

SOLUÇÕES OTIMIZADAS DE REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS PARA ATINGIR OS NZEB



Manuela ALMEIDA
Professora Associada
Universidade do Minho, Guimarães



Marco FERREIRA
Arquiteto
Universidade do Minho, Guimarães



Ana RODRIGUES
Investigadora
Universidade do Minho, Guimarães

SUMÁRIO

A produção e consumo dos vários tipos de energia são dos grandes responsáveis pelas emissões de gases com efeito de estufa que contribuem para as alterações climáticas. No sentido de reduzir as emissões tendo em vista a mitigação das alterações climáticas, o setor dos edifícios, enquanto um dos grandes consumidores de energia, é um alvo de intervenção importante no que concerne à redução dos consumos e consequentes emissões de CO₂. Neste contexto, nos últimos anos a Comissão Europeia tem vindo a publicar Diretivas com um grau de exigência crescente em relação ao desempenho dos edifícios, de modo a torna-los mais eficientes, ainda que de uma forma que seja rentável no ciclo de vida do edifício. De modo a perceber o potencial de melhoria de desempenho energético dos edifícios do parque habitacional português, analisaram-se alguns edifícios representativos do mesmo, com e sem medidas de melhoria de desempenho energético, avaliando a rentabilidade do investimento ao

longo do ciclo de vida do edifício. Os resultados permitem verificar que as medidas que têm maior impacto são a alteração dos sistemas de climatização e preparação de águas quentes sanitárias e a melhoria do desempenho das fachadas e coberturas. O presente documento foca-se especificamente nas componentes opacas das fachadas, apresentando os níveis ótimos de rentabilidade para o seu desempenho energético em operações de reabilitação de edifícios existentes de diferentes épocas e em diversas zonas climáticas, e mostrando como estes elementos podem contribuir para a obtenção de edifícios de energia quase-zero.

1. INTRODUÇÃO

As emissões de gases com efeito de estufa são um dos principais responsáveis pelo aquecimento global e fenómenos climáticos que afetam a vida no planeta, como cheias, secas, tempestades, entre outros. Os desenvolvimentos na avaliação das causas das alterações climáticas e na consciencialização sobre os limites dos recursos do planeta levaram a que em 1997, em Quioto, fosse estabelecido um protocolo com o objetivo de estabilizar a concentração dos gases com efeito de estufa na atmosfera [1].

O cumprimento deste protocolo tem levado a que muitas nações comecem a tomar medidas no sentido de mitigar a tendência de crescimento até agora registada. Com base em diversos estudos realizados, constatou-se que todos os setores da sociedade contribuem de forma significativa para o aumento das emissões de gases com efeito de estufa, sendo que a produção e o consumo de energia são das atividades que mais contribuem para esse aumento [2].

Quase todos os setores da sociedade consomem energia, desde transportes, agricultura, edifícios, etc.. No conjunto dos países da União Europeia, o setor dos edifícios é o maior consumidor de energia, com cerca de 40% da energia total consumida, e é responsável por 33% das emissões de CO₂, prevendo-se que estes números continuem a aumentar [2] se nada de significativo for feito.

Grande parte dos edifícios na Europa apresenta baixo desempenho energético, com consumos de energia elevados e consequentemente elevadas emissões de CO₂. Em Portugal, o setor dos edifícios é o segundo maior consumidor de energia e o parque habitacional é composto maioritariamente por edifícios com mais de 20 anos, que apresentam baixos desempenhos energéticos [3]. Neste contexto, compreende-se que os edifícios sejam um alvo de intervenção importante para a redução dos consumos de energia e consequente redução das emissões de CO₂ [2].

Além da questão das alterações climáticas, em países como Portugal que são energeticamente dependentes de outros mercados por não possuírem reservas de combustíveis fósseis, reduzir os consumos pode ser uma forma de tornar o país menos dependente das oscilações de preços de energia, com vantagens claras em termos económicos [4].

Para além disso, o setor dos edifícios apresenta um grande potencial de poupança energética, sendo necessário aplicar medidas nesse sentido, que deverão passar não só pela melhoria das condições físicas dos edifícios, mas também pela produção de energia a partir de fontes renováveis [4].

Numa tentativa de mitigar estes problemas, diversas políticas têm sido postas em prática no sentido de reduzir os efeitos nefastos das emissões de CO₂. O setor dos edifícios tem sido alvo de diversas alterações legislativas devido ao impacto em termos de emissões e consumo de energia, com a Comissão Europeia a promover diversas alterações nas políticas existentes para este setor. Em 2010, foi publicada uma alteração à diretiva para o desempenho energético dos edifícios, a EPBD recast, cujas principais alterações estão essencialmente relacionadas com a introdução dos conceitos de nível de rentabilidade ótimo dos requisitos mínimos do desempenho energético do edifício e dos seus componentes e o conceito nZEB (edifício com consumos de energia próximo do zero) [5].

A análise dos níveis ótimos de rentabilidade, tal como inicialmente desenhada, é mais vocacionada para as entidades legisladoras, uma vez que os requisitos vão ser estabelecidos pelas mesmas, mas a mesma metodologia pode ser igualmente aplicada pelo consumidor final numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício de um determinado investimento relacionado com a melhoria do desempenho energético do edifício [6].

Os requisitos mínimos a impor ao desempenho de um edifício são os limites estabelecidos pelos regulamentos para o desempenho de cada elemento do edifício (fachadas, coberturas, pavimentos, ...) bem como para os equipamentos utilizados. Os regulamentos apontam também para que os edifícios nZEB sejam alcançados com recurso a sistemas de climatização e aquecimento de águas sanitárias (AQS) que utilizem energia renovável, cumprindo a premissa de manter os níveis de rentabilidade ótima [5].

De modo a que haja uma análise comum em todos os Estados Membros da União Europeia, a Comissão Europeia estabeleceu uma metodologia para a determinação destes níveis de rentabilidade ótima, que relaciona a energia consumida pelo edifício com uma determinada solução de melhoria de desempenho implementada bem como com o respetivo custo ao longo do seu ciclo de vida [7].

De modo a perceber como os conceitos custo ótimo e nZEB se articulam baseados na metodologia de custo ótimo, foram analisados alguns edifícios que reúnem as características mais comuns do parque habitacional português. Os capítulos seguintes apresentam os edifícios e as principais conclusões do estudo.

2. METODOLOGIA

A metodologia estabelecida pela Comissão Europeia define os níveis ótimos de rentabilidade como sendo os níveis de desempenho energético que conduzem ao mais baixo custo ao longo do ciclo de vida económico estimado. Trata-se, portanto, de uma análise de ciclo de vida e estes custos são determinados considerando os custos de investimento, os custos de manutenção e os custos de funcionamento relacionados com energia.

Genericamente, a metodologia assenta na avaliação e comparação de diversas soluções de reabilitação para um determinado edifício com base no consumo de energia primária e no custo global, que engloba custos de investimento e exploração, ao longo do seu período de vida útil. Trata-se uma análise de ciclo de vida, com base em valores atuais líquidos. A figura seguinte mostra de forma genérica os resultados da aplicação da metodologia.

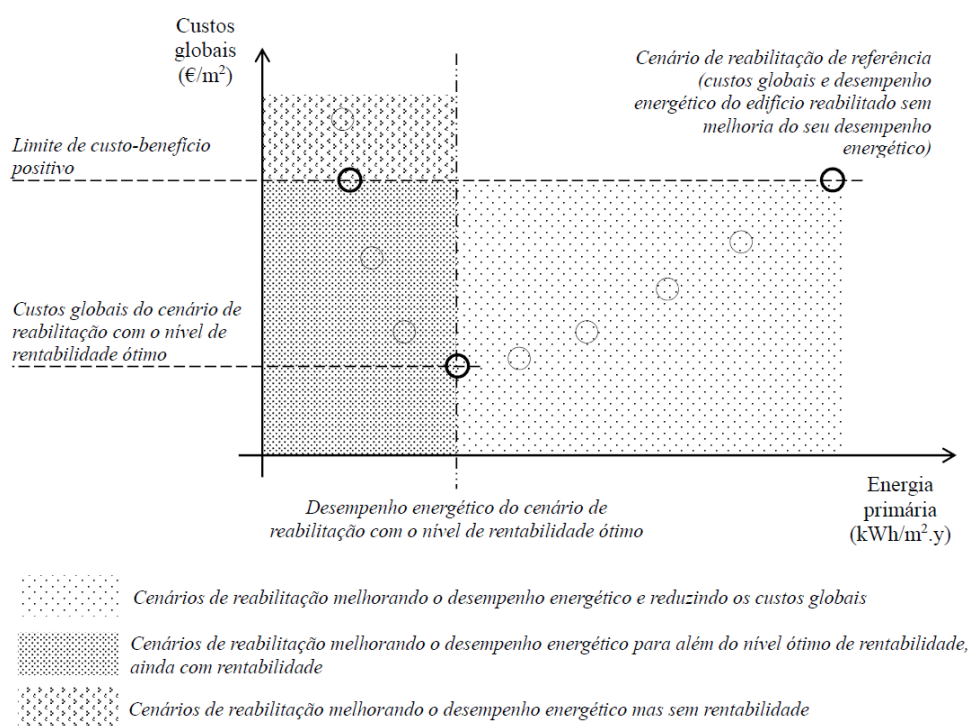


Figura 1: Resultados genéricos da avaliação custo ótimo

Na Figura 1, cada ponto corresponde a uma possível solução de reabilitação de onde resultam um determinado consumo de energia primária e um custo. Normalmente, o primeiro ponto à direita corresponde à referência, que é uma solução de reabilitação onde o desempenho energético não é melhorado. Todas as comparações são realizadas em função desta variante de referência. Todos os cenários que apresentam um custo global inferior ao custo da solução de referência são considerados com rentabilidade positiva. O nível ótimo de rentabilidade é obtido com o cenário que corresponde ao ponto mais baixo da curva. Os cenários que apresentarem um custo global superior ao custo da solução de referência deixam de ter rentabilidade positiva e não são rentáveis.

