

Agradecimentos

A concretização deste trabalho não teria sido possível sem o importante contributo dos seguintes intervenientes.

À orientadora científica da tese, Prof. Teresa Pinheiro Alves, pelo irrepreensível empenho e disponibilidade que demonstrou, ao longo dos meses de trabalho, pela importante transmissão de conhecimentos e motivação dada e por todo o tempo que despendeu com o trabalho, contribuindo para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

Aos meus pais, Maria Leonor e João Luís, a quem devo a minha formação académica e pessoal. Por todo o apoio e pelos ensinamentos preciosos, são o pilar fundamental da minha felicidade.

À minha irmã Vera e cunhado Marco, que me “empurraram” para esta experiência longe de casa, e por todos os momentos inesquecíveis junto ao mar.

À minha namorada Maria João, pela motivação que me transmitiu em todos os momentos, por conseguir inspirar-me nos momentos difíceis, e pela capacidade que tem de tornar cada dia num momento especial.

Ao meu amigo Paulo, companheiro de escrita, que permitiu tornar as longas e árduas horas de trabalho, em momentos de grande animação. Pela paciência, e espírito de entreajuda, não só na tese, como ao longo de todo o percurso académico.

Ao meu amigo Pedro, por todo o conhecimento que me transmitiu, e pelos muitos “brainstorming’s” que tivemos, foram indispensáveis para a realização do meu trabalho.

A todos os amigos que fiz na Universidade de Évora, pelas longas noites, de estudo e não só, experiências únicas e muitas lições de vida, que ficarão para sempre e que em muito contribuíram para me tornar na pessoa que sou hoje.

A toda à minha família por serem sinónimo de amizade, felicidade, paz, união e muito amor.

A todos, muito obrigado.

Resumo

Análise de um edifício escolar com base num sistema de avaliação da sustentabilidade - caso de estudo

Neste trabalho foi feita uma avaliação da sustentabilidade de um edifício escolar localizado em Évora, tendo em conta diferentes parâmetros de sustentabilidade.

Os elementos construtivos do caso em estudo foram avaliados segundo os parâmetros de sustentabilidade: ambiental, económico e funcional. Além das soluções existentes foram consideradas mais duas soluções possíveis para cada elemento construtivo e, comparados os seus índices com os da solução existente.

Foi também estimado o período de retorno para cada solução, tendo em conta a quantidade de energia e o valor do coeficiente de condutibilidade térmica de cada solução.

Os resultados mostraram que é possível melhorar todas as soluções consideradas, assim como aumentar o desempenho ambiental do edifício durante todo o seu período de vida.

Palavras-chave: Construção sustentável, Reabilitação sustentável, avaliação de ciclo de vida.

Abstract

Analysis of a school building based on a sustainability assessment – case study

In this dissertation, a sustainability assessment of a school building was carried out, identifying the main needs of improvement for internal environmental comfort conditions. The different parameters of sustainability: environmental, economic and social/functional, for each constructive element, were evaluated using the MARS-SC methodology (Methodology for the Relative Assessment of Building Solutions).

For each constructive element considered, were identified two possible solutions for their refurbishment and their values were compared with the data of the existing solution, estimating their payback period, and which one had the highest sustainable performance.

The payback period for each solution was estimated for the operation phase, taking into account the amount of energy and U-value of each solution, which allowed the evaluation of different performance levels throughout its lifecycle.

Keywords: Sustainability, sustainable construction, refurbishment, life cycle assessment, building solutions.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Índice de tabelas	vi
Índice de gráficos	vii
Índice de figuras	viii
1.Introdução.....	1
1.1.Enquadramento geral	1
1.2.Objectivo	1
1.3.Estrutura da dissertação.....	2
2.Revisão bibliográfica	3
2.1.Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável	3
2.1.1.O Impacto da Indústria da Construção	5
2.2.Construção Sustentável	7
2.2.1.Indústria da construção: a realidade nacional	13
2.2.2.Reabilitação para a sustentabilidade: ind. económicos e sociais	14
2.2.3.Reabilitação para a sustentabilidade: indicadores ambientais.....	19
2.3. Avaliação de ciclo de vida e avaliação de custo de ciclo de vida	23
2.3.1.Avaliação do Ciclo de Vida.....	23
2.3.2.Avaliação do Custo de Ciclo de Vida	26
2.3.3.Av. de Ciclo de Vida e Av. do Custo de Ciclo de Vida: processos comp.	29
2.4.Sistemas de avaliação ambiental dos edifícios	30
2.4.1. Leadership in Energy and Environmental Design	31
2.4.2. Building Research Establishment's Environ. Assessment Method	33
2.4.3.Sistema LiderA	36
2.4.4. Met. de Avaliação Relativa da Sust. de Soluções Construtivas.....	38
3.Caso de Estudo	42
3.1.Apresentação do edifício	42
3.2.Identificação das soluções construtivas existentes e materiais adoptados	45
3.3. Metodologia adoptada	47
3.3.1.Soluções construtivas propostas para o caso em estudo	47
3.3.2.Indicadores da sustentabilidade.....	51
3.3.2.1.Indicador Ambiental	52
3.3.2.2. Indicador Funcional	53

