

# Avaliação da Sustentabilidade de Soluções de Reabilitação Energética para Coberturas de um Edifício de Habitação

Andreia Macedo

*Mestre em Construção e Reabilitação Sustentáveis  
Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

Ricardo Mateus e Sandra Silva

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Investigação C-TAC  
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

## RESUMO

A construção de novos edifícios, infraestruturas e a reabilitação deve reger-se pelos princípios de desenvolvimento sustentável. A reabilitação de edifícios pode contribuir para uma melhoria do desempenho ambiental das cidade e da qualidade de vida dos seus cidadãos. O presente trabalho tem como finalidade otimizar, sob o ponto de vista de eficiência energética e sustentabilidade, a solução de reabilitação a aplicar na cobertura de um caso de estudo. Para a avaliação do nível de sustentabilidade de diferentes soluções de reabilitação da envolvente vertical exterior dos edifícios, isto é do seu nível de desempenho global baseado em indicadores ambientais, sociais e económicos, será utilizada a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC). Os resultados obtidos neste estudo resultam da aplicação da referida metodologia a um caso de estudo. A aplicação a um caso de estudo, correspondente a um edifício unifamiliar convencional em Portugal, permitiu avaliar a influência da solução de reabilitação nos impactes ambientais incorporados, no consumo de energia e nos custos de operação.

## 1. INTRODUÇÃO

A reabilitação de edifícios é uma atividade fundamental para atingir o desenvolvimento sustentável de um país. Esta tem a capacidade e a responsabilidade de melhorar significativamente a sustentabilidade do parque habitacional existente.

A necessidade de reabilitação no parque habitacional em Portugal é evidente, dado o estado de conservação em que o mesmo encontra. É de extrema importância

resolver os problemas correntes do parque habitacional edificado, respondendo simultaneamente à necessidade de melhorar os níveis de sustentabilidade ambiental, económica e social dos mesmos. Deste modo, é essencial enquadrar a atividade de reabilitação de edifícios nos parâmetros da construção sustentável, ADENE, LNEC, INETI & IPQ (2004).

Para que uma reabilitação de edifícios de habitação se torne num processo sustentável é necessário que todo o ciclo de vida do edifício responda positivamente aos indicadores da sustentabilidade. É essencial que a eficiência energética, hídrica e a qualidade do ambiente interior do edifício seja aumentada e que, ao mesmo tempo, se reduza o consumo de materiais e a produção de poluentes durante o processo de reabilitação e se diminua o seu impacto ambiental sobre local.

Apesar do elevado ritmo de construção nova verificada nos últimos anos, o parque edificado português e em particular o sector residencial, mesmo considerando a construção mais recente, ainda é genericamente envelhecido, ADENE, LNEC, INETI e IPQ (2004).

Segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística, o parque habitacional de Portugal encontra-se degradado e com uma qualidade construtiva deficiente, INE (2008). Com estes dados conclui-se que é necessário requalificar e preservar o parque habitacional existente, evitando a sua degradação física, adotando níveis de conforto e salubridade mínimos.

As construções anteriores à entrada em vigor do primeiro regulamento acerca do comportamento térmico dos edifícios, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, são insatisfatórias do ponto de vista do seu contributo para o grau de conforto térmico do ambiente interior, pelo que estão associadas a um excessivo consumo energético para climatização. A reabilitação energética do edificado, para que este se enquadre nos requisitos impostos pelo atual RCCTE, contribui para uma redução significativa do seu consumo energético, maximizando, ao mesmo tempo, as condições de conforto, saúde e bem-estar dos seus ocupantes.

A envolvente de um edifício (paredes exteriores e cobertura) desempenha um papel fundamental na eficiência energética do mesmo. A aplicação de isolamento térmico pode possibilitar a economia de até 30% de energia, poupando-se no aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores, Lisboa E-Nova (2008).

A reabilitação energética de um edifício é assim uma abordagem inovadora e promissora para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria das condições de conforto térmico e de habitabilidade dos seus ocupantes, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação.

