

Contributo para a eficiência energética na reabilitação de edifícios

Sabarigo J.¹, Amado M.²

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa,
Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

² Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa,
Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

RESUMO

O parque edificado português apresenta grandes necessidades de reabilitação, não obstante o seu baixo índice de envelhecimento, sendo a ineficiência energética uma das suas principais anomalias.

Para além das consequências que esta tem para o conforto dos ocupantes, factores como a elevada dependência energética de Portugal, o constante aumento dos preços dos recursos energéticos e o impacto que a produção de energia tem para o ambiente tornam esta situação insustentável. A resolução desta problemática impõe que na reabilitação de edifícios se adotem os procedimentos da Construção Sustentável.

Com o objectivo de identificar melhorias, que sendo introduzidas possam promover o aumento da eficiência energética dos edifícios existentes foi criada e aplicada em caso de estudo uma metodologia de intervenção que permite determinar o contributo que diferentes medidas de melhoria podem ter na optimização do desempenho energético dos edifícios existentes.

Para proceder à avaliação do desempenho energético da solução base e de cada medida a implementar é proposta a realização de uma análise dinâmica com recurso ao programa EnergyPlus.

Os resultados obtidos demonstram que a optimização do desempenho energético numa habitação cujas soluções construtivas têm um bom desempenho térmico é bastante difícil de se conseguir apenas com recurso a soluções passivas.

Palavras-chave: Construção Sustentável, Eficiência Energética, Reabilitação de edifícios

INTRODUÇÃO

Portugal tem um número excessivo de habitações por habitante, em 2011 estimava-se que este valor fosse de 1,8. Apesar de ser um parque habitacional relativamente novo este tem grandes necessidades de obras de reabilitação de edifícios, no entanto, e ao contrário do que seria de esperar, o peso das obras de reabilitação de edifícios relativamente a obras de construção nova é ainda bastante reduzido. Estes dois factos fazem com que as carências quantitativas no parque habitacional português sejam residuais, mas do ponto de vista qualitativo sejam relevantes.[1]

Torna-se, portanto, evidente a importância de se proceder a uma reorientação estratégica no sector da habitação, de modo a que políticas associadas apenas à quantidade e à promoção da construção nova sejam substituídas por políticas mais eficazes de incentivo à reabilitação

urbana, com uma abordagem que tenha claras preocupações de salvaguarda do património existente, da qualidade de vida da população e da redução dos consumos energéticos.

A falta conforto térmico é uma das principais anomalias do parque edificado português, o que se reflecte na qualidade de vida dos habitantes, nos custos energéticos suportados pelos ocupantes e no impacto sobre o meio ambiente. Associados a este factor, os compromissos feitos por Portugal, relativamente ao cumprimento da estratégia 20-20-20, ao cumprimento do protocolo de Quioto, à elevada dependência energética de Portugal e a entrada em vigor da nova EPBD fazem com que exista a necessidade dos edifícios existentes melhorarem o seu desempenho térmico, o que se reflectirá na diminuição do consumo energético. Em Portugal cerca de 60% dos edifícios existentes tem classe energética inferior a B⁻, no entanto, segundo uma simulação efectuada pela ADENE, se todas as medidas que estão propostas nos certificados energéticos fossem implementadas, 85% dos imóveis passariam para a classe B⁻ ou superior, isto é, estariam acima do limite mínimo para edifícios novos. [2][3]

A mudança de paradigma na construção, em que a noção da insustentabilidade do consumo de recursos e o seu impacto na saúde das pessoas e no meio ambiente tem tido um valor crescente, desenvolveu a necessidade de se criarem novas soluções construtivas que permitam diminuir o consumo de recursos em toda a fase do ciclo de vida de um edifício.

Os elementos da envolvente têm um papel bastante influente no conforto de um edifício, no entanto, estes são dos elementos com maiores necessidades de reparação nos edifícios do parque edificado. [4]

Neste contexto em obras de reabilitação de edifícios, deve ser ponderado o contributo que as soluções construtivas da envolvente exterior podem ter na optimização do seu comportamento térmico e na conseqüente diminuição do consumo de energia e impacte ambiental associados. Estas soluções devem, pelos princípios da construção sustentável, tirar o máximo proveito das condições climatéricas onde os edifícios estão inseridos.