3.3.2.3. Indicador Económico	57
3.3.2.4. Quantificação dos Parâmetros	58
3.3.3. Trocas energéticas com o exterior ao longo do período de vida	61
4.Resultados Obtidos	63
4.1.Resultados das soluções consideradas	63
4.2. Trocas energéticas acumuladas das soluções	69
4.3.Outros elementos	73
4.5.Análise dos resultados	76
5.Conclusões	83
6.Bibliografia	85
Anexos	88

Índice de tabelas

Tabela 1- Pesos por áreas no sistema LiderA.....	37
Tabela 2- Parâmetros aplicáveis à MARS-SC.....	39
Tabela 3- Pesos dos parâmetros ambientais	40
Tabela 4- Peso de cada indicador na MARS-SC	41
Tabela 5- Avaliação do desempenho relativo em estudo a partir da NS	41
Tabela 6- Características gerais do Edifício	44
Tabela 7- Parâmetros adoptados no caso em estudo.....	52
Tabela 7- Resistências térmicas superficiais.....	55
Tabela 8- Atribuição de pesos aos parâmetros para a metodologia adoptada	58
Tabela 9- Peso de cada indicador para o caso em estudo	61
Tabela 11- Parâmetros de avaliação para a parede exterior	63
Tabela 12- Resultados obtidos para a parede exterior	64
Tabela 13- Parâmetros de avaliação para o piso térreo	65
Tabela 14- Resultados obtidos para o piso térreo	65
Tabela 15- Parâmetros de avaliação para a laje de esteira.....	66
Tabela 18- Resultados obtidos para a cobertura em abóbada	68
Tabela 19- Valores típicos de coef. transm. térmica para diferentes tipos de envidraçados	73
Tabela 20- Coeficiente de transm. térmica, envidraçado com caixilharia.....	74
Tabela 21- Resultados globais para a parede exterior.....	76
Tabela 22- Resultados globais para o piso térreo	77
Tabela 23- Resultados globais para a cobertura inclinada com laje de esteira.....	78
Tabela 24- Resultados globais para a cobertura em abóbada	79

Índice de gráficos

Gráfico 1- Perspectivas Crescimento Demográfico Mundial	3
Gráfico 2- Variação média anual de edifícios clássicos em Portugal 1992-2008	14
Gráfico 3- - Peso da reabilitação residencial no sector da construção em 2009.....	15
Gráfico 4- Reabilitação VS Construção nova, para habitação em Portugal	16
Gráfico 5- Estimativa de ganhos da eficiência energética na balança energética	17
Gráfico 6- CO2 incorporado associado à construção.....	20
Gráfico 7- Emissões de CO2, reabilitação VS construção nova	22
Gráfico 8- Custos de vida útil do edifício (%).....	26
Gráfico 9- Pesos BREEAM para construção nova e reabilitação	36
Gráfico 10- Gráfico para determinação do $D_{n,w}$	56
Gráfico 11- Acréscimo de isolamento por pano adicional	56
Gráfico 12- Perdas energéticas acumuladas para a parede exterior	69
Gráfico 13- Perdas energéticas acumuladas para o piso térreo	70
Gráfico 14- Perdas energéticas acumuladas para a laje de esteira	71
Gráfico 15- Perdas energéticas acumuladas para a cobertura em abóbada	72
Gráfico 16- Estimativa de consumos para a parede exterior	80
Gráfico 17- Estimativa de consumos para o piso térreo.....	81
Gráfico 18- Estimativa de consumos para a laje de esteira	81
Gráfico 19- Estimativa de consumo para a cobertura em abóbada.....	82

Índice de figuras

Figura 1-Objectivos da sustentabilidade	4
Figura 2- Impactes ambientais nas diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios	7
Figura 3- Evolução das condicionantes no sector da construção	12
Figura 4- Fases da Avaliação do Ciclo de Vida	24
Figura 5- Custo de vida Global	28
Figura 6- Avaliação do Custo de Ciclo de Vida e Avaliação de Ciclo de Vida no sector da construção	29
Figura 7- Sistemas de classificação LEED	33
Figura 8- Vista aérea pólo da Mitra	42
Figura 9- Viga de ligação do paramento exterior	75

1.Introdução

1.1.Enquadramento geral

É inegável a importância e o impacto que o sector da construção tem a todos os níveis da sociedade, quer como entidade empregadora e impulsionadora da melhoria da qualidade vida, quer como instrumento fundamental para o desenvolvimento económico, mas também pela responsabilidade à escala da preservação ambiental e dos recursos.