## 2. METODOLOGIA APLICADA

### 2.1. Objetivo

O objetivo fundamental deste trabalho passa pela seleção de soluções construtivas e processos de construção para as coberturas de edifícios, de modo a que a reabilitação seja o mais compatível possível com os objetivos relativos ao desenvolvimento sustentável.

A seleção da melhor solução de reabilitação para coberturas, segundo o nível de sustentabilidade será conduzida pela metodologia MARS-SC, Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006). Esta metodologia propõe que a sustentabilidade das soluções

construtivas seja avaliada, para cada elemento construtivo, relativamente à solução de referência e considerando os três indicadores de sustentabilidade: ambiental, funcional e económico.

Após a hierarquização, por nível de sustentabilidade, do conjunto de cenários com vista à reabilitação de coberturas, otimizou-se o edifício em estudo, implementando a solução de reabilitação de coberturas com melhor nível sustentabilidade. Para o efeito analisaram-se os seguintes aspetos:

- O comportamento térmico, calculando os consumos energéticos anuais em função do aumento da espessura de material de isolamento térmico da cobertura do edifício;
- Os custos associados à implementação das soluções reabilitação, com diferentes espessuras de material de isolamento térmico;
- Os custos associados aos consumos de energia dos cenários de reabilitação de coberturas para as diferentes espessuras de material de isolamento térmico;
- O tempo de retorno de investimento, em anos, das soluções de reabilitação em função da redução dos consumos energéticos para as diferentes espessuras de isolamento térmico dos cenários de reabilitação de coberturas.

De modo a obter a solução otimizada e determinar a solução de reabilitação mais adequada a implementar no edifício existente analisou-se o tempo de retorno do investimento da reabilitação para um caso de estudo.

## 2.2. Descrição do edifício em estudo

Para a realização do estudo definiu-se um edifício virtual equivalente a um edifício unifamiliar, localizado no Concelho de Guimarães. O edifício, de geometria quadrangular, encontra-se orientado a sul (Figura 1).

O edifício em estudo é constituído por um piso, com  $64\text{m}^2$  de área útil de pavimento e 2,7m de pé-direito livre. As paredes exteriores são constituídas por um pano duplo de alvenaria de tijolo vazado de 0,11m, separados por uma caixa-de-ar de 0,03m, rebocados em ambas as faces. A cobertura é inclinada, com quatro águas e desvão não habitável. A esteira horizontal é composta por uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas com 0,25m de espessura e 0,02m de reboco para revestimento inferior. A esteira inclinada é constituída por telhas cerâmicas apoiadas sobre uma estrutura de madeira. Os vão envidraçados são em vidro simples e caixilharia em alumínio, correspondendo a 22% da área de pavimento.

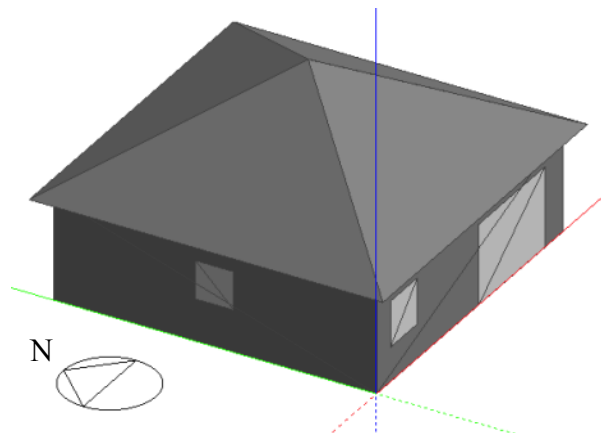


Figura 1 - Edifício em estudo.

### 2.3. Metodologia para a avaliação da sustentabilidade

A metodologia implementada neste estudo foi a Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC).

Esta metodologia propõe que a sustentabilidade das soluções construtivas seja avaliada relativamente à solução de referência, isto é, a solução construtiva mais aplicada para um determinado local.

