edifício foi comparada com as janelas metálicas em estudo. A partir do Quadro 4.2 denota-se que de facto é esta a janela com maior consumo de energia primária associado, contudo a diferença de consumo entre esta janela e a mais eficiente (termicamente) é de apenas 0,48 kWh/(m².a). Esta diferença de consumos tão baixa está diretamente relacionado com o sistema em uso, de elevada eficiência. Este fator contribuiu para que o custo global da janela antiga seja inferior ao da série AB1 do Quadro 4.2, que é a série com menor consumo de energia primária.

		1000 GD							
Tipo de Solução	Série	Ponto Ótimo		Janela	U_w (W/(m ² .°C))	FS	Custo Janela (€)	Custo Ótimo (€)	Diferença entre Janela e Custo Ótimo (€)
		Energia (kWh/(m ² .a))	Custo Global (€/m ²)						
Isolamento na cobertura	AB1 g1 - 1 Folha	12,57	113,91	3	1,72	0,59	421,1	396,1	25,1
	AB2 g1 - 1 Folha	12,63	111,26	1	1,91	0,59	392,8	378,2	14,6
Arrefecimento - Ar Condicionado	C g1	12,8	107,13	5	2,45	0,59	374		
	Madeira	13,05	113,46	Antiga	4,1	0,85	392		

Quadro 4.2 – Tabela resumo dos pontos ótimos das três melhores séries.

Tendo já compreendido como as séries de janelas estão organizadas neste estudo e o contributo que têm neste edifício de referência, resta-nos avaliar todos os resultados e medir a influência

do coeficiente de transmissão térmica da janela e do fator solar no desempenho térmico. Por isso apresenta-se o Quadro 4.3, com as janelas com o melhor e pior desempenho assim como as que apresentem custos ótimos.

A melhor e pior janela corresponde à que tem o menor e maior consumo de energia primária, respetivamente. O ponto ótimo combina o conjunto de soluções com menor energia consumida e custo global. Esta tabela não representa a totalidade dos resultados utilizados nos cálculos, mas apenas as selecionadas de acordo com estes critérios.

1000 GD																
Tipo de Solução	Série	Melhor Janela				Ponto Ótimo				Pior Janela						
		Janela	Vidro	U _w (W/m ² .°C)	FS	Energia (kWh/m ² .a)	Janela	Vidro	U _w (W/m ² .°C)	FS	Energia (kWh/m ² .a)	Janela	Vidro	U _w (W/m ² .°C)	FS	Energia (kWh/m ² .a)
Isolamento na Cobertura - Aquecimento com Ar Condicionado	C g1	10		2,25		12,74	5		2,45		12,80	15		2,38		12,90
	AB1 g1 - 1 Folha	8		1,49		12,51	3		1,72		12,57	13		1,65		12,67
	AB1 g1 - 2 Folhas	9	U _g = 1,1 (W/m ² .°C)	1,64	0,58	12,55	4	U _g = 1,4 (W/m ² .°C)	1,85	0,59	12,60	14	U _g = 1,3 (W/m ² .°C)	1,78	0,48	12,71
	AB2 g1 - 1 Folha	6	FS=0,58	1,68		12,56	1	FS=0,59	1,91		12,63	11	FS=0,48	1,84		12,73
	AB2 g1 - 2 Folhas	7		1,9		12,63	2		2,10		12,68	12		2,03		12,79
	C g2	50		2,25		12,91	45		2,45		12,98	25		2,38		13,13
	AB1 g2 - 1 Folha	48	U _g = 1,1 (W/m ² .°C)	1,49		12,67	43	U _g = 1,4 (W/m ² .°C)	1,72		12,74	23	U _g = 1,3 (W/m ² .°C)	1,65		12,89
	AB1 g2 - 2 Folhas	49	FS=0,44	1,64	0,44	12,71	44	FS=0,44	1,85	0,44	12,78	24	FS=0,31	1,78	0,31	12,93
	AB2 g2 - 2 Folhas	47		1,9		12,80	42		2,10		12,86	22		2,03		13,02

Quadro 4.3 – Dados e resultados das séries de janelas com melhores e piores desempenhos térmicos e ponto ótimo para os 1000 GD.

Uma vez que se pretende analisar em detalhe a influência coeficiente de transmissão térmica e do fator solar, primeiro vai-se fixar o valor do U_w e fazer variar o fator solar. Para que isto ocorra trabalhou-se com as diferenças de fator solar e de energia, ou seja, ao olharmos para a primeira linha tanto da série C g1 como da C g2 verificamos que têm o mesmo U_w e que aquilo que varia é o fator solar.

No Quadro 4.4. comparam-se as séries com o mesmo caixilho (C g1-C g2), que por conseguinte têm o mesmo U_w, e calcularam-se as diferenças associadas à variação do fator solar.

A variação de energia entre diferentes caixilhos é praticamente a mesma. No caso do Quadro 4.4 a variação de energia ronda os 0,16 kWh/m².a para uma variação de fator solar de 0,14. Esta conclusão é obtida se efetuarmos uma análise equivalente a todos os resultados deste estudo.

Melhor Janela		
Série	Diferença de FS	Diferença de Energia (kWh/m ² .a)
C		0,17
AB1 - 1	FS1=g1=0,58	0,16
AB1 - 2	FS2=g2=0,44	0,16
AB2 - 1	FS1-FS2=0,14	0,16
AB2 - 2		0,17

Quadro 4.4 – Representação do consumo de energia primária com a variação do fator solar para os 1000 GD.

Utilizando a análise de todos as janelas conseguiu-se gerar uma tendência linear entre a variação de energia e a variação do fator solar, que se encontra representada na Figura 4.7. Concluiu-se que para cada aumento de 0,01 do fator solar o consumo de energia primária reduz 0,0195 kWh/(m².a), o que se traduz em 0,19 €/ano.

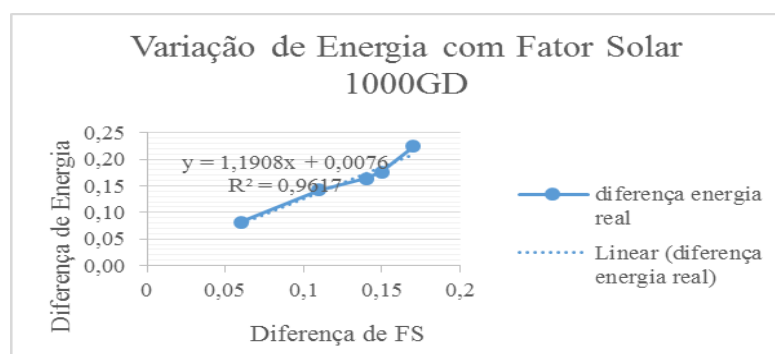


Figura 4.7 – Representação da variação de energia com o fator solar para os 1000 GD.