Face aos desafios do desenvolvimento sustentável, a indústria da construção tem necessariamente que repensar e alterar alguns dos seus procedimentos.

Como tal, a aposta no mercado da reabilitação poderá trazer vários benefícios. Benefícios de ordem económica, com um novo mercado potencialmente por explorar, de âmbito social, tornando-se uma área potenciadora de emprego, exigindo uma maior aposta na formação para a reabilitação, e também ambiental, otimizando o desempenho dos sistemas dos edifícios, assegurando adequadas condições de conforto, e simultaneamente minimizando os gastos energéticos e as consequentes emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

No sentido de poder quantificar e avaliar a sustentabilidade dos edifícios, em vários países foram desenvolvidas metodologias de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), normalmente adaptadas à realidade e características de cada um deles, com o intuito de avaliar o desempenho ambiental do edifício durante todo o seu período de vida, desde a sua concepção até à fase de demolição.

1.2.Objectivo

Este trabalho tem como objectivo fazer a avaliação da sustentabilidade de um edifício escolar, identificando, em primeiro lugar, as principais necessidades para a melhoria das condições de conforto interior dos utentes e, em segundo lugar, propor soluções de melhoria que sejam sustentáveis ao longo da sua vida útil.

A avaliação irá centrar-se na definição de duas possíveis soluções construtivas para uma futura reabilitação ao nível das paredes exteriores, do piso térreo e da cobertura.

A avaliação da sustentabilidade será baseada numa metodologia já existente, a metodologia MARS-SC (Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas) (Bragança & Mateus, 2006)

A escolha da solução a adoptar para cada situação, será feita com base nos resultados obtidos pela metodologia de avaliação da sustentabilidade e pela avaliação do período de retorno energético.

Pretende-se que este trabalho possa servir como base de trabalho para a avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas a adoptar em futuras obras de reabilitação.

1.3.Estrutura da dissertação

Esta dissertação é constituída por 5 capítulos, acerca dos quais se fará, em seguida, uma breve descrição.

No 1º capítulo é feita uma breve introdução e enquadramento geral da tese.

No 2º capítulo são abordados os conceitos gerais relacionados com a sustentabilidade, a crescente pressão demográfica sobre o território, o impacto da indústria da construção, e a necessidade de mudança de políticas construtivas de um modo geral.

O 3º capítulo centra-se na apresentação do caso de estudo com descrição do edifício, apresentação das soluções construtivas existentes e de duas soluções alternativas. É ainda abordada a estrutura e condicionantes da metodologia a implementar.

No 4º capítulo é feita a análise e discussão dos resultados obtidos, de acordo com a metodologia apresentada no capítulo anterior.

No 5º capítulo apresentam-se as conclusões finais da dissertação.

2.Revisão bibliográfica

2.1.Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

Actualmente, ao falar em desenvolvimento sustentável e em sustentabilidade, é inegável o peso que estes conceitos têm vindo a tomar, nos últimos anos, nas sociedades contemporâneas, tornando-se um dos objectivos fundamentais para garantir uma melhoria da qualidade de vida, tanto presente quanto futura.

De acordo com dados das Nações Unidas, a população mundial tem vindo a sofrer um crescimento acentuado, os primeiros registos datam de 1950, período em que a população era de aproximadamente 2.500 milhões, actualmente este número estima-se ser da ordem de 7.000 milhões, sendo esta uma tendência que se deverá manter no futuro. (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, 2008)