A metodologia MARS-SC desenvolve-se em quatro etapas:

- Quantificação dos parâmetros;
- Normalização dos parâmetros;
- Agregação dos parâmetros;
- Determinação do nível de sustentabilidade.

#### 2.3.1. Quantificação dos parâmetros

A fase de quantificação dos parâmetros estabelece o número e tipo de parâmetros a analisar em cada um dos indicadores. A definição dos parâmetros depende dos objetivos da avaliação, das características próprias das soluções construtivas, das exigências funcionais que se pretendam satisfeitas, das características particulares do local e dos dados disponíveis (Mateus e Bragança, 2006)

Neste trabalho foi utilizada a ferramenta informática SimaPro, PRé-consultants (2008) e foram empregues os métodos CML Baseline 2000, CML (2001) para a avaliação de impactes ambientais e Cumulative Energy Demand, PRé-consultants (2010) para a avaliação da energia primária incorporada.

No que concerne aos parâmetros funcionais em estudo na avaliação das soluções de reabilitação de coberturas, estes foram analisados através do consumo energético para aquecimento e arrefecimento ( $\text{kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ ) e da qualidade acústica das soluções construtivas. Os consumos energéticos anuais foram estimados usando a ferramenta de simulação energética DesignBuilder, DesignBuilder (2012). A qualidade acústica foi prevista através do cálculo do índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ( $D_{2m,nT,W}$ ), usando o método do Modelo Misto proposto por Meisser, Meisser (1973) e cuja adequação às soluções construtivas portuguesas foi estudada por Diogo Mateus e António Tadeu, Mateus et al (1999).

Relativamente aos parâmetros económicos foi realizado o levantamento dos custos de construção ( $\text{€/m}^2$ ) de cada um dos cenários de reabilitação através do gerador de preços da construção incorporado na base de dados do software CYPE 2011.

#### 2.3.2. Normalização dos parâmetros

A normalização dos parâmetros tem como objetivo evitar os efeitos de escala na agregação dos parâmetros de cada indicador. Na normalização é utilizada a fórmula de Diaz-Balteiro (2004) equação 1.

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} \quad (1)$$

Em que  $P_i$  representa o resultado da quantificação do parâmetro  $i$ .  $P_i^*$  e  $P_{*i}$  correspondem ao melhor e ao pior resultado do parâmetro de sustentabilidade  $i$ .

O método de normalização utilizada torna os parâmetros considerados na avaliação da sustentabilidade adimensionais e converte-os numa escala compreendida entre 0, o pior valor, e 1, o melhor valor.

### 2.3.3. Agregação dos parâmetros

A apresentação do desempenho de uma solução através da listagem dos resultados obtidos ao nível de todos os parâmetros considerados, isto é, ambientais, funcionais e económicos, complica a compreensão do desempenho global da solução. Para solucionar esta questão, são combinados, dentro de cada dimensão, os diversos parâmetros, em função do peso (importância) que é atribuído a cada um no cumprimento dos requisitos de projeto.

As equações (2), (3) e (4) apresentam o modo como se agregam os parâmetros dentro de cada dimensão para se determinar o desempenho ao nível de cada dimensão do desenvolvimento sustentável, Ricardo Mateus e Luís Bragança(2006).

$$\bar{I}_A = \sum_{i=1}^n w_{Ai} \cdot \bar{P}_{Ai} \quad (2)$$

$$\bar{I}_F = \sum_{i=1}^n w_{Fi} \cdot \bar{P}_{Fi} \quad (3)$$

$$\bar{I}_E = \sum_{i=1}^n w_{Ei} \cdot \bar{P}_{Ei} \quad (4)$$

O peso de cada parâmetro na avaliação ao nível de cada dimensão, não é consensual, pois varia de metodologia para metodologia de avaliação e reconhecimento da construção sustentável.