As soluções construtivas para a envolvente exterior mais utilizadas em Portugal podem não ser as que garantem melhor desempenho energético e ambiental. É importante que soluções com melhor desempenho energético sejam estudadas como meio para atingir um consumo energético em edifícios substancialmente mais baixo, protegendo o meio ambiente e, simultaneamente, promovendo o aumento das condições de conforto interior das habitações.

PROPOSTA METODOLÓGICA DE INTERVENÇÃO

O objectivo do presente trabalho é a identificação de medidas de melhoria possíveis de introduzir em edifícios existentes, de modo a aumentar a sua eficiência energética, tendo por base o conceito de Construção Sustentável.

Para que este objectivo seja atingido, é necessário que se identifiquem e avaliem as principais anomalias do edifício existente, de modo a que se determine o seu estado de conservação. Para tal recorre-se ao *Método de Avaliação do Estado de Conservação Imóveis, MAEC*.

Após a aplicação deste método procede-se à avaliação do desempenho energético do edifício, para que se identifiquem as suas necessidades energéticas e para que se determine qual o potencial de optimização da sua eficiência energética. Esta avaliação é realizada recorrendo a duas ferramentas: o balanço energético do edifício, calculado com recurso ao software *EnergyPlus* e o *Certificado Energético* do edifício.

Posteriormente procede-se à identificação de medidas possíveis de implementar para que a eficiência energética do edifício seja melhorada. Este processo tem como suporte uma lista de medidas que promovem a eficiência energética em edifícios existentes.

Para que se determine qual é o contributo que a aplicação de cada medida tem na melhoria da eficiência energética do edifício procede-se ao cálculo do balanço energético de cada medida de melhoria proposta, com recurso ao software *EnergyPlus*. Comparando as necessidades energéticas associadas a cada medida de melhoria com as necessidades energéticas da solução base é possível determinar qual é a redução do consumo energético associado à implementação de cada medida.

Por último correlacionam-se os benefícios funcionais e ambientais das medidas propostas, tendo por base o balanço energético e o seu custo associado através de uma análise custo-benefício. Esta análise é baseada na *Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, MARS-SC*.

Com base na comparação da análise custo-benefício das medidas propostas procede-se à tomada de decisão para que o objectivo proposto seja atingido. A metodologia de intervenção proposta é esquematizada na Figura 1. [5]

Procedimento	Ferramenta
1 – LEVANTAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS	MAEC
2 - AVALIAÇÃO DAS ANOMALIAS E DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO EDIFÍCIO	
3 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO	CERTIFICADO ENERGÉTICO/ENERGYPLUS
4 - IDENTIFICAÇÃO DAS MEDIDAS A IMPLEMENTAR	CHECKLIST/LISTAGEM DE MEDIDAS
5 - BALANÇO ENERGÉTICO DAS MEDIDAS PROPOSTAS	ENERGYPLUS
6 - ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO DAS MEDIDAS PROPOSTAS	MARS-SC



Tomada de decisão

Figura1 – Metodologia de intervenção

A avaliação do estado de conservação dos edifícios é definida pelo MAEC. Esta metodologia, desenvolvida no LNEC, tem como base a inspecção visual dos elementos construtivos e equipamentos do edifício, para que sejam identificadas e avaliadas as suas principais anomalias. A avaliação das anomalias é baseada na apreciação do nível da anomalia que afecta cada elemento funcional, constituinte do edifício de muito ligeiras a muito graves (Tabela 1). [6]

Tabela1 – Nível de anomalia e respectivo valor atribuído (MAEC) [6]

Nível de anomalia	Muito ligeiras	Ligeiras	Médias	Graves	Muito Graves
Valor correspondente	5	4	3	2	1

Cada elemento funcional tem uma importância relativa, de acordo com uma escala de ponderação (pd_i) que varia entre 1 (menos importante) e 6 (mais importante). A pontuação de cada elemento funcional (Pt_i) é calculada multiplicando o valor correspondente ao nível de anomalia de cada elemento funcional pela sua ponderação (Pd_i). Para se determinar o estado de conservação é necessário calcular o índice de anomalias (IA), que é dado por: [6]

$$IA = \frac{\sum Pt_i}{\sum Pd_i} \quad (1)$$

Em que:

IA – Índice de anomalias;

Pt_i – Pontuação do elemento funcional i;

Pd_i – Ponderação do elemento funcional i;

Para converter o índice de anomalias no estado de conservação do edifício são definidas três regras. A primeira regra classifica o estado de conservação do edifício em cinco níveis, de acordo com o índice de anomalias (Tabela 2). [6]

Tabela 2 – Escala de intervenção para classificação do índice de anomalias [6]

Índice de anomalias	$5,00 \geq IA \geq 4,50$	$4,50 \geq IA \geq 3,50$	$3,50 \geq IA \geq 2,50$	$2,50 \geq IA \geq 1,50$	$1,50 \geq IA \geq 1,00$
Estado de conservação	Excelente	Bom	Médio	Mau	Péssimo

A segunda regra define que não devem existir elementos funcionais com ponderação de três, quatro, cinco ou seis cujo estado de conservação, seja inferior em mais de uma unidade ao estado de conservação do edifício. Caso esta condição não seja satisfeita, o estado de conservação do imóvel deve ser reduzido para o nível imediatamente superior ao estado de conservação do elemento funcional de ponderação três, quatro, cinco ou seis em pior estado. [6]

A terceira regra define que não devem existir elementos funcionais com ponderação de um ou dois cujo estado de conservação, seja inferior em mais de duas unidades ao estado de conservação do edifício. Caso esta condição não seja satisfeita, o estado de conservação do edifício deve ser reduzido para o nível superior em duas unidades ao estado de conservação do elemento funcional de ponderação um ou dois em pior estado. [6]

A avaliação do desempenho energético do edifício é fundamental para que se identifiquem as medidas de melhoria que mais poderão contribuir para a sua optimização energética. Nesta metodologia a avaliação do desempenho energético do edifício é efectuada com base numa análise estática (Certificado Energético – RCCTE) e numa análise dinâmica (EnergyPlus) do balanço energético do edifício.

Para que fossem identificadas medidas que permitam aumentar a eficiência energética de um edifício existente, foi criada uma lista de medidas possíveis de implementar. Esta lista é baseada numa *checklist*, desenvolvida pelo GEOTPU-FCT-UNL, que define um conjunto de acções que contribuem para o processo de reabilitação sustentável, tendo em conta os indicadores de ambientais, sociais e económicos, assim como numa *listagem de acções* que contribuem para aumentar a conservação de energia e o conforto ambiental em edifícios. [7]

Em Portugal as soluções construtivas mais correntes para paredes exteriores são a parede dupla de alvenaria de tijolo e os sistema ETICS, por serem geralmente as soluções mais económicas e mais fáceis de implementar. Contudo, é importante que não se considerem apenas estas duas alternativas e que se abordem e analisem outras soluções como a Parede de Água - “See Through Wall” (Figura 2).

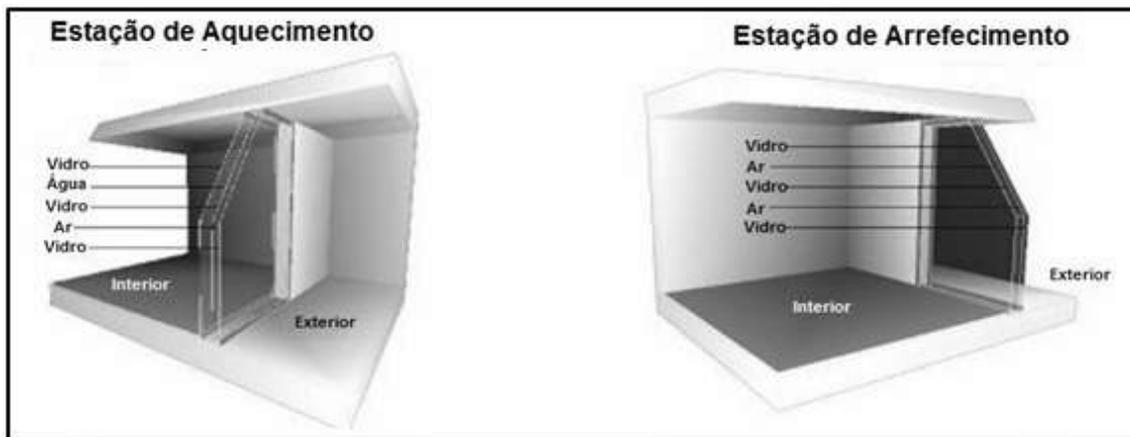


Figura 2 - Parede de Água “See-Trough Wall” [8]