Após a análise destes dados verificou-se ainda que esta reta sofria uma inversão no consumo de energia primária. À medida que o fator solar aumenta, o consumo de energia torna-se menor, e verificou-se que para um fator solar muito baixo (0,3) esta situação se invertia (para os 1000 GD). Como os cálculos efetuados incluem o verão e o inverno foi-se analisar em detalhe as necessidades energéticas do verão. Note-se que a lógica do fator solar alto ser vantajoso terá a ver com o inverno (menor necessidade de aquecimento). Verifica-se que esta inversão se deveu às necessidades de arrefecimento. Registou-se que perante estas condições as necessidades de arrefecimento eram preponderantes, ou seja, tinham um impacto superior às das necessidades de aquecimento. Isto acontece para os 1000 GD, que representa uma zona do país com menores graus-dias na estação de aquecimento.

Tendo já estudado a influência do fator solar no consumo de energia primária, agora só resta examinar detalhadamente a influência do o coeficiente de transmissão térmica. Para isso procedeu-se a uma análise semelhante à do fator solar, fazendo variar o coeficiente de transmissão térmica e mantendo um valor constante de fator solar entre séries, como se pode

observar no Quadro 2.1. Enquanto que para o fator solar se subtraíram os valores do consumo de energia para os mesmos caixilhos, neste caso vão ser comparados os valores de diferentes caixilhos entre si.

Melhor Janela - FS=0,48		
Séries g1	Diferença de U_w ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	Diferença de Energia ($kWh/m^2 \cdot a$)
C - AB1 1 Folha	0,76	0,24
C - AB1 2 Folhas	0,61	0,19
C - AB2 1 Folha	0,57	0,18
C - AB2 2 Folhas	0,35	0,11

Quadro 4.5 – Representação da variação do consumo de energia primária com a variação do coeficiente de transmissão térmica para os 1000 GD.

Utilizando o processo representado no Quadro 4.5 para todas as janelas envolvidas nos cálculos de rentabilidade chegou-se à Figura 4.8. Com a reta representada na Figura 4.8 determinou-se que para cada redução do coeficiente de transmissão térmica da janela de $0,01 W/m^2 \cdot ^\circ C$ o consumo de energia primária se reduz $0,0025 kWh/m^2 \cdot a$, o que se traduz numa poupança de $0,02 \text{ €}$ por ano.

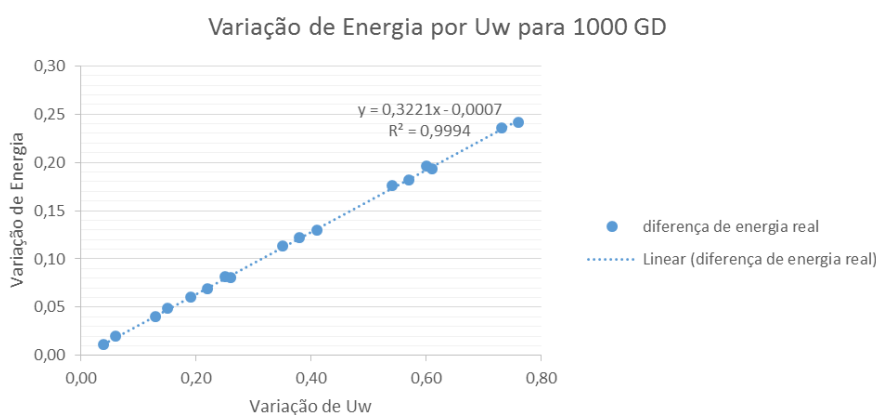


Figura 4.8 – Representação da variação de energia com o coeficiente de transmissão térmica para os 1000 GD.

Comparando as variações de energia devidas ao fator solar e ao coeficiente de transmissão térmica, conclui-se que o fator solar tem um peso muito maior no consumo de energia do que o coeficiente de transmissão térmica. Sendo aproximadamente o peso do fator solar de 80% e o do coeficiente de transmissão térmica de 20% no consumo de energia primária. Podemos concluir que numa janela o vidro é determinante e tem uma relevância superior ao caixilho. Tendo em conta que estas simulações são realizadas com janelas que apenas têm uma área de $1,3 \times 1,4 m^2$ ainda se acentua mais esta ideia.

Esta análise é feita para 30 anos. Tendo isto em conta tentou-se apurar qual seria o retorno financeiro e se compensaria investir nas janelas com um melhor desempenho térmico neste espaço de tempo. Nas Figura 4.9 e Figura 4.10 estão apresentadas as três séries de janelas com maior relevância para este estudo, a de custo ótimo (C g1), a que tem o melhor desempenho térmico (AB1 g1 - 1 Folha) e a uma série intermédia (AB2 g1 - 1 Folha), sendo por isso as escolhidas para esta análise.

Na Figura 4.9 está a ser utilizado o sistema de ar condicionado para aquecimento, e estão identificados os pontos ótimos da série AB1 g1 - 1 Folha e da C g1. A diferença de preço entre estas duas soluções é de 47,14 €, e a diferença de consumo de energia primária é de 0,23 kWh/m².a. Para se conseguir calcular o valor da poupança anual primeiro há que converter a energia primária em final, que resulta em 0,092 kWh/m².a. Tendo em conta que o edifício que está em análise tem 100m² e o preço da eletricidade é de 0,24 €/kWh obtemos uma poupança de 2,208 €/ano que se traduz em 66,24 € de poupança ou retorno financeiro num período de 30 anos.

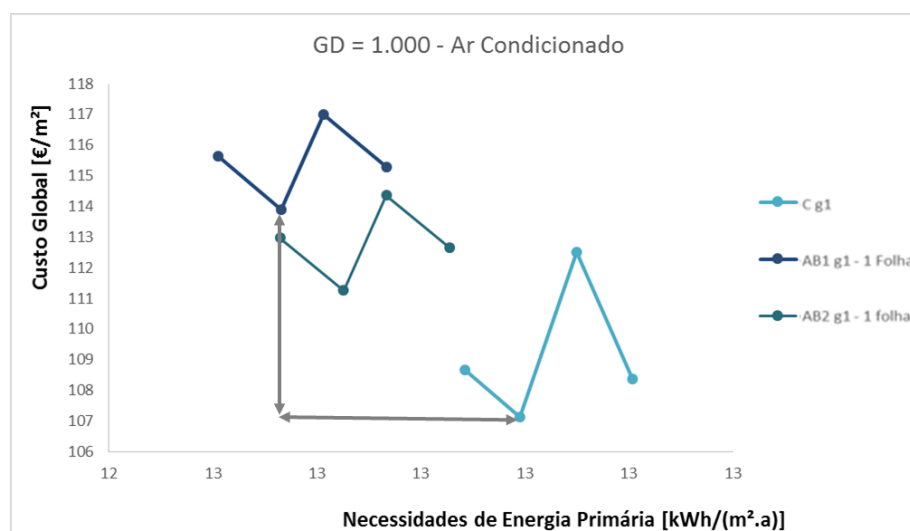


Figura 4.9 – Representação das melhores soluções por séries, com ar condicionado e 1000GD.

O mesmo procedimento foi realizado para o emissor elétrico, com base nos resultados ilustrados na Figura 4.10. Neste caso, como as séries ótimas são as mesmas que para o ar condicionado, a diferença no custo das janelas é também a mesma (47,14 €). Porém o consumo de energia primária é muito maior, sendo de 1,16 kWh/m².a. Assim sendo o ganho anual será de 11,14 €, e em 30 anos será de 334,08 €, ao investir na janela com o melhor desempenho térmico.