### 2.3.4. Determinação do nível de sustentabilidade

A fase posterior à agregação de cada um dos parâmetros, ao nível de cada dimensão da sustentabilidade, consiste na determinação do desempenho global da solução construtiva. A nota sustentável (NS) é determinada através da equação (5), Ricardo Mateus e Luís Bragança(2006).

$$NS = w_A \cdot I_A + w_F \cdot I_F + w_E \cdot I_E \quad (5)$$

Na equação (5), NS é o resultado da ponderação de cada dimensão  $I_j$  com o respetivo peso ( $W_j$ ), na avaliação da sustentabilidade. A soma dos pesos atribuídos aos três indicadores tem de ser igual a 1, de modo a se obter uma nota sustentável compreendida entre 0 e 1, Ricardo Mateus e Luís Bragança(2006).

Como através da construção sustentável se pretende principalmente uma maior compatibilidade entre os ambientes construído e natural, sem que com isso se comprometa em primeiro lugar a funcionalidade e por fim a viabilidade económica do projeto, considera-se nesta avaliação (Mateus e Bragança, 2006):

- Peso do indicador ambiental:  $W_A = 0,3$
- Peso do indicador funcional:  $W_F = 0,5$
- Peso do indicador económico:  $W_E = 0,2$

Calculados os índices de comparação é possível avaliar, ao nível de cada parâmetro, se a solução construtiva em estudo é melhor ou pior do que a solução construtiva de referência.

### 2.3.5. Metodologia para a otimização do isolamento térmico na solução de cobertura

A otimização do isolamento térmico na solução de cobertura foi conduzida através da simulação energética do edifício em estudo. Através do programa informático Design Builder, simulou-se o consumo de energia total, em kWh/ano, para cada uma das soluções de reabilitação para as diferentes espessuras de material de isolamento térmico a implementar no edifício.

Com os valores dos consumos energéticos em kWh converteram-se os mesmos em custo económico de acordo com as tarifas energéticas em vigor. Apesar do preço do tarifário incluir o preço da potência instalada e ainda o preço de energia que varia com o seu consumo, considerou-se o valor de energia de 0,1365€/kWh, EDP (2012).

De modo a obter a solução otimizada e determinar a solução ideal de reabilitação a implementar no edifício existente analisou-se o tempo de retorno do investimento da reabilitação.

O custo correspondente ao primeiro ano corresponde à soma do custo de investimento (custo de reabilitação) com o custo de energia anual obtido através da simulação energética, tal como apresentado na equação (6).

$$C_1 = C_{reabilitação} + C_{energia} \quad (6)$$

Para um determinado período de t anos determinou-se a variação dos custos acumulados de investimento e energia através da equação (7).

$$C_t = Custo_{t-1} + (C_{energia} \times (1 + a)^t) \quad (7)$$

Em que t corresponde ao ano para o qual se pretende determinar o custo e a equivale à taxa de variação da energia, com valor de 4%.

## 3. SOLUÇÕES COM VISTA À REABILITAÇÃO DE COBERTURAS

Nesta secção apresentam-se quatro soluções construtivas de reforço de isolamento térmico para coberturas, sendo duas para coberturas inclinadas e outras duas para coberturas horizontais (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição das soluções de reforço de isolamento de coberturas.

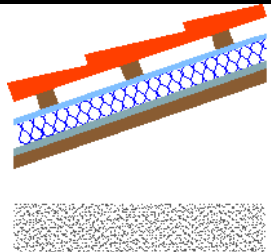
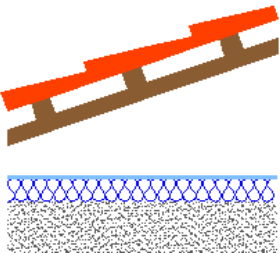
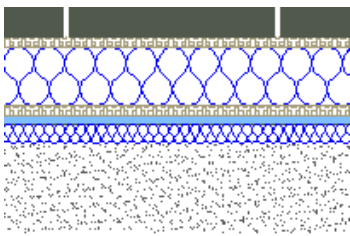
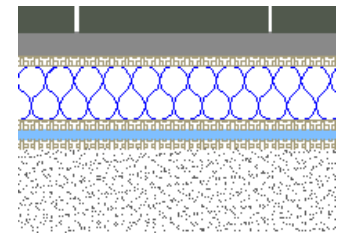
ID da solução	Corte esquemático	Descrição
Cob.1		Reforço do isolamento térmico nas vertentes inclinadas  Nesta solução considerou-se o isolamento térmico em placas de poliestireno extrudido expandido com 0,06m de espessura, como revestimento exterior telha cerâmica de dimensões 0,465 x 0,27 m, uma camada de impermeabilizante de silicone líquido com 0,001m de espessura e 0,003m de reboco para revestimento de teto