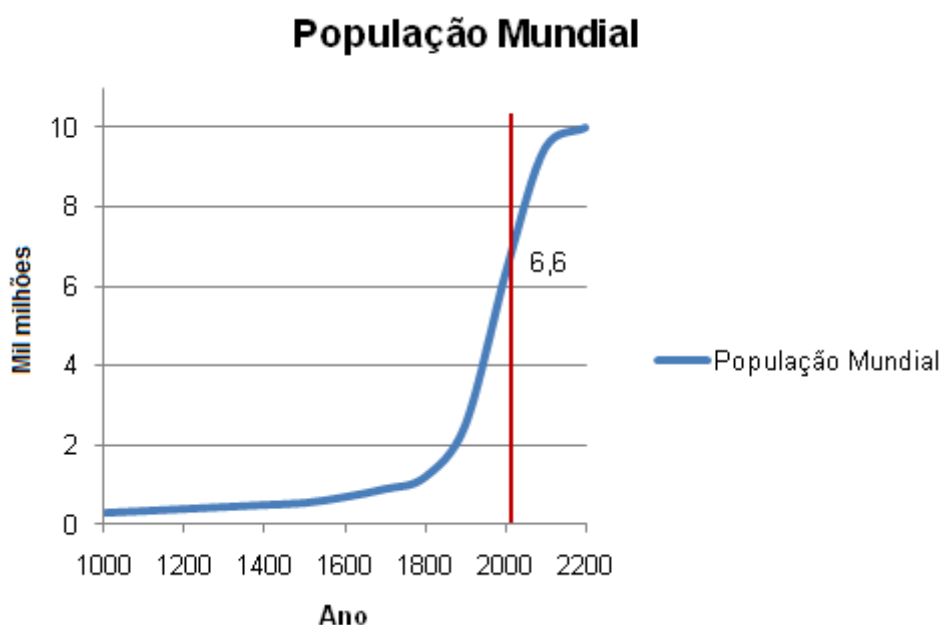


Gráfico 1- Perspectivas Crescimento Demográfico Mundial (UNEP, 2009)

Os dados da figura, revelam o crescimento exponencial que ocorreu durante o século XX e que continua a manter-se no presente, esta evolução traduz-se num crescimento das actividades e intervenções humanas sobre o território, exigindo um maior ritmo de consumo de recursos naturais e combustíveis fósseis, e quase sempre sem respeitar a sua capacidade regenerativa, cuja extracção, principalmente tratando-se de recursos não renováveis, provoca um impacte significativo sobre o ambiente, que leva a uma cada vez maior escassez de recursos, a um aumento de produção de resíduos e

emissões de gases de efeito de estufa, que têm como consequência última as alterações climáticas.

A consciencialização do impacto que a acção do Homem tem sobre o planeta levou a que em 1987, na Conferência da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, com o tema “O Nosso Futuro Comum” se estabelecesse a definição do conceito de Desenvolvimento Sustentável como “A capacidade da Humanidade garantir que responde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de assegurarem as suas próprias necessidades.” (Brundtland, 1987)

Com este conceito é notória a definição de constrangimentos ao crescimento e desenvolvimento global, limitados principalmente pela capacidade do ambiente, da sociedade e da economia em suportar esse crescimento. (Botta, 2005)

Percebe-se como o conceito de sustentabilidade assenta num equilíbrio dos seus três pilares fundamentais: o ambiente, a sociedade e a economia. A figura seguinte apresenta os objectivos para cada uma das dimensões da sustentabilidade.



Figura 1-Objectivos da sustentabilidade (Pinheiro, Ambiente e construção sustentável, 2006)

Com o evoluir do conceito de sustentabilidade o seu âmbito foi alargado, não se restringindo apenas aos três pilares fundamentais, mas adaptando-os a disciplinas tão variadas como a construção, os transportes, a agricultura, produção industrial, etc. Áreas que têm vindo a tentar alterar as suas práticas de acordo com os princípios e práticas da sustentabilidade, e com isso promover o desenvolvimento sustentável, na

medida em que desenvolvimento implica um processo de evolução em qualidade de vida, e não apenas em crescimento demográfico.

Nas últimas décadas, diversos acontecimentos vieram contribuir para um despertar por parte da indústria da construção, relativamente à importância das questões ambientais:

- Necessidade em reduzir o consumo energético, principalmente depois da crise do petróleo em 1973;
- Estudo de técnicas para tornar o ambiente interior mais saudável, depois da descoberta da síndrome do edifício doente, nos anos 80;
- Compreender os vários aspectos e conceitos do desenvolvimento sustentável, principalmente após a Cimeira do Rio de Janeiro;
- Reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), de acordo com o Protocolo de Quioto, em 1997;

(Botta, 2005)

2.1.1.O Impacto da Indústria da Construção

É inegável a importância e o impacto que o sector da construção tem a todos os níveis da sociedade, quer como entidade empregadora, e impulsionadora da melhoria da qualidade de vida, quer como instrumento fundamental para o desenvolvimento económico. Mas também pela responsabilidade à escala da preservação ambiental e dos recursos.