Esta metodologia foi desenvolvida com o intuito de serem obtidos resultados que possam ser extensíveis à globalidade do parque habitacional. Nesse sentido, foi estabelecida a definição de edifício de referência, que tanto pode ser um edifício real como um edifício virtual, mas que deve reunir as características mais comuns do parque edificado. As características particulares dos edifícios, como a localização, geometria, tipologia, estado de conservação e soluções construtivas, condicionam o desempenho energético dos edifícios e consequentemente os níveis ótimos de rentabilidade do mesmo.

Tendo em vista a completa caracterização do edifício, é necessário não só fazer o levantamento das características físicas e geométricas, mas também calcular as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias. A eletricidade consumida para iluminação e alimentação de aparelhos domésticos não foi considerada porque não varia em função das medidas de melhoria consideradas.

Após caracterizar os edifícios é necessário estabelecer medidas de melhoria de desempenho térmico dos mesmos. Estas medidas podem afetar um ou mais elementos do edifício. A combinação de medidas pode originar efeitos sinérgicos que melhoram os resultados em termos de desempenho energético, comparativamente com medidas isoladas. O maior número de medidas consideradas conduz a uma maior precisão dos níveis ótimos de rentabilidade. A determinação das combinações de medidas é um processo iterativo, em que os resultados obtidos em cada pacote de medidas de melhoria orientam a escolha de novos pacotes de medidas que permitam reduções nos custos globais.

Um dos principais desafios é assegurar que todas as medidas relevantes são consideradas na análise mantendo o exercício de cálculo gerível e equilibrado.

Para a determinação dos custos globais associados a cada cenário de intervenção, é calculado o valor atual líquido dos custos durante o ciclo de vida do edifício, tomando em consideração os custos de investimento e a soma dos custos anuais relativos ao funcionamento do edifício, em cada ano. Os custos de investimento incluem todos os custos relativos à realização das obras para implementar as medidas de melhoria. Os custos anuais incluem substituição de elementos após o seu tempo de vida, energia e manutenção. Para ações de reabilitação, o período considerado para o ciclo de vida é de 30 anos, de acordo com o estipulado no Regulamento Delegado nº 244/2012 [7]. Para este estudo foi considerada uma taxa de desconto de 6%, uma vez que, de acordo com as orientações que acompanham o Regulamento Delegado, taxas superiores a 4% refletem uma abordagem mais comercial de avaliação de investimentos, a curto prazo, estabelecendo um cenário de investimento interessante para um investidor privado. A taxa de desconto varia consoante o estado membro e visa refletir o respetivo contexto financeiro e condições do crédito hipotecário [7].

Dado tratar-se de uma análise ao longo do ciclo de vida do edifício, os custos da energia basearam-se nos custos de mercado e a previsão da evolução dos custos de energia seguiu as previsões da publicação EU Energy Trends 2030 para a eletricidade (http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/index_en.htm) e o cenário IEA para o gás natural (<http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2010/>).

2.1 Metodologia aplicada ao caso de estudo

Os edifícios de referência analisados foram criados com base em dados recolhidos na base de dados do sistema nacional de certificação do desempenho energético dos edifícios, decorrentes dos certificados energéticos. Os edifícios foram separados em unifamiliares e multifamiliares por quatro épocas construtivas: edifícios construídos até 1960, entre 1960 e 1990, entre 1990 e

2012 e edifícios novos. Para além disto, alterando outros parâmetros relevantes, podem ser criados diferentes edifícios que caracterizam a generalidade do parque edificado nacional. A zona climática e o número de fachadas dos edifícios podem ser fatores que, quando alterados, originam edifícios de referência diversos. Existem diferenças em termos de necessidades energéticas entre, por exemplo, um edifício de topo, que possui uma maior área de envolvente exterior, e um edifício em banda.

Neste estudo foram consideradas diferentes zonas climáticas e no caso dos edifícios multifamiliares, optou-se por estudar os edifícios de topo, onde as medidas de melhoria de envolvente têm maiores impactos. As localizações estudadas e os tipos de edifício considerados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das localizações analisadas por tipo de edifício

Localização	Zona Climática	Altitude	Tipo de edifício analisado
Porto	I1V2	100	Unifamiliar
Lisboa	I1V3	54	Unifamiliar/Multifamiliar
Bragança	I3V2	817	Unifamiliar/Multifamiliar
Braga	I2V2	168	Unifamiliar/Multifamiliar
Portalegre	I2V3	500	Unifamiliar
Montalegre	I3V1	993	Unifamiliar
Armamar	I3V3	605	Unifamiliar
Funchal	I1V3	37	Unifamiliar/Multifamiliar
P. Delgada	I1V2	48	Unifamiliar/Multifamiliar

Após definir os edifícios de referência a utilizar no estudo, é necessário caracterizar o seu desempenho energético através do cálculo das suas necessidades energéticas. A caracterização do edifício permite desde logo ter a noção dos elementos que apresentam piores desempenhos energéticos e que têm o maior potencial para contribuir para melhorias significativas do seu comportamento térmico.

Após esta análise prévia, é necessário estabelecer medidas de melhoria de desempenho energético que tenham em conta intervenções quer na envolvente quer nos equipamentos do edifício bem como a consideração de sistemas de produção de energia renovável no local. A seleção das medidas baseou-se em critérios de mercado e também na minimização do incómodo causado aos utilizadores. Ou seja, foram escolhidas as medidas mais correntes no mercado da construção para melhoria do desempenho energético, que permitem maior rapidez de execução e preços mais competitivos.

Para os diversos cenários de intervenção no edifício, é necessário de seguida calcular as suas necessidades energéticas.

O cálculo da energia é realizado com base na norma EN 13790 adaptada para o regulamento Português Decreto-lei nº118/2013 e respetivos Despachos nº 15793 (C a L). O intervalo de temperaturas considerado foi entre os 18°C e os 25°C.

Para o cálculo dos custos globais, foi necessário calcular o investimento para aplicação de cada um dos pacotes de medidas de melhoria. Os valores dos materiais e mão-de-obra foram baseados em valores do mercado da construção em Portugal e calculados através da ferramenta gerador de preços da CYPE® [8]. Os custos de manutenção também foram calculados com a mesma ferramenta de cálculo.

Com o valor das necessidades energéticas e os custos globais para cada variante, é possível elaborar gráficos semelhantes ao da Figura 1, por edifício de referência, que descrevem a energia primária e os custos globais das diversas soluções.

2.2 Edifícios de referência

As características construtivas dos edifícios de referência unifamiliares e multifamiliares utilizados neste estudo são apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Na Tabela 2 são descritas as soluções construtivas por elemento da envolvente. Na Tabela 3 são apresentados os dados geométricos e valores de coeficiente de transmissão térmica para cada elemento do edifício.