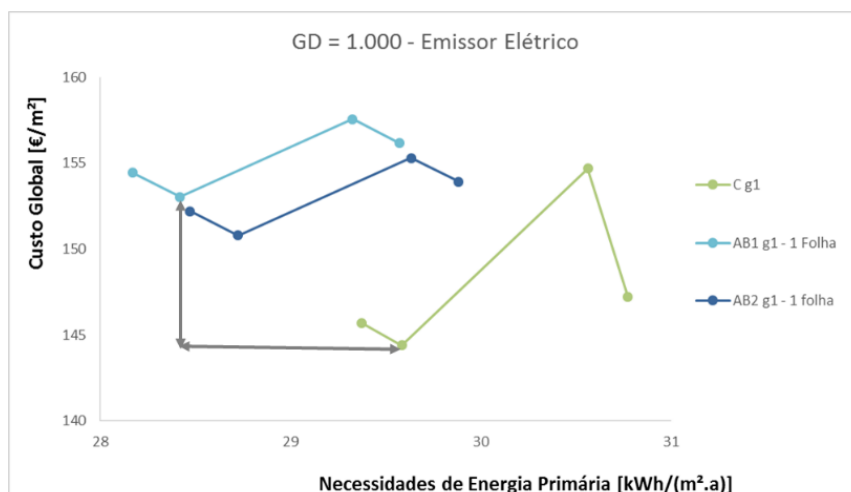


Figura 4.10 – Representação das melhores soluções por séries para emissor elétrico e 1000 GD.

Embora investir numa janela com melhor desempenho térmico traga algum retorno financeiro há que averiguar se esse retorno compensa um investimento inicial superior. No Quadro 4.6 tem uma síntese não só dos valores acima mencionados mas também a diferença de custo entre a janela ótima e aqueles com o melhor desempenho térmico, tanto para o ar condicionado como para o emissor elétrico.

Na última coluna do Quadro 4.6 estão inseridas as diferenças de preços entre as janelas com melhor desempenho térmico e a janela da série C g1 (janela ótima). Apurou-se que quando se está a utilizar um sistema eficiente, o custo de investimento nas janelas não compensa o retorno que se irá obter em 30 anos, posto este ser menor que o investimento inicial. Contudo ao utilizar o emissor elétrico para aquecimento, verificou-se que este mesmo investimento já compensa, na medida em que o um retorno financeiro em 30 anos é maior do que o investimento adicional na janela com o melhor desempenho térmico.

1000 GD						
Tipo de Solução	Série	Ponto Ótimo		Custo por Janela (€)	Ganhos em 30 Anos (€)	Diferença de € Entre Janelas
		Energia (kWh/(m ² .a))	Custo Global (€/m ²)			
Isolamento na Cobertura	AB1 g1 - 1 Folha	12,57	3	421,13	66,24	282,84
Arrefecimento - Ar Condicionado	AB2 g1 - 1 Folha	12,63	1	392,78	48,96	112,74
	C g1	12,8	5	373,99		
Isolamento nas Paredes e Cobertura	AB1 g1 - 1 Folha	28,42	3	421,13	334,08	282,84
Arrefecimento - Emissor Elétrico	AB2 g1 - 1 Folha	28,72	1	392,78	247,68	112,74
	C g1	29,58	5	373,99		

Quadro 4.6 – Representação dos ganhos em 30 anos entre séries com melhor desempenho térmico.

Quando passamos para os 1500 GD e para os 2000 GD, sabe-se à partida que há maiores necessidades energéticas para aquecimento devido ao aumento dos graus dias. Este facto é visível na Figura 4.11, onde se encontra representado todas as soluções anteriormente referidas, para os 1500 e 2000 graus dias. Denota-se neste gráfico que efetivamente há um aumento significativo tanto ao nível das necessidades energéticas como do custo global. Regista-se por exemplo um aumento de 44,71 kWh/(m².a) nas necessidades de energia primária para o último pacote de soluções, quando se passa dos 1500 GD para os 2000 GD

Os pacotes de soluções escolhidos nestes dois casos vão ser os mesmos que os escolhidos para os 1000 GD, ou seja, no caso do ar condicionado é o pacote que apenas tem isolamento na cobertura e para o emissor elétrico é o pacote com isolamento na cobertura e nas paredes.

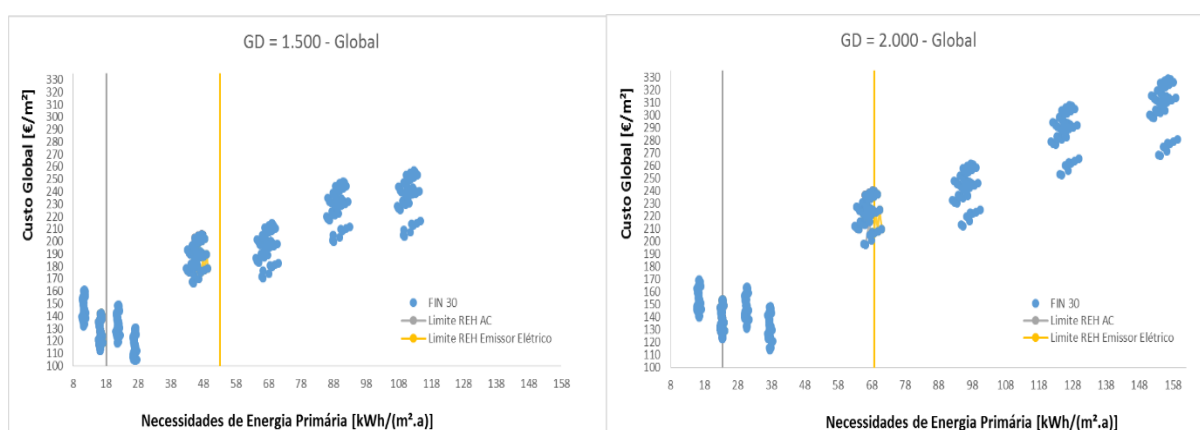


Figura 4.11 – Gráficos globais para os 1500 e 2000 GD.

A ampliação dos graus-dias também determina o aumento dos limites regulamentares (Quadro 4.7). Embora estes limites tenham aumentado verifica-se na da Figura 4.11 que o número de

pacotes de soluções a cumprir estes limites se reduz com o aumento dos graus-dias. As soluções regulamentares são cada vez menores, tanto para o emissor elétrico como para o ar condicionado. Como se irá ver mais à frente este facto não afeta o ponto ótimo do pacote de soluções escolhido.

Limites Regulamentares		
Graus Dias	Sistemas	N_t ($kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$)
1500	Ar Condicionado	18,193
	Emissor Elétrico	53,208
2000	Ar Condicionado	23,514
	Emissor Elétrico	68,862

Quadro 4.7 – Limites Regulamentares para os 1500 e 2000 GD.

Para os 1500 e 2000 GD, os pacotes de soluções com rentabilidade ótima mantêm-se a mesma. Ou seja, o ponto ótimo continua a ser a série C g1, bem como a série AB1 g1 continua a garantir o menor valor de energia primária.