No que diz respeito à União Europeia, o impacto da indústria da construção, segundo vários autores é:

- Responsável por cerca de 51,4% do PIB europeu; (FIEC, 2010)
- Existem no mercado europeu (UE27) 3 milhões de empresas ligadas ao sector da construção, sendo que 95% são pequenas e médias empresas, com menos de 20 trabalhadores, isto faz do sector o maior empregador industrial na Europa, com valores estimados de 14,9 milhões de trabalhadores (UE27), o que perfaz 7,1% dos empregos na união; (FIEC, 2010)

- É o maior empregador industrial da Europa com 29,1%, e cerca de 44,6 milhões de trabalhadores na UE dependem, directa ou indirectamente, do sector da construção; (FIEC, 2010)
- Cerca de 50% de toda a matéria-prima extraída é usada na indústria da construção; (CIB, 1999)
- A maior parte do consumo energético, deve-se à iluminação e aquecimento dos edifícios (42%, deste, 70% é atribuído ao aquecimento); (CIB, 1999)
- O ambiente construído é responsável por cerca de um terço das emissões de GEE; (FIEC, 2010)
- Um dos maiores fluxos de resíduos da UE é resultante das actividades de construção e demolição, cerca de 8% e 92% respectivamente, o que totaliza 450 Mton/ano, um quarto de todos os resíduos produzidos. (Botta, 2005)

Como referido anteriormente, com as perspectivas de crescimento populacional futuras, o sector terá de satisfazer as necessidades crescentes de habitação, e criar infra-estruturas de transportes, saneamento e abastecimento de água e de energia, para garantir a melhoria sustentada da qualidade de vida da população.

No entanto, simultaneamente, terá de existir um esforço para redução do consumo dos recursos, e das emissões poluentes, uma melhoria da eficiência energética da construção durante todo o seu ciclo de vida (Fig. 2), e a preocupação de minimizar a produção de resíduos de construção/demolição (RCD), recorrendo à reutilização e reciclagem dos materiais.

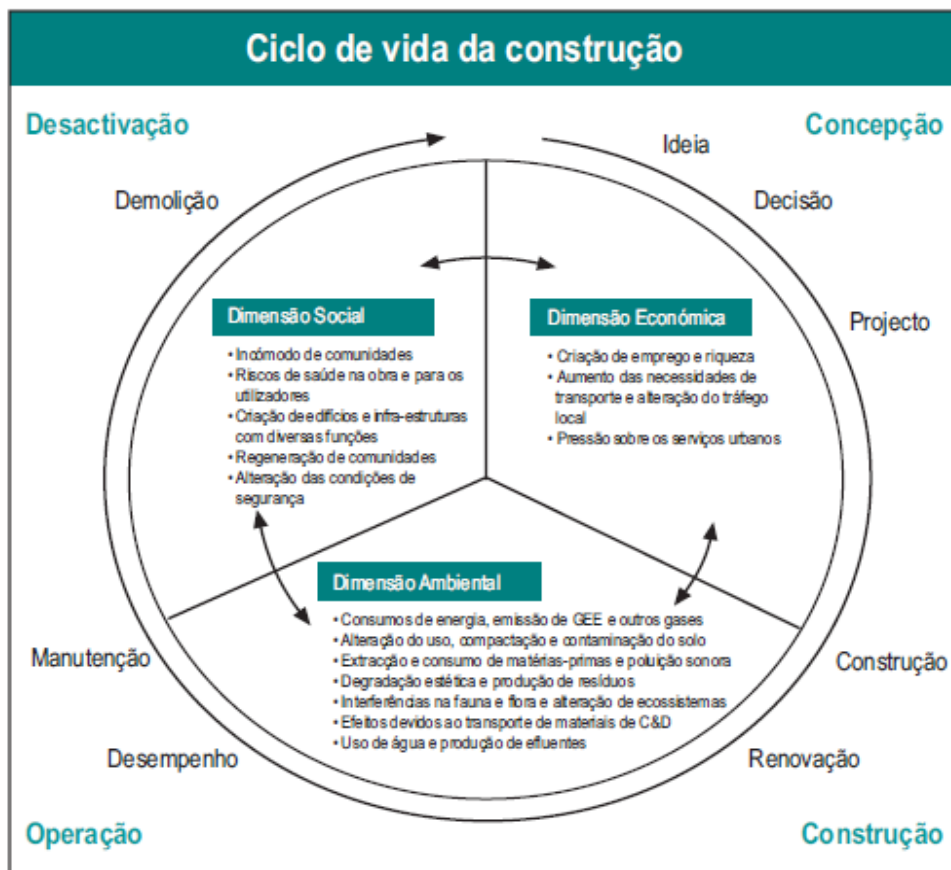


Figura 2- Impactes ambientais nas diferentes fases do ciclo de vida dos edifícios (CICA- Confederation of International Contractor's Associations, 2002)

Face aos desafios do desenvolvimento sustentável, a indústria da construção tem necessariamente que repensar e alterar alguns dos seus procedimentos.