Tabela 2 - Descrição das características construtivas dos edifícios

Elemento	Data de construção do edifício		
	Antes de 1960	Entre 1960 e 1990	Entre 1990 e 2012
Parede	Alvenaria ordinária de pedra, rebocada em ambas as faces, com espessura total de 50cm	Alvenaria de tijolo furado de 22cm e reboco com 2 cm em ambas as faces	Alvenaria dupla de tijolo furado 11+11, com 3cm de XPS* e reboco com 2cm em ambas as faces
Cobertura	Inclinada revestida com telha cerâmica, laje aligeirada de blocos cerâmicos com espessura de 15cm e teto com 2cm em estuque	Inclinada revestida com telha cerâmica, laje aligeirada de blocos cerâmicos com espessura de 15cm e teto estuque de 2cm	Inclinada revestida com telha cerâmica, com 3cm de XPS*, laje aligeirada de blocos cerâmico de 15cm e revestimento do teto de 2cm em estuque
Pavimento	Revestimento em ladrilho, 4cm de betonilha, laje aligeirada de 15cm e teto com 2cm em reboco	Revestimento em ladrilho, 4cm de betonilha, laje aligeirada de 15cm e teto com 2cm em reboco	Revestimento em ladrilho, 4cm de betonilha, 3cm de XPS*, laje aligeirada de 15cm e revestimento de teto com 2cm em reboco
Envidraçado	Caixilharia de madeira e vidro corrente simples; Fator solar global com proteções móveis e fixas ativadas: 0,38; Sombreamento: Cortinas Transparentes Claras	Caixilharia metálica de correr sem corte térmico e vidro simples corrente; Fator solar global com proteções móveis e fixas ativadas: 0,30; Sombreamento: Portadas interiores de cor clara	Caixilharia metálica de correr sem corte térmico e vidro simples corrente; Fator solar global com proteções móveis e fixas ativadas: 0,04; Sombreamento: Persianas plásticas exteriores cor clara

*XPS = poliestireno extrudido

Tabela 3 - Caracterização da geometria dos edifícios unifamiliares e do desempenho energético dos principais elementos da sua envolvente

Época	Área útil (m ²)		Área de envolvente por orientação (m ²)		Valor U (W/m ² .°C)	
	Unif.	Multif.	Unif.	Multif.	Unif. /Multif.	
Antes de 1960	80	520	Paredes: N,S,E e O = 21,14 m ² /orientação	Paredes: N,S = 154,56 m ² /orientação, E, O = 77,28 m ² /orientação	Parede	2,00
			Envidraçados: N,S,E, O = 3 m ² /orientação	Envidraçados: N,S= 26m ² ; E, O = 13 m ² /orientação	Cobertura	2,80
					Pavimento	2,10
1960 a 1990	100	560	Paredes: N,S,E e O = 23,25 m ² /orientação	Paredes: N,S = 152,8 m ² /orientação; E, O = 76,40 m ² /orientação	Parede	1,76
			Envidraçados: N,S,E, O = 3,75 m ² /orientação	Envidraçados: N,S= 28m ² ; E, O = 14 m ² /orientação	Cobertura	2,80
					Pavimento	2,10
1990 a 2012	155	760	Paredes: N,S,E e O = 38,01 m ² /orientação	Paredes: N,S = 152,16 m ² /orientação; E, O = 76,08 m ² /orientação	Parede	0,92
			Envidraçados: N,S,E, O = 7,75 m ² /orientação	Envidraçados N,S= 50,64 m ² ; E, O = 25,32 m ² /orientação	Cobertura	0,94
					Pavimento	0,78
				Envidraçados	3,10	

Em relação aos sistemas de climatização e AQS considerados no edifício, os mais comuns são o esquentador a gás para preparação de águas quentes sanitárias e a resistência elétrica para aquecimento.

2.3 Medidas de melhoria

Genericamente, as medidas de melhoria escolhidas passam pela aplicação de isolamento na envolvente, substituição de janelas e substituição de sistemas de climatização e preparação de AQS. Foram também testados sistemas de geração de energia através de fontes renováveis, nomeadamente energia solar térmica e fotovoltaica.

Ao nível das paredes, as soluções de reabilitação passam por sistema ETICS com EPS (poliestireno expandido) com espessuras que variam entre os 30mm e os 100mm. Para a cobertura considerou-se a aplicação de lâ de rocha com espessuras entre os 80mm e os 120mm, e para o pavimento a solução considerada foi também a aplicação de lâ de rocha com espessuras a variar entre os 40mm e os 80mm. Para os envidraçados, as soluções passam pela substituição da caixilharia por novas caixilhariças em alumínio ou PVC, com vidro duplo corrente. A Tabela 4 contém a descrição das diversas combinações de medidas para a envolvente do edifício, analisadas no presente estudo.

Tabela 4 - Resumo das medidas de melhoria da envolvente opaca e envidraçada

Soluções Construtivas			
Paredes	Pavimentos	Cobertura	Envidraçados
SC1		$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm	$U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia alumínio
SC2	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=40mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm	$U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia alumínio
SC3	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=40mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=40mm	$U = 2,50 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia alumínio
SC4	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=40mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=40mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm $U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC5	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=50mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=60mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=100mm $U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC6	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=60mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=60mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=120mm $U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC7	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=80mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=120mm $U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC8	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=100mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=120mm $U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC9	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=100mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=120mm $U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC10	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=160mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=120mm $U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC11			$U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC12		$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=40mm	$U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia de PVC
SC13	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=40mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=40mm	$U = 2,4 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC
SC14	$\lambda = 0.037 \text{ W/m}^2\text{C}$; EPS, e=180mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=80mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/m}^2\text{C}$; Lã de rocha, e=120mm $U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{C}$; Caixilharia PVC

Em relação às combinações de sistemas de climatização e preparação de AQS consideradas no estudo, as mesmas são apresentadas na Tabela 5.

Os pacotes de medidas de melhoria analisados resultaram da conjugação de cada um dos pacotes de melhoria da envolvente do edifício, apresentadas na Tabela 4, com cada uma das combinações de equipamentos apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo da combinação de sistemas de climatização e preparação de AQS analisados

Combinação	Sistemas		
	Aquecimento	Arrefecimento	AQS
1	COP=4,10; Multi split	EER=3,50 ; Multi split	$\eta=0,87$; Esquentador a Gás natural
2	COP=3,33; Bomba de calor	EER=2,68; Bomba de calor	COP=3,33; Bomba de calor
3	COP=4,10; Multi split	EER=3,50 ; Multi split	$\eta=0,80$; Termoacumulador elétrico
4	$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa	EER=3,50 ; Multi split	$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa
5	$\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural	EER=3,50 ; Multi split	$\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural
6	$\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural		$\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural
7	$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa		$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa
8	COP=4,10; Multi split	EER=3,50; Multi split	$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa

3. RESULTADOS

Com a aplicação da metodologia atrás apresentada é possível traçar curvas de custos associados a cada intervenção nos edifícios de referência. De seguida são apresentados dois exemplos dos resultados obtidos para cada uma das combinações de cenários de intervenção na envolvente (SCn) com os diferentes sistemas de climatização e AQS (Combinação n). Cada conjunto de pontos referentes a cenários de reabilitação utilizando a mesma combinação de equipamentos de climatização e preparação de AQS conforma uma curva de custos. A Figura 2 mostra os resultados para dois edifícios unifamiliares localizados em Lisboa e Bragança e construídos antes de 1960, e a Figura 3 mostra os resultados para dois edifícios multifamiliares, também em Lisboa e Bragança e construídos no período compreendido entre 1960 e 1990.

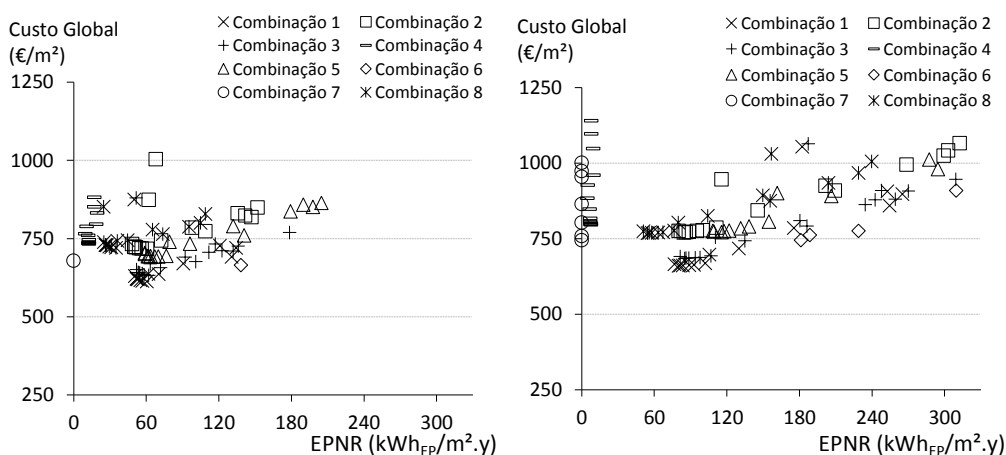


Figura 2: Curvas de custos para o edifício unifamiliar construído antes de 1960, em Lisboa (à esquerda) e Bragança (à direita)

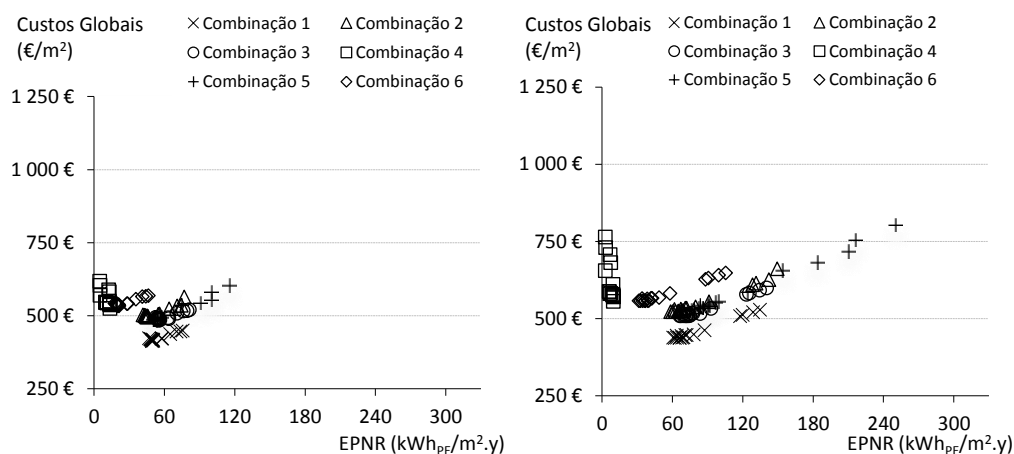


Figura 3: Curvas de custos para um edifício multifamiliar construído entre 1960 e 1990, em Lisboa (à esquerda) e Bragança (à direita)

Nestas situações, o sistema que conduz à variante ótima (a de menor custo global) é a combinação 1, ou seja, a que corresponde à existência de um ar condicionado multi-split para aquecimento e arrefecimento ambiente e um esquentador a gás natural para preparação de AQS (de acordo com o indicado na Tabela 5). Em relação à solução da envolvente, verificam-se variações consoante a zona climática em que o edifício está inserido. Na zona climática de inverno I1, a solução ótima corresponde ao cenário SC4 (ver Tabela 4 para descrição dos componentes da solução), na zona I2 ao cenário SC5 e na zona I3 ao cenário SC8. Para cada zona, a variante ótima relativa à envolvente, na maioria dos casos, mantém-se mesmo considerando combinações diferentes de sistemas de climatização e AQS.