Nos 2000 GD tornou-se importante salientar que embora alguns pacotes tenham deixado de verificar os limites regulamentares as soluções ótimas com o melhor desempenho térmico apresentam valores de necessidades energéticas inferiores aos atuais limites, como se pode observar na Figura 4.12.

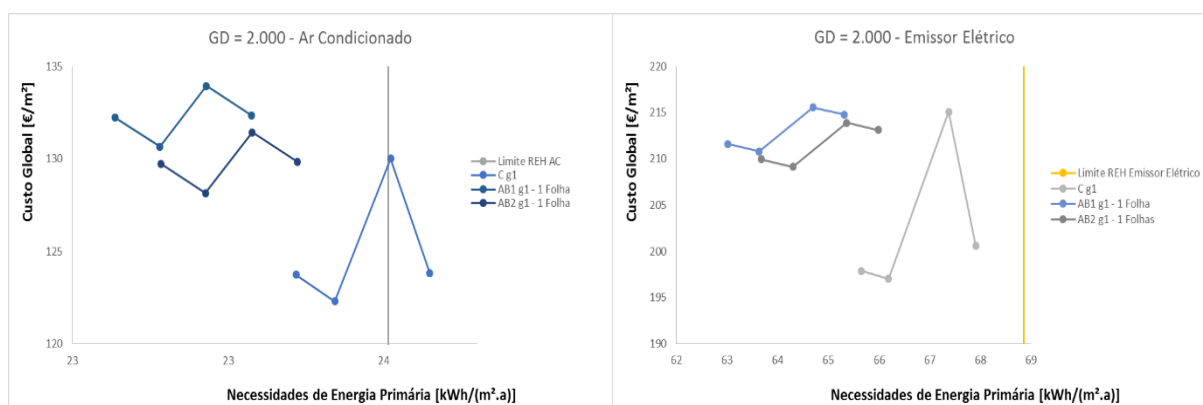


Figura 4.12 – Séries ótimas para o ar condicionado e emissor elétrico 2000 GD.

No Quadro 4.8 organizaram-se os resultados, para os 1500 e 2000 GD, de forma a haver um melhor entendimento do retorno financeiro em 30 anos que se poderia obter ao investir em janelas com o melhor desempenho térmico em vez de na janela que representa o ponto ótimo.

Observando o quadro, nas linhas que correspondem ao ar condicionado verifica-se que a janela ótima da série AB1 g1 – 1 Folha, não se obtém retorno financeiro em 30 anos para nenhum dos climas em estudo. Ao investir nesta janela spender-se-ia 282,84€ e no máximo recuperar-se-

ia 161,28€ para os 2000 GD. No caso da janela AB2 g1 – 1 Folha, que representa uma opção intermédia entre a melhor janela termicamente e a ótima do ponto de vista da rentabilidade económica, já se obtém retorno financeiro para os 2000 GD, sendo este de 5,34 € em 30 anos.

Examinando as linhas que dizem respeito ao emissor elétrico verifica-se que em todos os cenários compensa sempre a utilização de janelas com melhor desempenho térmico, obtendo no melhor dos cenários um retorno de 454,44 €. Isto prende-se com o facto de se estar a utilizar um sistema com baixa eficiência, que conduz a maiores necessidades de energia primária para aquecer o ambiente.

Tipo de Solução	Sistema	Graus Dias	Ponto Ótimo		Custo por Janela (€)	Ganhos em 30 Anos (€)	Diferença de € Entre Janelas
			Energia (kWh/(m ² .a))	Custo Global (€/m ²)			
Isolamento na Cobertura	AB1 g1 - 1 Folha	1500	15,88	3	421,13	118,08	282,84
		2000	22,78			161,28	
Arrefecimento - Ar	AB2 g1 - 1 Folha	1500	15,98	1	392,78	89,28	112,74
		2000	22,93			118,08	
Arrefecimento - Ar Condicionado	C g1	1500	16,29	5	373,99		
		2000	23,34				
Isolamento nas Paredes e Cobertura	AB1 g1 - 1 Folha	1500	43,17	3	421,13	535,68	282,84
		2000	63,63			737,28	
Arrefecimento - Emissor Elétrico	AB2 g1 - 1 Folha	1500	43,66	1	392,78	394,56	112,74
		2000	64,3			544,32	
	C g1	1500	45,03	5	373,99		
		2000	66,19				

Quadro 4.8 – Ganhos a 30 anos entre as três séries principais.

Também para os 1500 GD foi analisada a poupança por fator solar e por coeficiente de transmissão térmica, verificando-se que a poupança em euros passa para o dobro, quando comparado com os 1000 GD. No caso do coeficiente de transmissão térmica para cada redução de 0,01 W/(m².°C) recupera-se 0,0055 € por ano. Para o fator solar por casa aumento de 0,01 retorna 0,38€ por ano. Estes valores resultam da análise dos gráficos constantes na Figura 4.13.

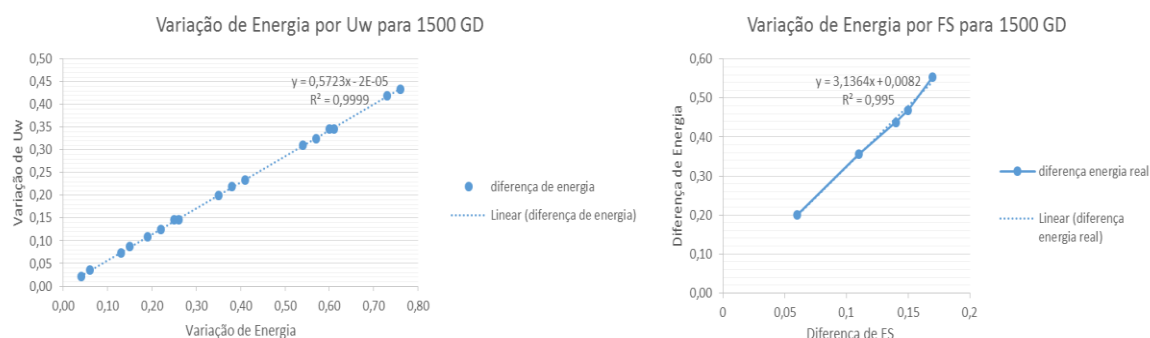


Figura 4.13 – Variação de energia com coeficiente de transmissão térmica e com o fator solar respetivamente.

Nos 2000 GD tudo o que foi dito anteriormente, vem de encontro aos resultados obtidos para este clima. Seguindo o mesmo raciocínio anterior, calculou-se qual seria o retorno financeiro ao investir numa janela com coeficiente de transmissão térmica ou fator solar melhorados.

Verificou-se, a partir da Figura 4.4/Figura 4.14, que para cada redução de 0,01 W/(m².°C) do coeficiente de transmissão térmica há uma poupança de 0,0075 € por ano, notando que há um retorno maior do que nos 1500 GD de aproximadamente 18,2%. De notar que o retorno entre os 1000 GD e os 1500 GD foi bastante superior tendo um aumento de sensivelmente 50%.