2.2. Construção Sustentável

Foi devido a esta necessidade de mudança que começaram a ser definidos os primeiros conceitos de construção sustentável.

A definição de construção sustentável, resultou da Primeira Conferência sobre Construção Sustentável, realizada em Tampa (Florida), no ano de 1994 e, organizada por Charles J. Kibert. Kibert definiu então Construção Sustentável como “a criação e a gestão responsável do ambiente construído saudável, baseando-se na eficiência de recursos e em princípios ecológicos”. (Kibert, 1994)

Neste encontro ficaram também definidos os sete princípios fundamentais para a sustentabilidade na construção:

- I. Minimizar o consumo de recursos;
- II. Maximizar a reutilização dos recursos;
- III. Reciclar materiais em fim de vida do edifício e utilizar os recursos recicláveis e renováveis;
- IV. Proteger o ambiente natural;
- V. Eliminar materiais tóxicos e os sub-produtos em todas as fases de ciclo de vida;
- VI. Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído;
- VII. Aplicar a avaliação do custo de ciclo de vida.

Um dos principais trabalhos neste domínio, foi a criação, em 1999, da Agenda 21 para a Construção Sustentável, desenvolvida pelo *Conseil International du Bâtiment (CIB)*, em cooperação com diversas entidades.

As principais intenções deste documento foram as de desenvolver uma estrutura orientadora de âmbito geral, de modo a acrescentar valor às agendas nacionais e regionais, no domínio do ambiente construído e da indústria da construção, estabelecer uma agenda para as actividades a desenvolver pela CIB e pelos seus parceiros e garantir um documento orientador para actividades de investigação e desenvolvimento (I&D).

Os meios que procuram auxiliar o sector da construção a ultrapassar os principais desafios da sustentabilidade, (que de acordo com a Agenda 21) são:

- Promover a eficiência energética;
- Reduzir o uso e consumo de água potável;
- Seleccionar materiais com base no seu desempenho sustentável;
- Aplicar o custo de ciclo de vida;
- Contribuir para um desenvolvimento urbano sustentável.

(CIB, 1999)

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), iniciou em 1998, um projecto centrado em desenvolver medidas estratégicas para a redução dos impactes ambientais no sector da construção. Esta investigação levou à publicação de um relatório, “*Environmental sustainable building- Challenges and policies*”, em 2003, que define os seguintes assuntos como fundamentais para adopção de políticas sustentáveis para o edificado:

- A definição de uma estratégia para melhorar o desempenho ambiental do sector, de âmbito nacional;
- Implementação de medidas de controlo do desempenho ambiental, principalmente para a redução de emissões de CO₂;
- Desenvolvimento de parcerias entre a indústria e o Estado, em projectos de I&D;
- Criação de uma política de minimização de resíduos de construção e demolição (RCD), dando prioridade à reciclagem em detrimento da simples deposição de resíduos.

(OCDE, 2003)

A nível nacional, foi também revisto o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) e RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios), no ano de 2006, adoptando a Directiva 2002/91/CE, que declara a necessidade de cumprimento dos requisitos mínimos de eficiência energética, quer em novos edifícios, quer em renovações, em condições de rentabilidade económica. A Directiva declara a obrigatoriedade de emissão de certificado de eficiência energética do edifício, em caso de construção, venda ou aluguer. Estabelece também que em edifícios de instituições públicas, deverá ser emitido e afixado o certificado energético em local visível ao público, tendo este, uma validade de 10 anos.

A Comissão Europeia lançou no final de 2007 a “*Lead Market Initiative*” (LMI), com vista a potenciar a inovação de sectores chave, com potencial de crescimento a nível internacional. Uma destas áreas é a da construção sustentável, tendo sido nomeado um grupo de trabalho, com o objectivo de desenvolver estudos e instrumentos legais com capacidade para implementar efectivamente a LMI.