Observando as Figuras 2 e 3, também é possível verificar que os sistemas baseados em energia renovável, como é o caso da biomassa, levam a consumos de energia primária não renovável (EPNR) muito próximos do zero. Os resultados obtidos, bem como estudos anteriores [9], mostram que a solução com rentabilidade ótima da envolvente se mantém qualquer que seja a combinação de sistemas de climatização e AQS considerados, com exceção do caso em que se utilizem sistemas baseados em energia renovável.

De seguida mostram-se os resultados obtidos para os edifícios unifamiliares e multifamiliares por época de construção e zonamento climático de inverno. Dado que os resultados se repetem dentro da mesma zona climática, apesar de terem sido analisados sete edifícios unifamiliares por zona, apenas se mostram os resultados para quatro edifícios que cobrem as três zonas de inverno no continente e as regiões autónomas.

3.1. Edifícios unifamiliares

Uma vez que as zonas de inverno são mais relevantes para o caso do clima português, os resultados apresentados incidem sobre quatro edifícios localizados nas três zonas de inverno do continente (Lisboa, Braga e Bragança) e uma zona nas regiões autónomas (Funchal). Uma vez que na generalidade dos casos a mudança de sistemas de climatização e AQS não afeta a variante ótima da envolvente, será apresentada apenas uma curva por gráfico, relativa à combinação 1, que é o sistema com rentabilidade ótima. Em cada gráfico, o ponto mais isolado em relação à curva corresponde à situação onde são analisadas as contribuições de sistemas com energia renovável (solar térmico ou solar fotovoltaico).

3.1.1. Edifícios construídos antes 1960

Estes edifícios não têm isolamento em nenhum dos elementos e normalmente têm sistemas de climatização e AQS com baixa eficiência. Após analisadas as medidas de melhoria supracitadas, os resultados obtidos para a combinação de sistemas 1 (Tabela 5), são apresentados nas Figuras 4 e 5.

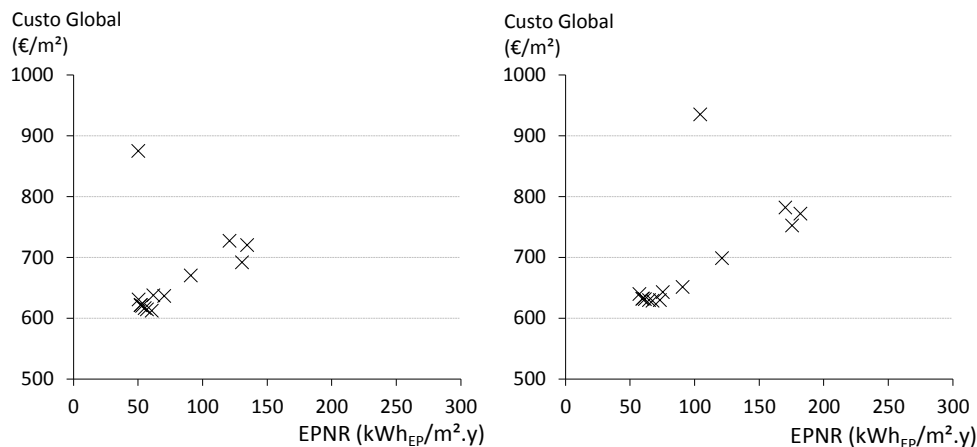


Figura 4: Edifício unifamiliar, anterior a 1960, localizado em Lisboa (I1) (à esquerda) e Braga (I2) (à direita)

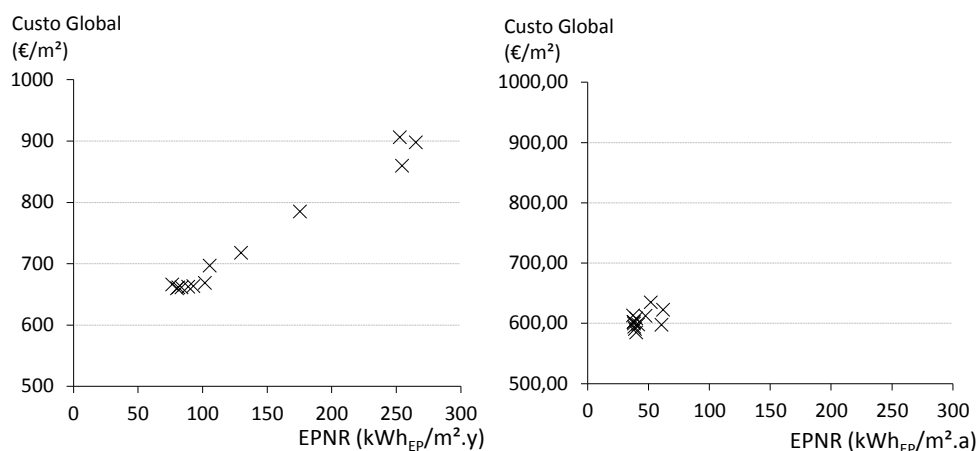


Figura 5: Edifício unifamiliar, anterior a 1960 localizado em Bragança (I3) e Funchal (I1)

Nas figuras, os pontos que estão mais aglomerados, quer em custos quer em energia, correspondem a medidas com intervenção em todos os elementos da envolvente. A variante ótima encontra-se entre estes pontos, sendo o ponto mais baixo da curva.

No caso da zona I1 (continente e regiões autónomas), a variante que corresponde ao nível ótimo de rentabilidade inclui uma solução com paredes com um valor de U de $0.67 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, uma cobertura com U de $0.42 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e um pavimento com U de $0.62 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. No caso da zona I2, a variante com rentabilidade ótima inclui paredes com U de $0.57 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, pavimento com U de $0.47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e cobertura com U de $0.47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Na zona I3, os valores são $0.33 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ na parede, $0.30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ na cobertura e $0.38 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ no pavimento. O coeficiente de transmissão térmica das janelas é 2.4. A zona I3 é a zona mais exigente em termos de envolvente do edifício e a zona I1 a menos exigente, sendo apresentada na Tabela 6 uma síntese destes resultados.

Tabela 6 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos que compõem a solução de rentabilidade ótima para os edifícios unifamiliares anteriores a 1960

Coeficientes de transmissão térmica U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)			
	Zona climática I1	Zona climática I2	Zona climática I3
Paredes	0.67	0.57	0.33
Cobertura	0.42	0.47	0.30
Pavimentos	0.62	0.47	0.38
Envidraçados	2.40	2.40	2.40

3.1.2 Edifícios construídos entre 1960 e 1990

Apesar de haver algumas diferenças nas soluções construtivas dos edifícios construídos entre 1960 e 1990 em relação aos anteriores, na generalidade continuam a não possuir isolamento em nenhum dos elementos que compõe o edifício e os sistemas têm igualmente baixa eficiência. Os resultados da aplicação das diversas medidas de melhoria são apresentados nas Figuras 6 e 7.