Por cada acréscimo de 0,01 do fator solar no vidro, haverá um retorno financeiro de 0,38 € por ano. Comparando este valor com o obtido para os 1500 GD deduz-se logo à partida que o retorno financeiro estagnou mantendo-se o mesmo para o 2000 GD.

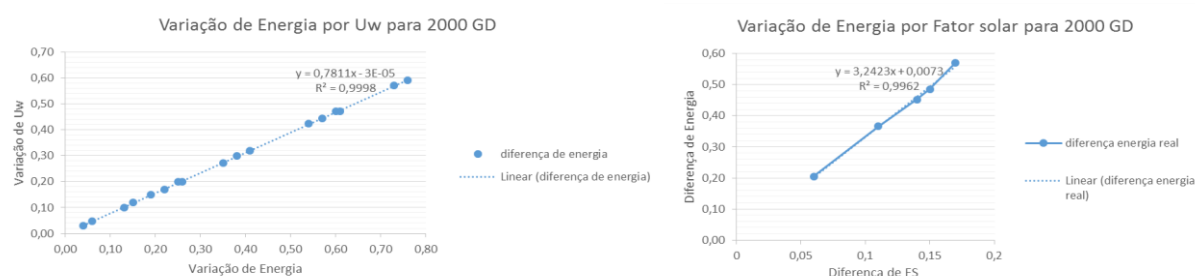


Figura 4.14 – Representação da variação de energia por coeficiente de transmissão térmica e fator solar, respetivamente.

De salientar que este aumento/redução do fator solar e do coeficiente de transmissão térmica não é indefinido, haverá um ponto para o qual irá começar a haver uma inflexão desta mesma curva. Esta mesma observação já foi constatada para os 1000 GD quando se estava a trabalhar com um fator solar muito baixo. Porém ao analisar estes dados há que ter sempre em vista a gama de dados com as quais se está a trabalhar e os sistemas que estão a ser utilizados.

Após se expor toda a análise efetuada para as necessidades energéticas a 20%, agora resta comparar estas mesmas conclusões caso de fizesse face a 100% das necessidades energéticas e compreender qual o desvio que existe entre uma realidade e outra.

Utilizando 100% das necessidades energéticas está-se a prever que os sistemas de aquecimento, e arrefecimento se encontrem a trabalhar 24h por dia (de acordo com o método Sazonal do REH). Então, para combater a utilização destes sistemas, por forma a reduzir o consumo de energia primária, torna-se mais viável investir em isolamento e em janelas com um melhor desempenho térmico.

Este comportamento já se tornou evidente anteriormente, na passagem para os 1500 e 2000 graus-dias. Verificou-se que, mesmo com um sistema eficiente (ar condicionado), o ponto ótimo em termos de rentabilidade era relativo a um pacote de soluções com isolamento na cobertura e nas paredes. Para os 1000 GD o pacote ótimo apresenta apenas isolamento na cobertura. Ao observar a Figura 4.15 confirma-se isso mesmo.

No caso do emissor elétrico, o pacote de soluções escolhido já era o de isolamento na cobertura e paredes, mantendo-se igual para os três climas.

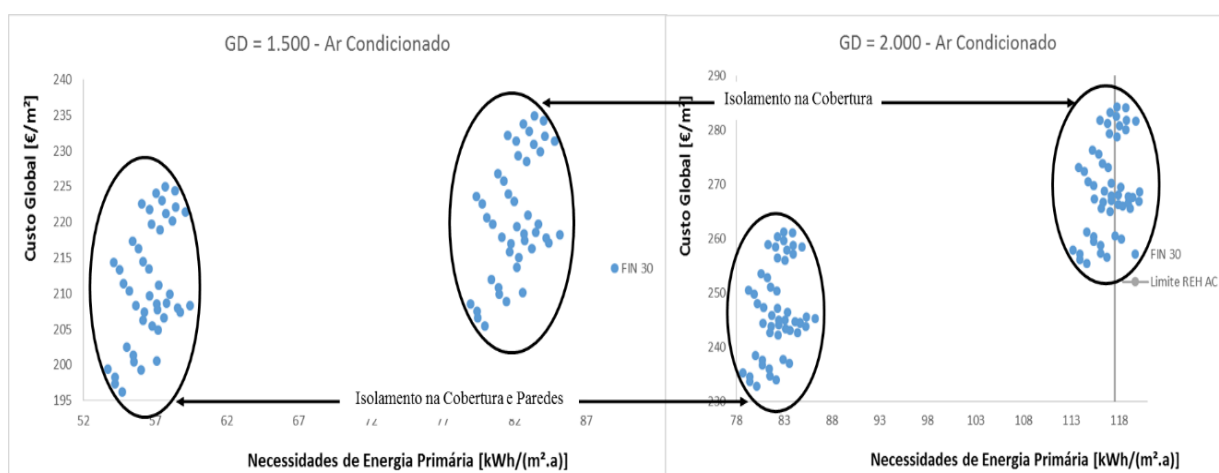


Figura 4.15 – Representação dos pacotes de soluções para os 1500 e 2000 GD com as necessidades energéticas a 100%, utilizando ar condicionado.

O comportamento das séries também se altera, sendo que para o ar condicionado, apenas nos 1000 GD se mantém tudo idêntico na distribuição de séries. Contudo para os 1500 e 2000 GD verifica-se que a série ótima passa a ser a AB2 g1 – 1 Folha, que representa a série intermédia, como se pode verificar na Figura 4.16.

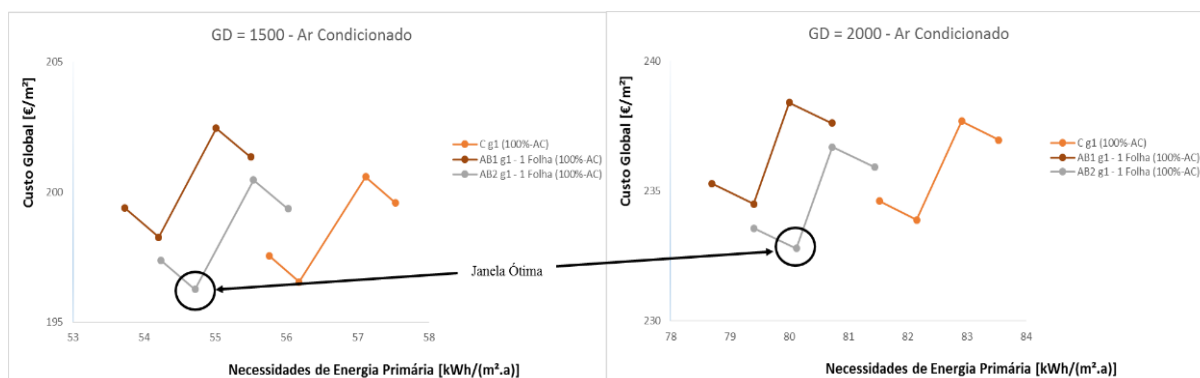


Figura 4.16 – Representação da janela ótima para os 1500 e 2000 GD utilizando um sistema eficiente.