Um desses estudos promove a metodologia de Avaliação do Custo de Ciclo de Vida, implementada em diversos casos de estudo, com resultados favoráveis. (Langdon, Life cycle costing as a contribution to sustainable construction: a common methodology, 2006)

O principal estudo levado a cabo pela Comissão para a LMI na construção, centra-se na renovação da Estratégia de Competitividade do Sector, de 1997, de acordo com a comissão técnica da FIEC, que desempenha um papel de apoio e aconselhamento, em temas como:

- Desenvolvimento de métodos para avaliação dos regulamentos nacionais de construção, de modo a poder avaliar com maior facilidade, a sua qualidade;
- Reforçar a directiva de desempenho energético dos edifícios de modo a estabelecer objectivos recomendados e promover uma evolução constante dos *standards* para a nova construção;
- Alargar o âmbito dos “Eurocódigos” para que estes adoptem também aspectos normativos para a sustentabilidade da construção.

Obviamente que a construção irá ter sempre repercussões sobre o ambiente, não só pela ocupação do solo mas também por ser uma industria que está dependente da extracção de materiais e do consumo de combustíveis fósseis, no entanto o que se propõe é que sejam cumpridas medidas de controlo e gestão do ambiente construído e que seja possível prever com exactidão na concepção do projecto, os impactos esperados durante a todo o ciclo de vida do edifício, desde a fase de construção à sua demolição.

As principais linhas para a criação de edificações sustentáveis, de acordo com o *The Chartered Institute of Building* (CIOB) dividem-se pelas seguintes áreas:

- Energia**
- Tornar os edifícios existentes energeticamente mais eficientes;
 - Desenvolvimento de projectos considerando a energia necessária na fase de operação;
 - Uso de materiais com baixa energia incorporada, e de origem local;
 - Optar pela reciclagem, irá poupar energia no transporte e deposição de resíduos bem como, energia na produção de novos materiais;
 - Adoptar sistemas para aproveitamento das energias renováveis;

-Orientar os edifícios de modo a maximizar o potencial de exploração das energia renováveis.

Materiais

- Ter em conta os impactos associados à produção de novos materiais;
- Optar pelo uso de materiais reutilizados/reciclados na construção;
- Desenvolver materiais que possam ser facilmente reutilizados e substituídos;
- Ter em conta a energia consumida no transporte dos materiais;
- Recorrer à utilização de materiais pré-fabricados;
- Adoptar materiais com reduzidas necessidades de manutenção, para reduzir o dispêndio energético e de recursos durante a vida útil da construção;
- Optar pelo uso de materiais naturais na construção, como a terra, madeira, pedra, cal, etc;

Resíduos

- Conceber os projectos para minimizar a produção de resíduos;
- Melhorar a eficiência do processo construtivo e evitar o armazenamento dos materiais durante grandes períodos de tempo, para prevenir a deterioração do material;
- Reciclar os materiais sempre que possível, evitando o envio de resíduos para deposição;
- Sensibilização dos técnicos e pessoal da obra, para reduzir os resíduos e aumentar a reciclagem dos materiais.

Poluição

- Reduzir ou evitar o uso de materiais que possam emitir gases, radiações e poeiras nocivas;
- Usar materiais de fontes renováveis;
- Usar materiais e mão-de-obra de origem local, quando vantajoso financeiramente;

-Fazer a deposição de resíduos perigosos, apenas em locais adequados para a sua recepção.

(CIOB, 2002)

Em Portugal, no que diz respeito à gestão de resíduos existe regulamentação específica (Decreto-Lei n.º 178/2006), a qual se aplica a qualquer tipo de indústria. No entanto, só em 2008 saiu um regulamento específico para a construção, o Decreto-Lei n.º 46/2008. Este decreto regula todas as operações de gestão de resíduos resultantes de obras ou demolições de edifícios ou de derrocadas. São definidas algumas metodologias, nomeadamente:

- Metodologias e práticas nas fases de projecto e de execução de obra que minimizem a produção de RCD, maximizem a valorização de RCD e favoreçam o uso de métodos construtivos que facilitem a demolição;
- Reutilização de solos e rochas;
- Utilização de RCD em obra;
- Que se faça a triagem de RCD em obra e respectiva deposição em aterro.

A fig. 3 demonstra a importância crescente de novas abordagens ao processo de construção, evoluindo da usual análise custo/benefício, para assimilar também princípios de poupança de recursos, preocupações sociais e ambientais, assumindo-se a construção, não como um processo isolado, mas como parte integrante do meio.



Figura 3- Evolução das condicionantes no sector da construção (Bourdeau, 1998)

Em resumo, o sector terá de estabelecer um novo paradigma voltado para a sustentabilidade, adoptando um novo modo de conceber, planear, construir e gerir o edificado.