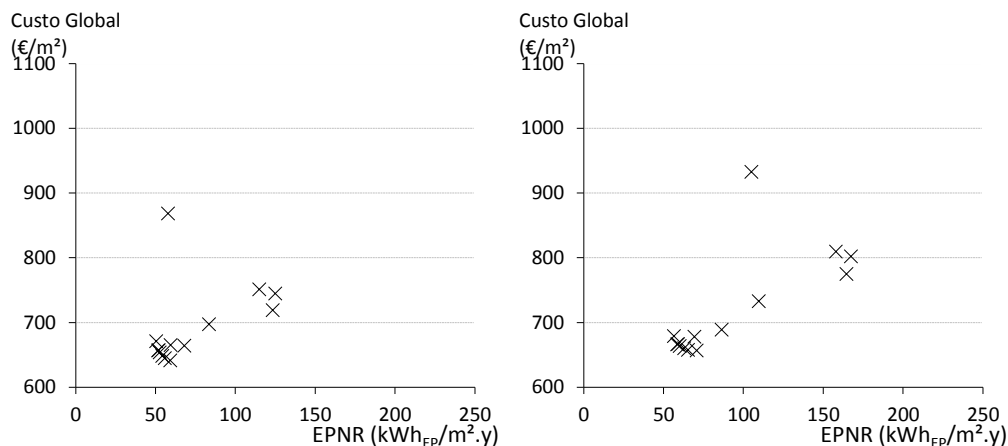


Figura 6: Edifício unifamiliar, do período entre 1960 e 1990, localizado em Lisboa (I1) (à esquerda) e Braga (I2) (à direita)

Nestes edifícios, com exceção da zona I3, a variante com nível de rentabilidade ótimo apresenta um valor de U de $0.64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ nas paredes, $0.62 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ no pavimento e $0.42 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ na cobertura. Na zona I3 a variante ótima corresponde a níveis de isolamento superiores, com valores de U de $0.55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ nas paredes, $0.35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ na cobertura e $0.47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ no pavimento. Os envidraçados apresentam um valor de U de $2.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ em todas as zonas.

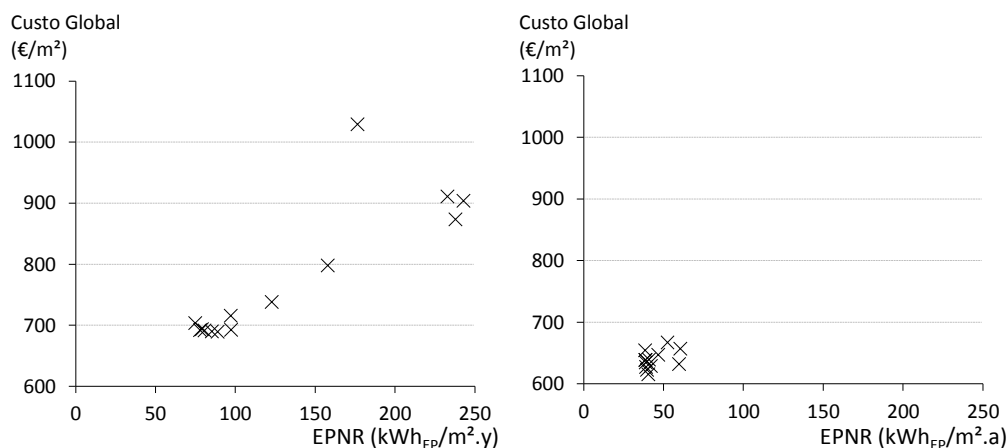


Figura 7: Edifício unifamiliar, do período entre 1960 e 1990, localizado em Bragança (I3) e Funchal (I1)

Tabela 7 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos que compõem a solução de rentabilidade ótima para os edifícios unifamiliares construídos entre 1960 e 1990

Coeficientes de transmissão térmica U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)			
	Zona climática I1	Zona climática I2	Zona climática I3
Paredes	0.64	0.64	0.55
Cobertura	0.42	0.42	0.35
Pavimentos	0.62	0.62	0.47
Envidraçados	2.40	2.40	2.40

A tabela 7 resume os resultados das soluções de reabilitação com rentabilidade ótima para esta época construtiva.

3.1.3 Edifícios construídos entre 1990 e 2012

Os edifícios construídos entre 1990 e 2012, tendo em atenção a regulamentação existente à época, já apresentam isolamento em todos os elementos do edifício, uma vez que foram construídos após a entrada em vigor do primeiro regulamento térmico português (1991). É por isso de esperar que o impacto das medidas de melhoria implementadas seja menor que nos casos anteriores porque, à partida, estes edifícios já apresentam melhores desempenhos energéticos. O potencial de poupança energética é pois menor. As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados da aplicação das diversas medidas de melhoria a estes edifícios.

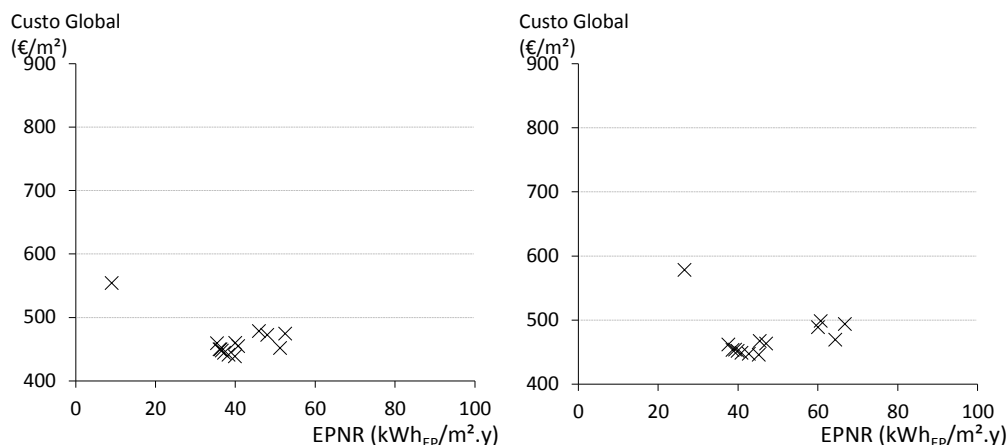


Figura 8: Edifício unifamiliar, do período entre 1990 e 2012, localizado em Lisboa (I1) e Braga (I2)

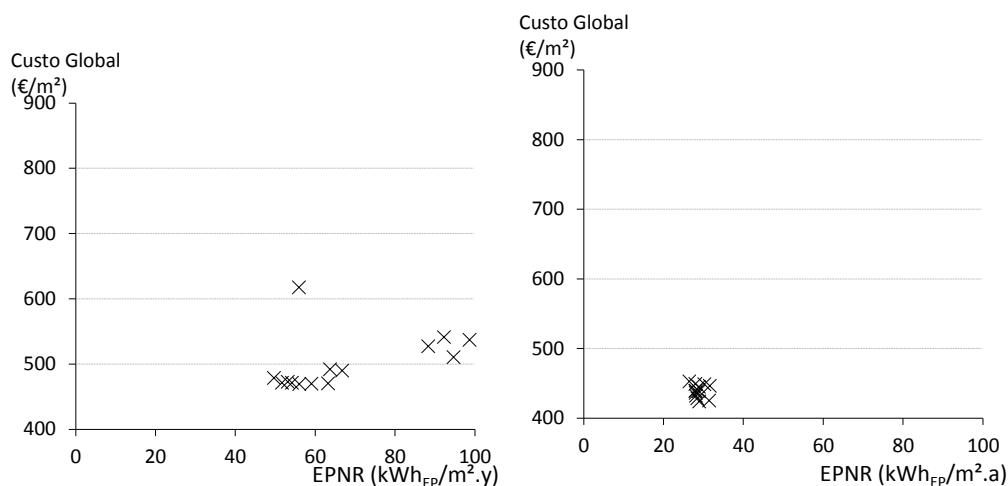


Figura 9: Edifício unifamiliar, do período entre 1990 e 2012, localizado em Bragança (I3) e Funchal (I1)

Para estes edifícios, com exceção da zona I3, a variante com nível de rentabilidade ótimo apresenta um valor de U de $0.48 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ nas paredes, $0.42 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ no pavimento e $0.37 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ na cobertura. Na zona I3 a variante ótima corresponde a valores de U de $0.39 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ nas paredes, $0.23 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ na cobertura e $0.34 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ no pavimento. Os envidraçados apresentam um valor de U de $2.4 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Os resultados das soluções de reabilitação com nível de rentabilidade ótimo por zona climática são sintetizados na tabela 8.

Tabela 8 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos que compõem a solução de rentabilidade ótima para os edifícios unifamiliares construídos entre 1990 e 2012

Coeficientes de transmissão térmica U (W/m ² .°C)			
	Zona climática I1	Zona climática I2	Zona climática I3
Paredes	0.48	0.48	0.39
Cobertura	0.37	0.37	0.23
Pavimentos	0.42	0.42	0.34
Envidraçados	2.40	2.40	2.40

3.2 Edifícios Multifamiliares

De seguida são apresentados os resultados para os edifícios multifamiliares isolados. Mais uma vez estão divididos por época construtiva e por zonamento climático de inverno conforme previsto na regulamentação portuguesa, nomeadamente no Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto (REH) [10]. As localizações são as mesmas que as apresentadas para os edifícios unifamiliares (Lisboa, Braga, Bragança e Funchal). Uma vez que estes edifícios são constituídos por diversas frações, os resultados de desempenho energético provêm de uma média ponderada dos mesmos por fração. Tal como para os edifícios unifamiliares, como a variante de rentabilidade ótima se mantém a mesma para a generalidade das combinações de sistemas considerados, os resultados são apresentados apenas para a combinação de sistemas 1 (Tabela 5). Esta combinação mostrou ser a ótima uma vez que apresenta a curva com valores mais baixos, entre todas as combinações analisadas.