A Parede de Água é constituída por um vidro triplo com dois espaços de ar entre os vidros, que formam caixas-de-ar. A caixa-de-ar mais próxima do exterior é preenchida por ar durante todo o ano e a caixa-de-ar mais próxima do interior é preenchida por ar na estação de arrefecimento e por água na estação de aquecimento. [8]

O funcionamento da Parede de Água tem por base a capacidade da água acumular calor devido ao seu elevado calor específico. Deste modo, na estação de aquecimento, durante o dia a água acumula calor, e ao final do dia irradia-o para o interior da habitação. Na estação de arrefecimento, a água deve ser esvaziada das paredes ficando estas preenchidas por ar entre os vidros. [8]

A água utilizada no preenchimento da caixa-de-ar é proveniente de águas pluviais que são recolhidas e armazenadas num tanque. Após o esvaziamento da caixa-de-ar a água poderá posteriormente ser utilizada em descargas para fins não potáveis. [8]

A determinação do balanço energético de cada medida proposta, com recurso ao software EnergyPlus permite que se determinem quais são as necessidades energéticas que lhe estão associadas. Deste modo, por comparação com as necessidades energéticas da solução base do edifício é possível determinar qual o contributo que a implementação destas medidas tem para o aumento da sua eficiência energética.

A caracterização dos custos e dos benefícios das soluções estudadas é a forma de suportar a tomada de decisão da medida a implementar. A análise custo-benefício proposta nesta metodologia é baseada na *Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas, MARS-SC*, desenvolvida na UM.

Para fazer esta análise são considerados três indicadores constituídos por diferentes parâmetros. A definição dos indicadores e dos parâmetros assim como o seu peso é feita consoante o objectivo da avaliação, as características das soluções construtivas, as exigências pretendidas e o local de implantação do edifício. [9]

Na Tabela 3 são apresentados os indicadores e parâmetros que se consideraram para a análise custo-benefício deste trabalho, assim como a sua respectiva ponderação. [5]

Tabela 3 – Ponderação dos indicadores e parâmetros utilizados na análise custo-benefício [5]

Indicador	Parâmetro	Ponderação (%)	Ponderação
Ambiental	Aproveitamento recursos naturais	30	0,1
	Redução das emissões de CO ₂	70	
Funcional	Temperatura Interior	55	0,4

	Risco de anomalias	15	
	Facilidade de Implementação	10	
	Iluminação natural	15	
Económico	Investimento inicial	35	0,5
	Diminuição do consumo	55	
	Custo de manutenção	10	

Depois de serem parametrizados e ponderados todos os parâmetros e indicadores é possível comparar todas as soluções construtivas relativamente à solução base com base numa nota sustentável que classifica o comportamento das soluções construtivas de mediocre a excelente.

Com base na Nota Sustentável das várias medidas analisadas procede-se à tomada de decisão da medida que mais contribui para atingir o objectivo proposto.

APLICAÇÃO A CASO DE ESTUDO

O caso de estudo abordado neste trabalho é uma fracção habitacional em duplex, no 2º andar de um edificio multifamiliar, localizado na freguesia e concelho do Barreiro, cujas soluções construtivas têm um bom desempenho térmico mas que em termos de certificação energética tem classe B.