Tabela 1 (cont.)- Descrição das soluções de reforço de isolamento de coberturas

Cob.2		<p>Reforço do isolamento térmico nas esteiras horizontais</p> <p>Para a execução desta solução considerou-se o isolamento térmico em placas de poliestireno extrudido expandido com 0,05m de espessura, como revestimento exterior em telha cerâmica de dimensões 0,465 x 0,27 m, uma camada de impermeabilizante de silicone líquido com 0,001m de espessura.</p>
Cob.3		<p>Reforço do isolamento térmico em coberturas invertidas</p> <p>Para a execução desta solução considerou-se o isolamento térmico constituído por placas de poliestireno extrudido expandido com 0,05m de espessura, a proteção pesada em lajetas de betão com 0,05m, a membrana impermeabilizante em silicone líquido com 0,001m de espessura, membrana de geotêxtil com 0,001m (por cada camada) de espessura e argamassa de proteção com 0,03m.</p>
Cob.4		<p>Reforço do isolamento térmico sobre impermeabilização existente</p> <p>Para a execução desta solução considerou-se o isolamento térmico em placas de poliestireno extrudido expandido com 0,08m de espessura, a proteção pesada em lajetas de betão com 0,05m, a membrana impermeabilizante em silicone líquido com 0,001m de espessura, membrana de geotêxtil com 0,002m (por cada camada) de espessura e argamassa de proteção com 0,03m.</p>

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Avaliação da sustentabilidade das soluções de coberturas

É de extrema importância mencionar que apesar do edifício existente possuir uma cobertura inclinada com quatro águas, avaliou-se a sustentabilidade de duas opções de reforço de isolamento térmico em coberturas horizontais, para a possibilidade de o dono de obra querer um comparação de nível de sustentabilidade entre as soluções de reforço de isolamento térmico entre as esteiras inclinadas e horizontais.

Como solução de reabilitação de referência adotou-se a solução correspondente ao reforço do isolamento térmico nas vertentes inclinadas (Cob.1). Esta consideração deveu-se ao facto desta ser uma solução convencionalmente aplicada no reforço de isolamento térmico de coberturas em Portugal. Nesta solução considerou-se o isolamento térmico em placas de poliestireno extrudido expandido com 0,06m de espessura, como revestimento exterior telha cerâmica de dimensões 0,465x0,27m, uma camada de impermeabilizante de silicone líquido com 0,001m de espessura e 0,003m de reboco para revestimento de teto.


A espessura do isolante térmico de cada uma das soluções foi definida tendo por base o valor de referência do coeficiente de transmissão térmica ( $U=0,45W/m^2\text{°C}$ ) para elementos exteriores verticais em zona corrente (zonas opacas) de edifícios situados na zona climática de inverno I2, de acordo com o RCCTE. A espessura de isolamento de todas as soluções foi definida de modo a: respeitar os requisitos do RCCTE para a zona climática considerada; utilizar as espessuras de material isolante disponíveis no mercado; que todas as soluções tivessem um coeficiente global de transmissão térmica

(U) semelhante ao da solução referência. Desta forma, todas as soluções apresentam um U de aproximadamente  $0,44\text{W/m}^2\text{°C}$ .

Tabela 2 - Desempenho ambiental ( $I_A$ ), funcional ( $I_F$ ) e económico ( $I_E$ ) de cada um dos cenários de reabilitação.