3.2.1 Edifícios construídos antes de 1960

Estes edifícios têm soluções construtivas, ao nível da envolvente, idênticas às dos edifícios unifamiliares, variando essencialmente no número de pisos e frações. À semelhança dos unifamiliares, estes edifícios também não apresentam isolamento em nenhum dos elementos que compõe o edifício. Os sistemas considerados são iguais aos considerados nos edifícios unifamiliares. Os resultados do impacto da aplicação das medidas de melhoria nestes edifícios são apresentados nas Figuras 10 e 11.

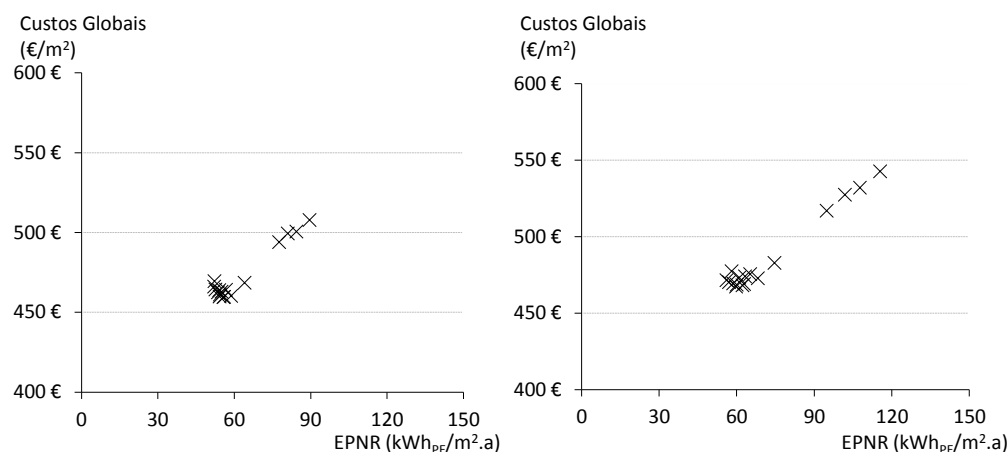


Figura 10: Edifício multifamiliar, anterior a 1960, localizado em Lisboa (I1) (à esquerda) e Braga (I2) (à direita)

Para os edifícios desta época construtiva e para as zonas I1 e I2, os níveis ótimos de rentabilidade são encontrados para a combinação de valores de U de 0.67 W/m².°C nas paredes, 0.61 W/m².°C no pavimento e 0.42 W/m².°C na cobertura. Na zona I3 a variante ótima corresponde a valores de U de 0.57 W/m².°C na parede, 0.35 W/m².°C na cobertura e 0.47

$W/m^2 \cdot ^\circ C$ no pavimento. O coeficiente de transmissão dos envidraçados é mais exigente que nos edifícios unifamiliares, tomando o valor de $2.1 W/m^2 \cdot ^\circ C$.

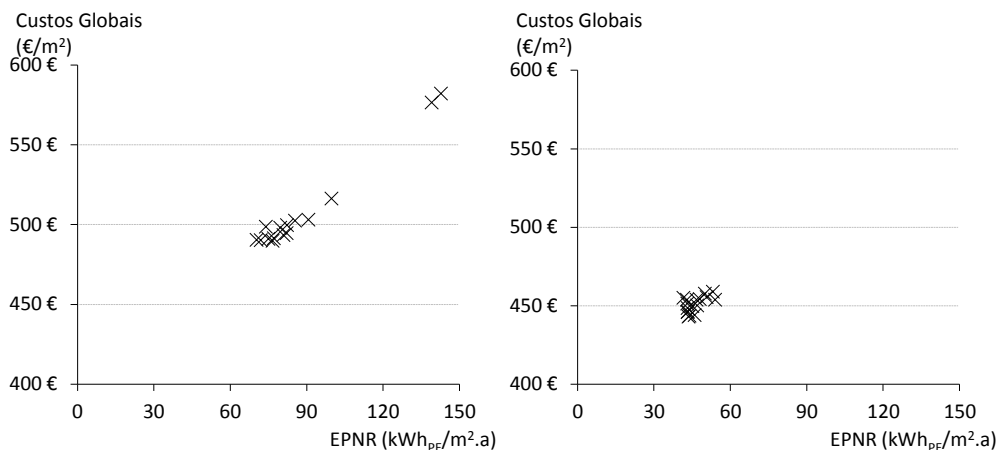


Figura 11: Edifício multifamiliar, anterior a 1960, localizado em Bragança (I3) (à esquerda) e no Funchal (I1) (à direita)

A tabela 9 apresenta uma síntese dos resultados das soluções com rentabilidade ótima para esta época construtiva.

Tabela 9 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos que compõem a solução de rentabilidade ótima para os edifícios multifamiliares anteriores a 1960

Coeficientes de transmissão térmica U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)			
	Zona climática I1	Zona climática I2	Zona climática I3
Paredes	0.67	0.67	0.57
Cobertura	0.42	0.42	0.35
Pavimentos	0.61	0.61	0.47
Envidraçados	2.40	2.40	2.40

3.2.2 Edifícios construídos entre 1960 e 1990

As características construtivas dos edifícios desta época também não preveem qualquer tipo de isolamento nos elementos que compõe o edifício. As soluções construtivas são iguais às dos edifícios unifamiliares construídos neste período.

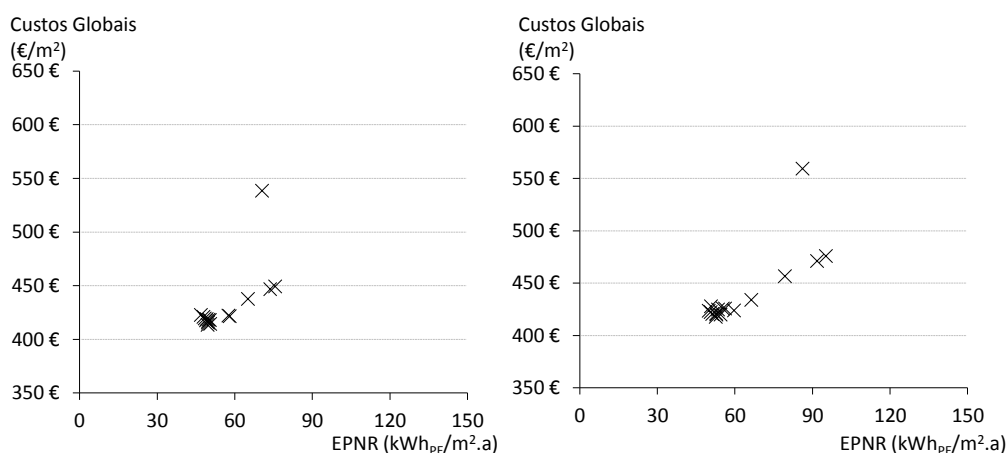


Figura 12: Edifício multifamiliar, do período entre 1960 e 1990, localizado em Lisboa (I1) (à esquerda) e Braga (I2) (à direita)

As Figuras 12 e 13 apresentam os resultados da aplicação das medidas de melhoria, nas quatro referidas localizações.

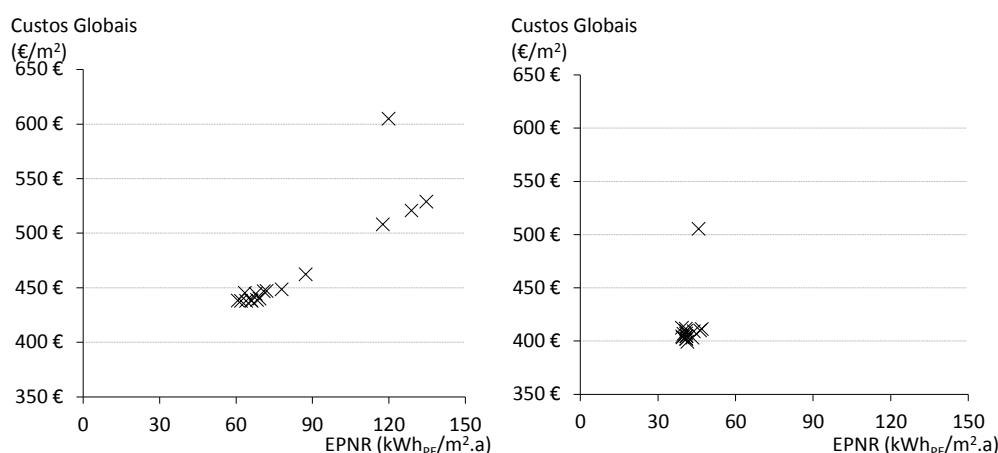


Figura 13: Edifício multifamiliar, do período entre 1960 e 1990, localizado em Bragança (I3) (à esquerda) e no Funchal (I1) (à direita)

Tabela 10 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos que compõem a solução de rentabilidade ótima para os edifícios multifamiliares construídos entre 1960 e 1990

	Coeficientes de transmissão térmica U (W/m ² .°C)		
	Zona climática I1	Zona climática I2	Zona climática I3
Paredes	0.57	0.57	0.50
Cobertura	0.42	0.42	0.35
Pavimentos	0.61	0.61	0.40
Envidraçados	2.40	2.40	2.40

Para os edifícios desta época construtiva, os níveis de rentabilidade ótimos são atingidos com valores de U de 0.57 W/m².°C nas paredes, 0.42 W/m².°C na cobertura e 0.61 W/m².°C no pavimento, nas zonas I1 e I2. A zona I3 é mais exigente e os níveis de rentabilidade ótima correspondem a uma solução com valor de U de 0.50 W/m².°C na parede, 0.35 W/m².°C na cobertura e 0.40 W/m².°C no pavimento. Os envidraçados tem um valor de U de 2.4. As características de desempenho energético dos elementos que compõem as soluções de rentabilidade ótima são resumidos na tabela 10.