A identificação e avaliação das anomalias e a avaliação de todos os outros elementos funcionais permitiu preencher a ficha de avaliação do MAEC e desta forma calcular a razão entre o número de pontos associado a cada nível de anomalia e ponderação atribuída ao respectivo elemento funcional. Deste modo foi possível calcular o índice de anomalias do caso de estudo em 4,86, numa escala de 0 a 5, o que permite concluir que o seu estado de conservação é Excelente. [5]

Na determinação do comportamento térmico da solução base consideraram-se três zonas térmicas distintas. Como a temperatura média interior se encontra, em determinados períodos, fora dos padrões de conforto foi necessário que se introduzissem, equipamentos para climatização. Deste modo foram simuladas pelo EnergyPlus as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e globais para cada zona térmica. Os valores das necessidades energéticas em cada zona térmica com necessidades de climatização e em toda a fracção autónoma são apresentados na Figura 3. [5]

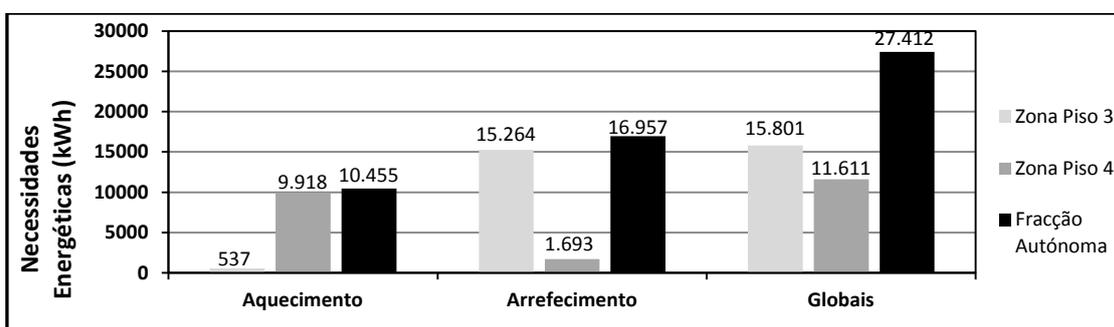


Figura 3– Necessidades Energéticas da Solução Base [5]

Da análise da Figura 3 é possível concluir que as necessidades de energia para aquecimento são bastante superiores na Zona Piso 4 e que as necessidades de arrefecimento são bastante superiores na Zona Piso 3. É, também, possível concluir que as necessidades de energia para arrefecimento na fracção autónoma são superiores às necessidades de energia para aquecimento, essencialmente devido à elevada necessidade de arrefecimento da Zona Piso 3.

Para otimizar o desempenho energético do caso do estudo foram propostas as seguintes medidas:

- Substituição do vão envidraçado da sala por uma Parede de Água;
- Sombreamento integral do vão envidraçado da sala com recurso a painéis de sombreamento;
- Implementação de ventilação natural nocturna de Julho a Setembro;
- Optimização dos vãos envidraçados das janelas.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o objectivo de determinar qual o contributo que as medidas propostas poderiam ter para aumentar o desempenho energético do caso de estudo avaliaram-se, com base nos resultados das simulações efectuadas através do EnergyPlus, as necessidades energéticas associadas a cada medida de melhoria comparando-as com as necessidades energéticas obtidas para a solução base. As necessidades energéticas associadas a cada medida bem como o potencial de redução do consumo energético que lhe está associado são representadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Ponderação dos indicadores e parâmetros utilizados na análise custo-benefício [5]

Medida de melhoria	Necessidades energéticas de aquecimento (kWh)	Necessidades energéticas de arrefecimento (kWh)	Necessidades energéticas globais (kWh)	Potencial de redução de consumo energético (kWh)
Parede de Água 10 cm	10118,6	17102,5	27221,1	0,70%
Parede de Água 15 cm	9999,1	17163,0	27162,1	0,91%
Parede de Água 20 cm	9911,6	17225,5	27137,1	1,00%
Parede de Água 20 cm Piso 3	10226,1	17198,3	27424,4	-0,04%
Parede de Água 20 cm Piso 4	10141,1	16967,6	27108,7	1,1%
Sombreamento Integral	10455,1	16954,2	27409,2	0,01%
Ventilação nocturna	10416,1	16711,1	27127,2	1,04%
Optimização dos vãos envidraçados	10646,3	15948,4	26594,7	2,98%

Da análise do quadro anterior é possível obter as seguintes conclusões:[5]