Quando passamos a analisar o comportamento do ponto ótimo para o emissor elétrico verificou-se que há outra alteração. A utilização de um sistema com baixa eficiência leva a maiores consumos de energia primária para se conseguir aquecer a habitação em estudo. Logo para os 1500 e 2000 GD verificou-se que o ponto ótimo se encontra na série com o melhor desempenho térmico, AB1 g1 – 1 Folha, fazendo sentido neste cenário investir em janelas com melhores desempenhos.

No caso dos 1000 GD já se tinha verificado que mesmo no caso de o emissor elétrico, não se justifica o investimento em janelas com o melhor desempenho térmico, porque o clima conduz a baixas necessidades energéticas. Todavia como se está a utilizar um emissor elétrico, a janela ótima encontra-se agora na série AB2 g1 – 1 Folha. Comparativamente ao ar condicionado, a janela ótima agora, encontra-se numa série melhor.

No Quadro 4.9 Quadro 4.9 – Representação das janelas ótimas para séries relevantes com variação nos graus dias. encontram-se os pontos ótimos, do ponto de vista da rentabilidade económica, para as séries de janelas com maior relevância. Assinala-se a cinzento a janela com custo ótimo para cada região (1000, 1500 e 2000 graus dias).

100% de Necessidades Energéticas									
Graus Dias	Tipo de Solução	Sistema	Ponto Ótimo		Janela	U_w (W/m ² .°C)	FS	Custo Janela (€)	
			Energia (kWh/(m ² .a))	Custo Global (€/m ²)					
1500	Isolamento na Cobertura e Parede	AB1 g1 - 1 Folha	213,76	415,61	8	1,49	0,58	439,84	
		Arrefecimento - Emissor Elétrico	AB2 g1 - 1 Folha	216,17	416,33	6	1,684	0,58	411,49
			C g1	223,35	424,63	10	2,25	0,58	390,68
2000	Isolamento na Cobertura e Parede	AB1 g1 - 1 Folha	315,07	561,28	8	1,49	0,58	439,84	
		Arrefecimento - Emissor Elétrico	AB2 g1 - 1 Folha	318,38	563,3	6	1,684	0,58	411,49
			C g1	328,26	575,48	10	2,25	0,58	390,68
1000	Isolamento na Cobertura e Parede	AB1 g1 - 1 Folha	142,1	310,75	3	1,72	0,59	421,13	
		Arrefecimento - Emissor Elétrico	AB2 g1 - 1 Folha	142,36	310,19	6	1,684	0,58	411,49
			C g1	147,92	314,55	5	2,45	0,59	374

Quadro 4.9 – Representação das janelas ótimas para séries relevantes com variação nos graus dias.

Para se ter uma ideia mais abrangente de como funciona a cultura de climatização juntaram-se, no mesmo gráfico, às necessidades energéticas a 20% e 100% a situação das necessidades energéticas a 50%. O gráfico inclui as três séries de maior relevância e que têm vindo a ser estudadas até agora.

Primeiramente analisou-se a cultura de climatização para o emissor elétrico, verificou-se que para os 1000, 1500 e 2000 GD os resultados são muito semelhantes.

Os níveis ótimos de rentabilidade económica já são conhecidos para 20% e 100% das necessidades energéticas. No caso de 50% destas necessidades os níveis ótimos são um meio-termo entre a maior e menor percentagem de utilização.

Das três séries em análise para os 20% o ponto ótimo é a C g1 (pior termicamente, com maiores consumos de energia primária). Nos 100% o ponto ótimo situa-se na série AB1 g1 – 1 Folha (melhor termicamente, com menores consumos de energia primária). Portanto nos 50% faz sentido que o ponto ótimo se enquadre na série AB2 g1 – 1 Folha (intermédia termicamente, situação entre as séries com maiores e menores consumos).

Ainda na Figura 4.17 e Figura 4.18, incluíram-se os limites regulamentares, para que se possa observar as alterações que estes sofrem em função da fração de necessidades energéticas em uso.

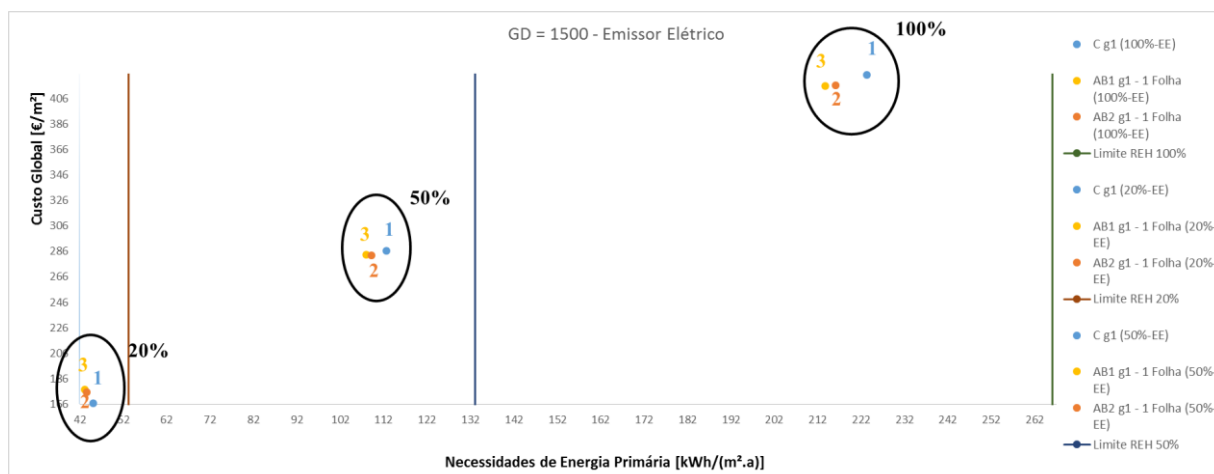


Figura 4.17 – Representação da cultura de climatização para a melhor janela de cada série nos 1500 GD, utilizando emissor elétrico.

Tendo como sistema de climatização o ar condicionado as séries reorganizam-se de forma diferente, visto que neste caso há uma valorização das janelas que têm piores condições térmicas.

Nos 1000 GD e em todos os cenários de necessidades energéticas (100%, 50% e 20%), a janela com melhor rentabilidade económica pertence à série C g1 e a pior encontra-se na série AB1 g1 – 1 Folha.

Para os restantes dois climas o comportamento é idêntico para as três percentagens (100%, 50% e 20%) . Ao utilizar 100% das necessidades energéticas, a melhor série passa a ser a AB2 g1 – 1 Folha e a pior mantém-se a AB1 g1 – 1 Folha. Nos 50% e 20% volta-se novamente ao que ocorria nos 1000 GD, ou seja, a melhor série é a C g1 e a pior a AB1 – 1 Folha.

É ainda de salientar que quando se analisou apenas as necessidades energéticas a 100%, no caso do ar condicionado, o pacote ótimo corresponde a ter isolamento na cobertura e nas paredes. Quando se utiliza as necessidades energéticas a 50% o pacote de soluções volta a ser o com isolamento apenas na cobertura, assim como nos 20%.

Na Figura 4.18 apresentam-se as situações constantes na Figura 4.17 alterando-se o sistema de aquecimento para ar condicionado.