Solução	$I_A$	$I_F$	$I_E$
Cob.1	0,43	0,00	0,98
Cob.2	0,45	0,75	1,00
Cob.3	0,59	0,73	0,07
Cob.4	0,41	0,87	0,00

Tabela 3 - Soluções de reabilitação de coberturas, hierarquizadas por ordem decrescente de sustentabilidade.

Solução	NS	
Cob. 2	0,71	Mais sustentável    Menos sustentável
Cob. 4	0,56	
Cob. 3	0,55	
Cob. 1	0,32	

#### 4.2. Metodologia para a otimização do isolamento térmico na solução de cobertura

Na solução em análise na metodologia de avaliação considerou-se a aplicação de placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido expandido com 0,05m de espessura. Esta solução apresenta um consumo energético de aquecimento e arrefecimento para o período de um ano de  $84,10\text{kWh/m}^2\text{.ano}$ , o qual economicamente representa um custo de  $734,374\text{€}/\text{ano}$ . No que concerne ao custo de investimento este representa um valor de  $644,48\text{€}$ .

No que se refere à otimização do isolamento térmico, considerou-se o aumento do isolamento térmico para as espessuras 0,10m, 0,15m e 0,20m.

É relevante mencionar ainda que a solução existente é composta por uma laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas com 0,25m de espessura e 0,02m de reboco para revestimento inferior do teto. A esteira inclinada é constituída por telhas cerâmicas apoiadas sobre uma estrutura de madeira.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4 é possível afirmar que qualquer que seja a espessura de isolamento a implementar no reforço de isolamento térmico na esteira horizontal é possível obter reduções significativas de consumo energético e custos associados, quando comparado com a solução existente no edifício em estudo.

Através da equação (6) determinou-se o valor de energia para o primeiro ano. Para os restantes oito anos o custo da energia foi obtido através da equação (7).

Com os resultados obtidos através das equações referidas anteriormente e definindo um período de retorno de investimento de 8 anos analisou-se graficamente o ano em que os custos acumulados da solução existente se igualam aos das soluções com diferentes espessuras de isolamento térmico. Essa análise encontra-se apresentada na Figura 6.



Tabela 4. Consumos energéticos e custos associados para as diferentes espessuras de isolamento térmico.

Solução	Consumo energético (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Custo de energia	Custo de reabilitação
Solução existente	111,55	944,48 €	0,00 €
Cob.2 com 0,05m de isolamento	84,10	734,74 €	644,48 €
Cob.2 com 0,10m de isolamento	79,54	694,85 €	949,76 €
Cob.2 com 0,15m de isolamento	77,96	681,07 €	1.254,40 €
Cob.2 com 0,20m de isolamento	76,58	669,04 €	1.559,68 €

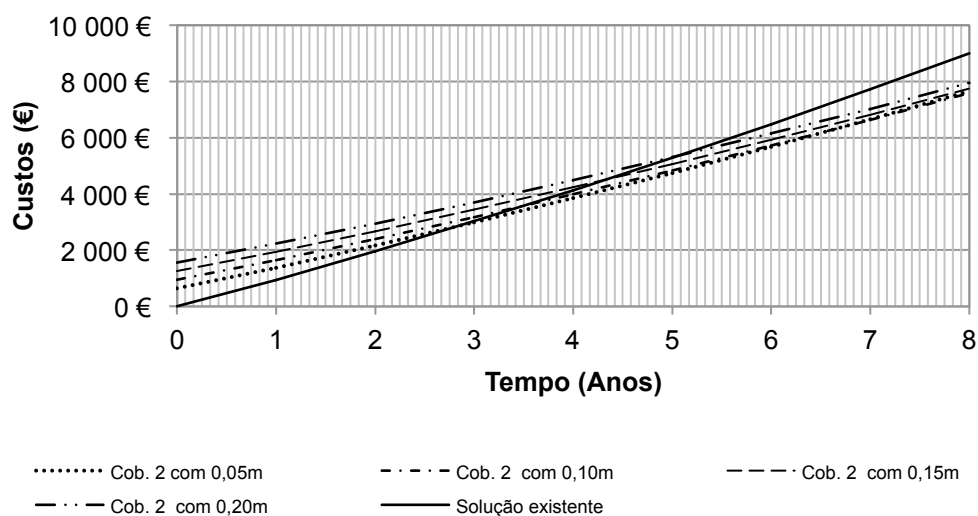


Figura 6 - Custos acumulados da solução existente e das soluções otimizadas.