3.2.3 Edifícios construídos entre 1990 e 2012

Os edifícios construídos no período entre 1990 e 2012 já apresentam melhor desempenho energético que os anteriores uma vez que já contemplam isolamento nos elementos que compõe o edifício. Assim, o impacto das medidas de melhoria será menor que nos edifícios pertencentes às duas épocas construtivas anteriores. Os resultados das análises apresentam-se nas Figuras 14 e 15, separados mais uma vez, pela zona climática de inverno.

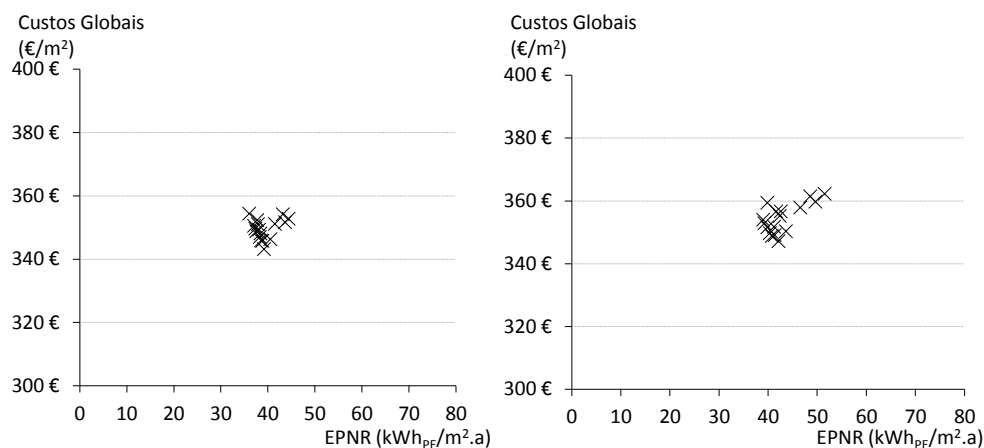


Figura 14: Edifícios multifamiliares, do período entre 1990 e 2012, localizados em Lisboa (I1) (à esquerda) e Braga (I2) (à direita)

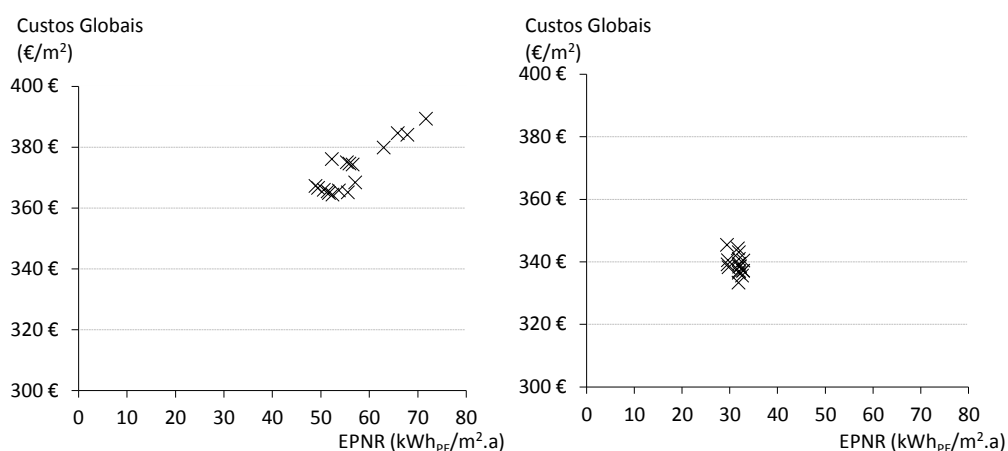


Figura 15: Edifícios multifamiliares, do período entre 1990 e 2012, localizados em Bragança (I3) (à esquerda) e Funchal (I1) (à direita)

Para os edifícios desta época construtiva, os níveis de rentabilidade ótimos são atingidos com valores de U de $0.46 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ nas paredes, $0.32 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ na cobertura e $0.40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ no pavimento, em todas as zonas climáticas. Os envidraçados tem um valor de U de $2.40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, sendo os resultados das características térmicas sintetizados na tabela 11.

Tabela 11 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos que compõem a solução de rentabilidade ótima para os edifícios multifamiliares construídos entre 1990 e 2012

Coeficientes de transmissão térmica U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)			
	Zona climática I1	Zona climática I2	Zona climática I3
Paredes	0.46	0.46	0.46
Cobertura	0.32	0.32	0.32
Pavimentos	0.40	0.40	0.40
Envidraçados	2.40	2.40	2.40

3.3. Análise dos resultados

Os resultados obtidos e atrás descritos para os vários cenários de reabilitação de edifícios residenciais uni e multifamiliares, permitem identificar o potencial de melhoria das componentes opacas das fachadas dos edifícios que compõem o parque habitacional português, numa perspetiva de otimização da relação custo-benefício, e saber quais os valores do

coeficiente de transmissão térmica das paredes, entre outros, que conduzem à melhor solução, entre as analisadas, ao longo do seu ciclo de vida. Estes valores variam consoante a altitude e localização do edifício, dentro das zonas climáticas previstas pelo REH [10].

Tendo em consideração as zonas climáticas definidas na atual regulamentação relativa ao desempenho térmico dos edifícios, a Tabela 12 compara os coeficientes de transmissão térmica de referência constantes da mesma regulamentação para as paredes, com os obtidos para as variantes com nível de rentabilidade ótimo em cada edifício de referência analisado.

Tabela 12 - Valores de U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para paredes de acordo com o Roadmap 2013* e para as soluções de custo ótimo

Zona	I1	I2	I3	II R.A.**
Valor de referência (Roadmap 2013*)	0,50	0,40	0,35	0,80
Unifamiliars				
Até 1960	0,67	0,57	0,33	0,67
1960 a 1990	0,64	0,64	0,55	0,64
1990 a 2012	0,48	0,48	0,39	0,48
Multifamiliars				
Até 1960	0,67	0,67	0,57	0,67
1960 a 1990	0,57	0,57	0,50	0,57
1990 a 2012	0,46	0,46	0,46	0,46

* O Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto apresenta para os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente, valores de referência evolutivos ao longo do tempo, sendo que os valores em vigor até 31 de dezembro de 2015, são designados por Roadmap 2013

** Regiões Autónomas

Observando a Tabela 12 é possível verificar que, de um modo geral, o coeficiente de transmissão térmica de referência definido na atual regulamentação, não apresenta uma boa correlação com os valores do coeficiente de transmissão térmica que conduzem aos níveis ótimos de rentabilidade. Os valores que conduzem aos níveis ótimos de rentabilidade encontram-se, em muitos casos, acima dos valores de referência. Com exceção das regiões autónomas e da zona II no continente para os edifícios construídos entre 1990 e 2012, os níveis ótimos correspondem a coeficientes de transmissão térmica superiores aos valores de referência, o que parece apontar para a possibilidade de algum alívio ou flexibilização na reabilitação das fachadas dos edifícios existentes.

Verifica-se ainda que os coeficientes de transmissão térmica ótimos que foram encontrados para as paredes são os mesmos quaisquer que sejam as combinações de equipamentos para climatização e preparação de AQS que são utilizados, incluindo ou não equipamentos que utilizam ou produzem energia de fonte renovável. Sendo assim, e tendo por base o que foi referido acima sobre a definição de edifícios nZEB, a obtenção deste tipo de edifícios de uma forma rentável no ciclo de vida do edifício, seria conseguida utilizando para a envolvente as soluções com rentabilidade ótima adicionadas de sistemas de geração de energia renovável. Os cenários testados utilizando as bombas de calor e as caldeiras de biomassa, demonstram esta aproximação à definição nZEB, com os valores de energia primária já muito próximos do zero e com a utilização de energia de fonte renovável.

De salientar que os coeficientes de transmissão térmica ótimos apresentados na Tabela 12 resultam da combinação das características iniciais dos edifícios (decorrentes da sua época de construção) e das medidas de melhoria implementadas, designadamente a resistência térmica do isolamento aplicado. De modo a sistematizar os resultados alcançados na perspetiva da intervenção a executar para obter os níveis ótimos de rentabilidade, são apresentados de seguida mapas com os valores de resistência térmica a adicionar aos edifícios existentes de modo a obter os níveis ótimos de rentabilidade para as paredes, por época construtiva.