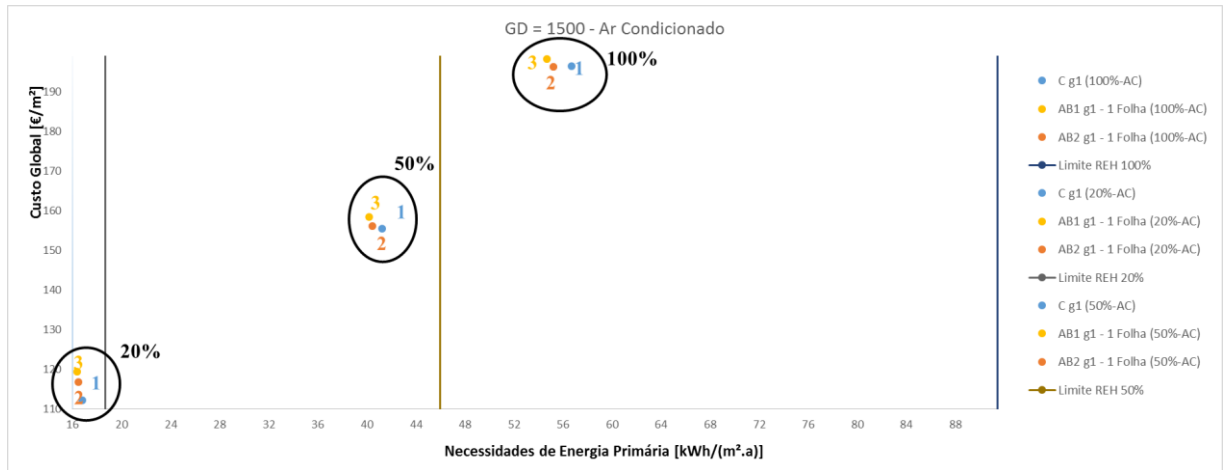


Figura 4.18 – Representação da cultura de climatização para a melhor janela de cada série nos 1500 GD, utilizando ar condicionado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho estudou-se o impacto dos envidraçados ao nível do desempenho energético e em termos de rentabilidade económica num edifício unifamiliar, para um período de 30 anos. Foram utilizados pacotes de medidas de melhoria que englobaram isolamento na envolvente, sistemas de aquecimento e envidraçados. O objetivo foi avaliar com que pacote de soluções que garante o melhor desempenho energético aliado ao menor custo global.

Este custo global inclui os custos de investimento, custos anuais, e valor residual, sendo atualizado através da taxa de desconto

Com os níveis ótimos calculados, bem como as necessidades energéticas e seus limites, admitindo que as necessidades energéticas efetivas correspondem a 20% das necessidades nominais determinadas pelo método sazonal, através das metodologias explicadas no capítulo 3 e na análise de dados no capítulo 5, conclui-se que:

- A utilização de sistemas de aquecimento com eficiência alta tem um grande impacto na poupança de energia e reduz substancialmente os custos globais em comparação a um sistema de baixa eficiência.
- Embora os limites regulamentares de necessidades energéticas sejam alargados, por se tratar de um edifício existente, os mesmos podem condicionar a escolha do ponto ótimo. O ponto ótimo, em determinadas situações, tem um valor de consumo energético superior ao limite exigido pelo regulamento.
- No isolamento, a solução que conduz a menores necessidades de energia primária é a que contém isolamento na cobertura e nas paredes, seguindo-lhe o isolamento apenas na cobertura e por último o isolamento nas paredes.
- Ao utilizar um sistema de baixa eficiência (emissor elétrico), o único pacote de soluções permitido pelo REH é o que contém isolamento na cobertura e nas paredes. No caso do sistema de alta eficiência (ar condicionado) já são permitidos os pacotes de soluções de isolamento na cobertura e paredes e só na cobertura, sendo este último o que apresenta custos menores, embora com maiores consumos energéticos.
- Para as três regiões analisadas, Albufeira, Amares e Alfândega da Fé, a que apresenta maiores consumos energéticos e consecutivamente maiores custos é Alfândega da Fé, que representa o clima dos 2000 GD.
- Envidraçados com um fator solar mais elevados (g_1) levam a menores consumos de energia e custos mais reduzidos. Daqui se deduz que a estação que tem uma maior expressão em Portugal é a de aquecimento, visto que nesta estação se quer maximizar

ganhos solares e para isso é necessário ter fatores solares altos, ao contrário da estação de arrefecimento.

- Nos envidraçados, a série com custo ótimo é a C g1 – 2 Folhas. Embora apresente maiores consumos energéticos esta série apresenta custos de aquisição menores, comparativamente às outras séries, o que se revelou determinante.
- A série com melhores consumos energéticos é a AB1 g1 – 2 Folhas, sendo que é a série que apresenta o caixilho com menor coeficiente de transmissão térmica.

Compreendeu-se que ao investir nas janelas com o melhor desempenho energético (AB1 g1 – 1 Folha) apenas se iria obter retorno financeiro (para o período de 30 anos) nos casos em que se utiliza um sistema de baixa eficiência de aquecimento, não havendo retorno quando se utiliza, por exemplo, ar condicionado (com eficiência elevada).

Dentro da gama de valores de envidraçados para este estudo, apurou-se os ganhos que se obtêm ao aumentar o fator solar e ao diminuir o coeficiente de transmissão térmica. A análise revelou que o fator solar tem um peso de cerca de 80% nos ganhos energéticos e consecutivamente monetários, enquanto o coeficiente de transmissão térmica apenas apresenta uma importância de 20%. Ao nível dos ganhos financeiros, menores coeficientes de transmissão térmica, revelam maiores os ganhos. Estes tal como as necessidades energéticas, aumentam progressivamente com o aumento dos graus-dias.

O fator solar financeiramente tem maior expressão que o coeficiente de transmissão térmica. Ao aumentar dos 1000 GD para os 1500 GD verifica-se monetariamente maiores ganhos, com a utilização de fatores solares mais elevados. Contudo para os 2000 GD os ganhos estabilizam mantendo-se constantes.

Ao aumentar as necessidades energéticas para os 100%, a solução ótima altera-se, tomando a envolvente um papel mais importante. Para Amares e Alfândega da fé, que são os climas com maior número de graus dias, o ponto ótimo altera-se, passando a ser economicamente viável investir no isolamento na cobertura e paredes, bem como a série de janelas com o ponto ótimo passa a ser a AB2 g1 – 1 Folhas, para o ar condicionado. Para o emissor elétrico, como o investimento ótimo já era em isolamento na cobertura e paredes, apenas se regista mudança do envidraçado. Neste caso, a série com melhor desempenho térmico é a que garante o custo ótimo. Em Albufeira, como é a região que tem menores necessidades energéticas, a série ótima no ar condicionado mantém-se a mesma que nas necessidades energéticas a 20%, contudo ao utilizar-se emissor elétrico o ponto ótimo passa a estar na série AB2 g1 – 1 Folha.

Para as necessidades energéticas a 50% verifica-se o meio-termo entre os 20% e os 100%, havendo um melhor entendimento do peso que a percentagem de necessidades energéticas

utilizadas tem sobre a escolha das soluções ótimas. Sendo que para o ar condicionado as soluções se mantêm iguais aos 20%, contudo ao utilizar o emissor elétrico as soluções ótimas já passam a ser iguais às necessidades a 100%.