Pela análise da Figura 6, verifica-se que as todas as soluções estão dentro do intervalo de tempo necessário para que a soma dos benefícios iguale à solução para manter o edifício, num período inferior a 8 anos.

Dado que a solução de reabilitação é o reforço de isolamento térmico de uma cobertura inclinada na esteira horizontal e sabendo que quanto maior for a espessura de isolamento a aplicar melhor será o seu desempenho técnico-funcional e a facilidade associada à execução desta solução de reabilitação, assumiu-se que a espessura de poliestireno expandido extrudido a implementar na solução de reforço de isolamento térmico da esteira horizontal, Cob. 2, é de 0,20m de espessura.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A reabilitação energética de um edifício existente é uma abordagem importante, que tem por objetivo melhorar a qualidade térmica da envolvente, as condições de conforto térmico dos ocupantes e racionalizar os consumos de energia.

Numa primeira fase deste estudo pretendeu-se hierarquizar os cenários de reabilitação de coberturas de acordo com seu nível de sustentabilidade. Esta análise foi conduzida através da Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas – MARS-SC.

Analisando os resultados obtidos na aplicação da metodologia MARS-SC aos quatro cenários de reabilitação de coberturas, verificou-se que, dentro desta amostra e de acordo com os parâmetros analisados, a solução de reabilitação mais sustentável corresponde à solução de reforço do isolamento térmico nas esteiras horizontais (Cob.2), enquanto a solução de reabilitação menos sustentável é a solução de reforço do isolamento térmico nas vertentes inclinadas (Cob.1).

No procedimento da otimização do isolamento térmico nas soluções de coberturas, a solução em análise foi a execução do reforço de isolamento térmico nas esteiras horizontais - Cob.2 (solução que obteve o melhor nível de sustentabilidade dentro das soluções de reabilitação de coberturas). Nesta solução, Cob.2, considerou-se a aplicação de placas de isolamento térmico em poliestireno extrudido expandido com 0,05m de espessura. Esta solução apresentou um consumo energético de aquecimento e arrefecimento para o período de um ano de 84,10kWh/m<sup>2</sup>.ano, o qual economicamente representa um custo de 734,74€/ano e um custo de investimento em reabilitação de este representa um valor de 644,48€.

No que se refere à otimização do isolamento térmico na solução de cobertura, considerou-se o aumento da espessura de isolante térmico para as espessuras de 0,10m, 0,15m e 0,20m.

Para o aumento de 0,10 m de espessura de isolamento térmico na solução de cobertura obteve-se através da simulação energética um consumo de 79,54kWh/m<sup>2</sup>.ano que em termos de custos corresponde a 694,85€/ano. Esta solução apresenta um custo de investimento em reabilitação de 1.559,68€.

No que concerne ao aumento de espessura de poliestireno extrudido expandido na solução de cobertura para 0,15m, obteve-se um consumo energético de 77,96kWh/m<sup>2</sup>.ano, que em termos de custos corresponde a 681,07€/ano. Esta solução apresenta um custo de investimento em reabilitação de 1.254,40€.

Relativamente ao aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura para 0,20m, apurou-se através da simulação um consumo energético de 76,58kWh/m<sup>2</sup>.ano, correspondendo a um custo económico de 669,04€/ano. Esta solução apresenta um investimento em reabilitação no valor de 1.559,68€.

Com os resultados obtidos verificou-se que qualquer que seja a espessura de isolamento a implementar na reabilitação é possível obter reduções significativas de consumo energético e custos associados, quando comparado com a solução existente no edifício em estudo.