- A medida que mais contribui para otimizar o desempenho energético do caso de estudo é a optimização dos vãos envidraçados;
- A optimização do desempenho energético resultante da implementação da Parede de Água é bastante baixa;
- A ventilação nocturna permite obter, essencialmente, uma diminuição das necessidades de arrefecimento. A optimização do desempenho energético que lhe está associada é, no entanto bastante baixa. Sendo uma medida comportamental, a ventilação natural nocturna permite obter um desempenho semelhante à implementação da Parede de Água mas sem custos associados;
- A optimização do desempenho energético resultante do prolongamento do sombreamento vertical é insignificante;
- O desempenho energético da Parede de Água varia consoante o local onde esta é implementada (para a mesma orientação solar).

Constatou-se, portanto, que a implementação das medidas de melhoria do desempenho energético analisadas para este caso de estudo representaria uma optimização residual da sua eficiência energética. Deste modo não se justifica a execução de uma análise custo benefício pois é evidente a insustentabilidade do período de retorno de qualquer investimento.

CONCLUSÕES

É notória a necessidade em se proceder a uma definição estratégica do sector da habitação como aposta para a dinamização económica que conduza à reabilitação do parque edificado e ao diferido aumento da eficiência energética do país.

A ineficiência energética é em grande parte resultado de os edifícios construídos não garantirem as condições de conforto térmico actualmente aceites como normais, conduzindo à utilização de equipamento activos para a obtenção dos níveis de conforto pretendidos pelos ocupantes.

Sendo Portugal dependente ao nível energético e considerando o constante aumento dos preços da energia primária bem como o impacto que a transformação da energia primária em electricidade tem para o ambiente colocam o país perante uma situação insustentável, recomendando a opção por soluções passivas que concorram para a redução das necessidades de consumo.

A resolução da problemática da ineficiência energética dos edifícios do parque edificado impõe que no sector da construção se adoptem os procedimentos da Construção Sustentável, promovendo o consumo racional de energia e contribuindo para a minimização dos impactes que a construção e utilização dos edifícios tem no meio ambiente e social onde estes estão inseridos.

Deste modo a metodologia de intervenção desenvolvida permite determinar, numa análise custo-benefício, os contributos que diferentes medidas de melhoria podem ter na optimização do desempenho energético dos edifícios existentes quando sujeitos a obras de reabilitação.

A avaliação do contributo que a implementação das medidas de melhoria pode ter para o aumento da eficiência energética do caso de estudo permitiu que se verificasse, comparando os valores das necessidades energéticas globais da solução base com os valores das necessidades energéticas globais associadas à implementação de cada medida proposta, que em edifícios existentes com classificação energética igual a B⁻, B, A ou A⁺ é bastante difícil de se otimizar o seu desempenho energético apenas com recurso a soluções passivas, o que conduz à conclusão de que nestes casos a eficiência energética de uma habitação é bastante satisfatória.

REFERENCIAS

[1] - INE - Estatísticas da Construção e Habitação 2010. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, (2011).

[2] - BAPTISTA, P. - Estratégia Nacional para a Energia 2020. Coimbra, ADENE, (2011).

[3] - EUROSTAT - Energy, transport and environment indicator. Luxemburgo, EUROSTAT-CE, (2008).

[4] - INE - Censos 2001 - Resultados Definitivos. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, (2002).

[5] - SABARIGO, J. - Contributos para a eficiência energética em obras de reabilitação de edifícios, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, (2012).

[6] - PEDRO, J. B.; VILHENA, A; PAIVA, J. V.; PINHO, A. - Método de Avaliação do estado de Conservação de Imóveis. Desenvolvimento e aplicação. Revista Engenharia Civil, nº 35, pp. 57-73. Universidade do Minho, (2009).

[7] - LOPES, T. - Reabilitação sustentável de edifícios de habitação, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa, (2010).

[8] - COSTA, J. G. - A Água como elemento termo-regulador na Arquitectura, Dissertação de Mestrado em Arquitectura. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa – Faculdade de Arquitectura, (2005)

[9] - MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. – Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas - Congresso sobre construção sustentável: actas. Leça da Palmeira, Universidade do Minho, (2004).