Concluiu-se que nem sempre a melhor solução de custo ótimo é a melhor ao nível ambiental (com menores necessidades energéticas), sendo que vai depender dos sistemas em utilização, bem como a percentagem de necessidades energéticas que realmente está a ser utilizada no edifício. Portanto determinou-se, para as necessidades energética a 20%, para a gama de valores em estudo, a janela mais rentável, para os dois tipos de sistema em uso, encontra-se na série C g1 – 1 Folha, com um coeficiente de transmissão térmica de $2,45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e um fator solar de 0,59. Por outro lado a janela com o melhor desempenho térmico que leva a menores consumos pertence à série AB1 g1 – 1 Folha, tem um coeficiente de transmissão térmica de $1,79 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e um fator solar de 0,59.

As duas janelas mencionadas apresentam o mesmo vidro, com um fator solar de 0,59 e um coeficiente de transmissão térmica de $1,4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Embora este seja o vidro com o maior coeficiente de transmissão térmica também é aquele que tem o maior fator solar. Este último parâmetro tem um peso muito maior nos ganhos do envidraçado do que o coeficiente em questão. Portanto, para o caso em estudo, torna-se preferível investir em envidraçados com um fator solar mais elevado do que em coeficientes transmissão térmica mais baixos.

Tendo em conta a vasta gama materiais que podem constituir uma janela, nomeadamente na parte do caixilho e do vidro, e a carência de estudos sobre estes, tem havido cada vez mais uma procura na Europa e no Mundo acerca do desempenho energético e rentabilidade económico destas. Nesse sentido, surgem trabalhos que poderão ser abordados, no seguimento desta dissertação:

- Estudo da aplicação de diferentes caixilhos e vidros, em janelas com diferentes dimensões;
- Estudo de edifícios de referência em épocas de construção diferentes bem como diferentes tipologias;
- Análise da evolução dos custos de energia bem como a comparação de diferentes cenários a empregar em Portugal.
- Otimização da orientação das janelas do edificado bem como a utilização de palas de sombreamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boermans, T., Bettgenhauser, K., Hermelink, A., Shimschar, S., and other Ecofys international staff. (2011). “Cost Optimal Building Performance Requirements”. European Council for an energy efficient economy.
- Comissão Europeia (2010). “Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)”, *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Comissão Europeia (2012). “Regulamento Delegado (eu) N.º. 244/2012 da Comissão de 16 de janeiro de 2012”, *Jornal Oficial da União Europeia*.
- Comissão Europeia, (2012a). “Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (UE) n.º. 244/2012 da comissão, de 16 de janeiro de 2012, que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relative ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparative para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e das components de edifícios”, *Jornal oficial da União Europeia*.
- Corgnati, S.P., Et al. (2013). “Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application”. ISAF-Applied Energy, Vol. 102, pp. 983-993.
- CYPE@ (2014). <http://www.geradordeprecos.info/>. Gerador de preços para a construção civil. CYPE Ingenieros, S.A.
- EN ISO 10211:2007 – Thermal bridges in building construction – heat flows and surface temperatures – detailed calculations. European committee for Standardization, 2007.
- EPBD (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), Off. J. Eur. Union, vol. L153/13-15,(2010).
- European Commission (2010). “EU energy trends to 2030 – Update 2009”, 2010.
- Eurostat@ 2014. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Main_Page#Electricity_prices_for_household_consumers, “Eurostat – Half-yearly electricity and gas prices”.
- Gonçalves, M. (2013). “Avaliação da rentabilidade económica de medidas de reabilitação energética em edifícios multifamiliares anteriores a 1960”, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2013

- Hamby, M., Hasan, A., Siren, K. (2012). “A multi-stage optimization for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the EPBD-recast 2010”. *Energy and Buildings*, Vol. 56, pp. 189-203.
- INE e I.P/DGEG (2010). “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico”, ISSN 2182-0139, Instituto Nacional de Estatística, Direção Geral de Energia e Geologia, Edição 2011, Lisboa-Portugal.
- INE (2012). “Censos 2011 – Resultados Definitivos”, Instituto Nacional de Estatística, Portugal.
- ISO 10077-1:2006(E) – Thermal performance of Windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General. European committee for Standardization, 2006.
- ISO 13789:2007 – Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method. European committee for Standardization, 2007.
- ISO 13790:2006 – Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. European committee for Standardization, 2006.
- ISO 15459:2007 – Energy performance of buildings. Economic evaluation procedure for energy systems on buildings. European committee for Standardization, 2007.
- Isolani P. (2008). “Eficiência energética nos edifícios residenciais”, EnerBuilding.eu, Energy Efficiency, Lisboa
- Itecons, (2014). “Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios”. Documento de cálculo, Versão 3.6, 2014.
- IteCons@ (2014). <http://www.itecons.uc.pt>. Apresentação “Requisitos Regulamentares – Térmica”, Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, Portugal.
- Kurnitski, J., Allard, F., Braham, D., Goeders, G., Heiselberg, P., Jagemar, L., Kosonen, R., Lebrun, J., Mazzarella, L., Railio, J., Seppanen, O., Schmidt, M., Virta, M. (2011). “How to define nearly net zero energy building nZEB – REHVA proposal for uniformed national implementation of EPBD recast”, REHVA Jornal.
- LNEC (2011). “Marcação CE de portas e janelas no âmbito da norma EN 14351-1 – Resultado do inquérito de 2011”, Relatório 411/2011 – NAICI, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Edição 2011, Lisboa-Portugal.
- Paris, A. e Agis, M. (2014). “Cost-Optimal insulation thickness in dry and mesothermal climates: Existing models and their improvement”. *Energy and Buildings*, Vol. 68, pp. 203-212.
- PORTADA@ (2015). <http://www.pordata.pt/Portugal/Edif%3%ADcios+segundo+os+Censos+total+e+por+%C3%A9poca+de+constru%3%A7%3%A3o-93>. Base de Dados Portugal Contemporâneo, Portugal.

- P. Capros, L. Mantzos, N. Tasios, A. De Vita, N. Kouvaritakis (2010). “EU energy trends to 2030 – Update 2009”. European Commission – Directorate-General for Energy in collaboration with climate action DG and mobility and transport DG.
- Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) (2013) – DL 118/2013 de 20 de agosto, *Diário da República*.
- Ribeiro, J. (2013). “Exigências de desempenho energético segundo critérios de rentabilidade económica: caso de edifícios unifamiliares existentes anteriores a 1960”, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2013
- Tadeu, S., Simões, N., Ribeiro, J., Gonçalves, M., Tadeu, A. (2013). “Energy Efficiency Measures in Portuguese Residential Buildings Constructed Before 1960: A Cost-Optimal Assessment”. Energy for Sustainability 2013, Coimbra.
- Tadeu, S., Tadeu, A., Simões, N., Gonçalves, M. (2014). “The Impact of Thermal Insulation Cost on the Profitability of Energy Rehabilitation of Buildings”. 40th IAHS World Congress on Housing, Sustainable Housing Construction, Funchal.