De modo a obter a espessura otimizada de poliestireno expandido extrudido e determinar a solução ideal de reabilitação a implementar na cobertura do edifício existente, estudou-se o período de tempo de retorno para o investimento da reabilitação, tendo em atenção os custos de investimento de reabilitação, os custos para climatização e AQS do edifício existente e das várias espessuras de isolamento térmico.

Definiu-se um período de retorno de investimento de 8 anos e analisou-se o ano em que os custos acumulados da solução existente se igualavam às soluções com diferentes espessuras de isolamento térmico. Concluiu-se que os custos acumulados da solução existente igualavam os custos acumulados das soluções com espessura de isolante térmico de 0,05m, 0,10m, 0,15m e 0,20m num período inferior a 8 anos.

Com os resultados alcançados na otimização do isolamento térmico na solução de cobertura e sabendo que quanto maior for a espessura de isolamento a aplicar melhor será o seu desempenho técnico-funcional e a facilidade associada à execução desta solução de reabilitação, determinou-se que a espessura de poliestireno expandido extrudido a implementar na solução de reforço de isolamento térmico da esteira horizontal seria de 0,20m de espessura.

Este estudo mostra a importância da análise do tempo de retorno do investimento na reabilitação, de forma a mostrar aos clientes a relevância de não se focarem apenas no custo inicial das intervenções de reabilitação, pois é possível aumentar o conforto dos utilizadores e reduzir significativamente os custos de utilização em períodos de retorno curtos (até 8 - 10 anos).

Espera-se, que este estudo contribua de forma positiva e significativa nas tomadas de decisão dos projetistas que tenham como objetivo proporcionar melhorias nas condições de conforto dos seus utilizadores, a um patamar mínimo de custos e de impactes ambientais.

## 6. REFERÊNCIAS

ADENE, LNEC, INETI & IPQ, Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais, Informação disponível online em [<http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/0000008f/dlsmbizogvncjxjfdkgikimrulbfcqg/Reabilitaçãoenergética.pdf>], acedido em 17 de junho de 2010, (2004).

CML, CML 2 Baseline Method (2000). Centre for Environmental Studies (CML), University of Leiden, 2001, Informação online disponível em [<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/lca2/index.html>] acedido em 15 de Fevereiro de 2012, (2001).

CYPE, CYPECAD (Versão After Hours), Software para engenharia e Construção versão 2011, Portugal, (2011).

DesignBuilder, DesignBuilder. Building design, simulation and visualisation software version 3.0.0.105. DesignBuilder Software Ltd. London, United Kingdom, (2012).

Diaz-Balteiro e L. & Romero C., In a Search of a Natural Systems Sustainability Index, *Ecological Economics* 49. P. 401-405, (2004).

EDP, Tarifa edp casa, Informação disponível online em [<http://www.edp.pt/pt/particulares/edp/edpcasa/Pages/Tarifario.aspx>], acedido em 13 de Maio de 2012, (2012).

Lisboa E-Nova, Matriz Energética do Concelho de Lisboa, Lisboa: Lisboa E-Nova, Agência Municipal de Energia-Ambiente de Lisboa, (2005).

Mateus, Diogo Manuel Rosa e Tadeu, António José Barreto, Comportamento Acústico de Edifícios. Laboratório de Construções, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, (1999).

Mateus, Ricardo e Luís Bragança, Tecnologias Construtivas com Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção, Edições Ecopy: Porto, ISBN 978-989-95194-1-1, (2006).

Meisser, Mathias, *Acustica de los Edificios*, Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona, 1973 (Tradução do título original “La Pratique de L’Acoustique dans les Batiments”, S.D.T.B.T.P., Paris, (1973).

RCCTE, Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei 80/2006, (2006).

PRÉ-consultants, SimaPro 7. LCA software version 7.2. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants, (2010).

PRÉ-consultants, SimaPro Database Manual – Methods Library. Amersfoort, The Netherlands: Product Ecology Consultants, (2008).