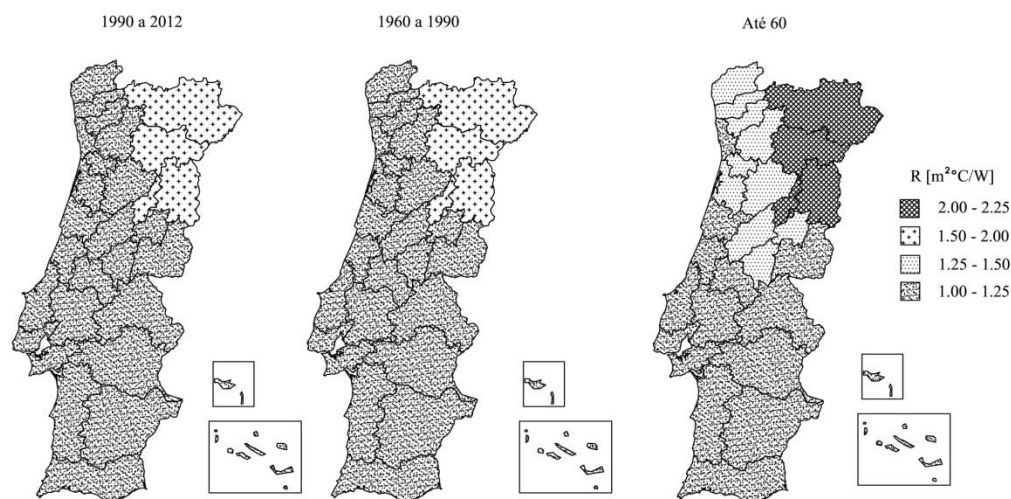


Figura 16: Valores de resistência térmica (m²·°C/W) a adicionar às paredes exteriores nos edifícios unifamiliares existentes para a obtenção dos níveis de rentabilidade ótima do seu desempenho energético

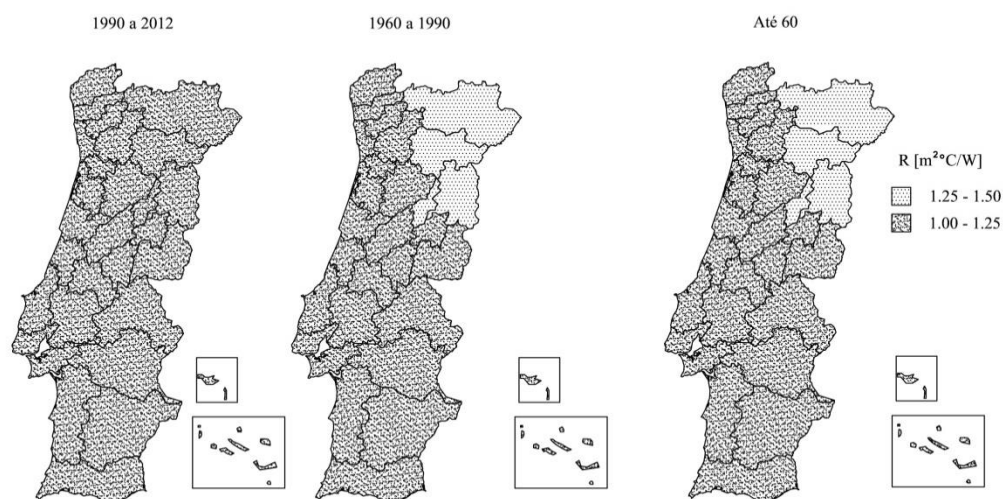


Figura 17: Valores de resistência térmica (m²·°C/W) a adicionar às paredes exteriores nos edifícios multifamiliares existentes para a obtenção dos níveis de rentabilidade ótima do seu desempenho energético

A Figura 16 apresenta os resultados para os edifícios unifamiliares e a Figura 17 para os edifícios multifamiliares. Observando as figuras, verifica-se que os edifícios unifamiliares apresentam maiores variações de valores no território português. Os multifamiliares e em particular nas duas últimas épocas construtivas, são bastante homogéneos, o que decorre do facto de apresentarem um rácio mais baixo entre a área de envolvente exterior e o volume interior, diminuindo o impacto das medidas de melhoria das fachadas no desempenho energético do edifício.

Importa salientar que os resultados apresentados são gamas indicativas dos valores que servem a generalidades dos edifícios, mas cada caso deve ser analisado individualmente para obtenção de valores mais exatos.

4. CONCLUSÕES

Com as atuais mudanças na regulamentação europeia, o atual estado da economia e as crescentes preocupações com a sustentabilidade do planeta, torna-se importante avaliar os investimentos numa perspetiva de ciclo de vida, em detrimento de uma perspetiva de retorno rápido do investimento. A metodologia de determinação dos níveis ótimos de rentabilidade tem em consideração este princípio e permite obter o melhor balanço entre custos e energia, possíveis de serem atingidos com intervenções de melhoria energética nos edifícios. A avaliação no ciclo de vida permite não só poupar recursos, mas também melhorar o conforto e o desempenho energético dos edifícios de uma forma rentável.

De acordo com a regulamentação portuguesa relativa ao desempenho energético dos edifícios, a obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade é o primeiro passo a ser dado para se atingir os edifícios considerados nZEB. Ou seja, a obtenção de edifícios nZEB seria conseguida combinando as medidas com rentabilidade ótima para a envolvente com sistemas de climatização e AQS que utilizem energia renovável.

A análise apresentada ao longo do presente artigo demonstra a adequabilidade desta definição. Efetivamente, os níveis ótimos de rentabilidade para a reabilitação da envolvente dos edifícios existentes não são afetados pela combinação de equipamentos de climatização e preparação de AQS utilizados, recorrendo ou não à utilização ou produção de energia de origem renovável.

Comparados com os níveis de referência que constam da presente regulamentação térmica, para as fachadas a reabilitar, os níveis ótimos de rentabilidade do seu desempenho térmico correspondem a valores muitas vezes superiores aos valores de referência. Este facto aponta para a possibilidade de algum alívio ou flexibilização na reabilitação das fachadas dos edifícios existentes, ainda que os níveis ótimos de rentabilidade impliquem sempre a melhoria do desempenho energético das fachadas, mesmo para os edifícios característicos do período entre 1990 a 2012, onde já se pressupõe a existência de isolamento na construção original.

Analisada qual a intervenção necessária ao nível das fachadas dos edifícios existentes para a obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade, verifica-se que os edifícios unifamiliares apresentam maior sensibilidade às variações das zonas climáticas, com maior variabilidade nos níveis de resistência térmica a adicionar ao edifício pré-existente para obter os níveis de rentabilidade ótima, ao passo que nos multifamiliares estas variações por zona só se verificam nos edifícios construídos até 1990 e para a zona climática I3. Em ambas as tipologias a zona climática I3 é a que claramente se apresenta com necessidades de melhoria do desempenho energético para um patamar de maior exigência, sendo que as zonas I1 e I2 apresentam resultados muito homogéneos.

De referir por último que, apesar do presente artigo se focar na situação específica das partes opacas das fachadas, os níveis ótimos de rentabilidade para a reabilitação dos edifícios existentes são sistematicamente obtidos com a utilização de conjuntos de medidas de melhoria que abrangem a totalidade dos elementos fundamentais dos edifícios, designadamente as paredes exteriores, as coberturas, os pavimentos, os envidraçados e os sistemas de climatização e preparação de AQS. Esta intervenção global afigura-se como o aspeto mais relevante para a obtenção de níveis de rentabilidade otimizados para o período para o qual se reabilita, sobrepondo-se à obtenção de níveis de desempenho muito elevados em cada elemento individual.

5. REFERÊNCIAS

- [1] European Commission (2006). The European Climate Change Programme. European Communities ISBN 92-79-00411-5.

- [2] Boermans, T., Hermelink, A., Schimschar, S., Grözinger, J. & Offermann, M. (2011). Principles for Nearly Zero- energy Buildings - Paving the way to effective implementation of policy requirements, Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- [3] DGEG, INE (2010) Inquérito ao consumo de energia no setor doméstico.
- [4] IEA (2015) Methodology for Cost-effective Energy and Carbon Emissions Optimization in building Renovation (Annex 56).
- [5] European Parliament and the Council of the European Union (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast).
- [6] European commission (2012a) Commission Delegated Regulation (EU) N°244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of European Parliament and of the council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and buildings elements. Official Journal of the European Union L81/18.
- [7] Guidelines accompanying the Commission Delegated Regulation (EU) N° 244/2012 of 16 January 2012, supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union C115/1.
- [8] CYPE, 2015, disponível em <http://www.geradordeprecos.info/>
- [9] Ferreira, M., Almeida, M. & Rodrigues, A., Monteiro, S.,(2014).Comparing cost-optimal and net-zero energy targets in building retrofit, Building Research and Information, DOI: 10.1080/09613218.2014.975412
- [10] Ministério da Economia e do Emprego (2013) Decreto Lei n° 118/2013 de 20 agosto, Portaria n° 349B/2013 e respetivos Despachos 15793 (C a L) 2013