2.2.1. Indústria da construção: a realidade nacional

No caso português, o sector da construção tem crescido exponencialmente desde os anos 90, tendo registado um aumento anual médio de 6% do Valor Acrescentado Bruto, e em simultâneo foi também o país da Europa com o maior consumo europeu de cimento, com uma capitação média do dobro da média europeia e quatro vezes a média mundial. (Pinheiro, Ambiente e construção sustentável, 2006)

Para podermos aferir o real crescimento do sector, com base em elementos estatísticos constata-se:

- No período compreendido entre 1980 a 2010, a população teve um crescimento de aproximadamente 10%, passando de 9 766 milhões de habitantes para 10 732 milhões. (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, 2008)
- No período compreendido entre 1980 e 2001, o parque habitacional privado teve um crescimento de mais de 726 milhões de novas habitações, sendo que em 1981 existiam 2 924 milhões de fogos, e em 2001, existiam 3 650 milhões, o que representa um crescimento de 24,8%. (INE, 2009)
- O ano de 2002, terá sido de acordo com o gráfico 2, o período no qual se atingiu o pico no crescimento do património construído, da ordem dos 1,4%, sendo que a partir desse período se tem assistido a uma redução das taxas de crescimento, apesar de que os dados de 2007 e 2008 apresentarem uma tendência de crescimento, com o crescimento do parque habitacional da ordem de 1%, valor semelhante ao do ano de 1995. (INE, 2009)
- Segundo Silva, “as necessidades de novos edifícios de habitação em Portugal seriam da ordem de apenas 40 mil por ano... se não dispuséssemos, em resultado dos excessos cometidos, de mais de 600 000 fogos devolutos, dos quais cerca de 200 000 são novos.” (Silva, 2010)

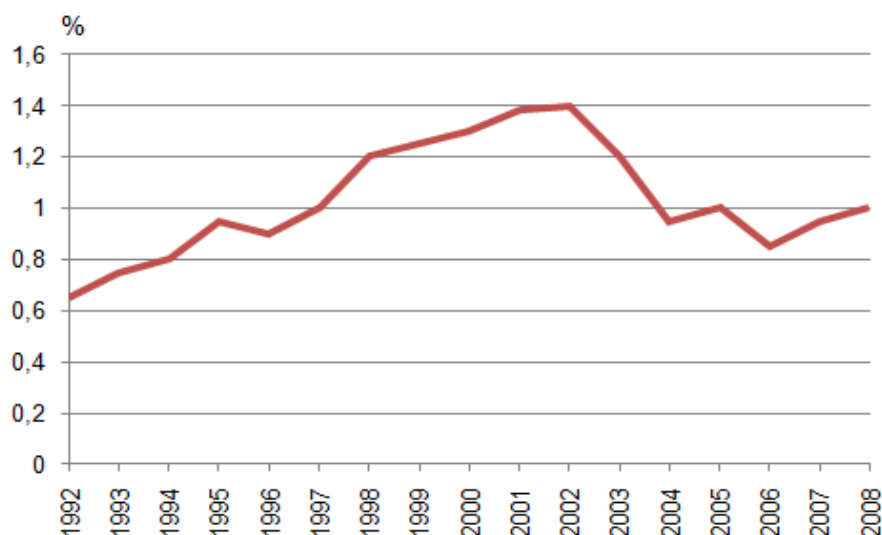


Gráfico 2- Variação média anual de edifícios clássicos em Portugal 1992-2008 (INE, 2009)

Pelo gráfico 2, que traduz a evolução anual na construção de edifícios clássicos no país, torna-se evidente que ao longo da última década, o sector da construção e obras públicas tem vindo a diminuir os índices de produção. São apontadas diversas causas para justificar este fenómeno de contracção, a principal será a crise económica e financeira que atingiu a generalidade dos mercados internacionais, afectando a economia global, que levou à necessidade de redução do investimento público e privado.

Outra das razões fundamentais que conduziram a esta situação, foi sem dúvida a aposta num modelo de desenvolvimento centrado na construção nova e na expansão dos centros habitacionais, descurando a reabilitação do património edificado. É notório em vários centros urbanos a degradação das condições de habitabilidade e a consequente desertificação dos mesmos, como tal a reabilitação urbana reveste-se de uma importância fundamental do ponto de vista social, económico, ambiental e urbanístico, e poderá contribuir de um modo mais significativo na evolução do sector da construção.

2.2.2.Reabilitação para a sustentabilidade: indicadores económicos e sociais

No panorama europeu, de acordo com o relatório de 2009 da *Federation de l' Industrie Européenne de la Construction* (FIEC), o volume de produção dos trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais, para o conjunto dos 14 países com informação disponível foi, durante o ano de 2009, da ordem dos 263,2 mil milhões de euros.

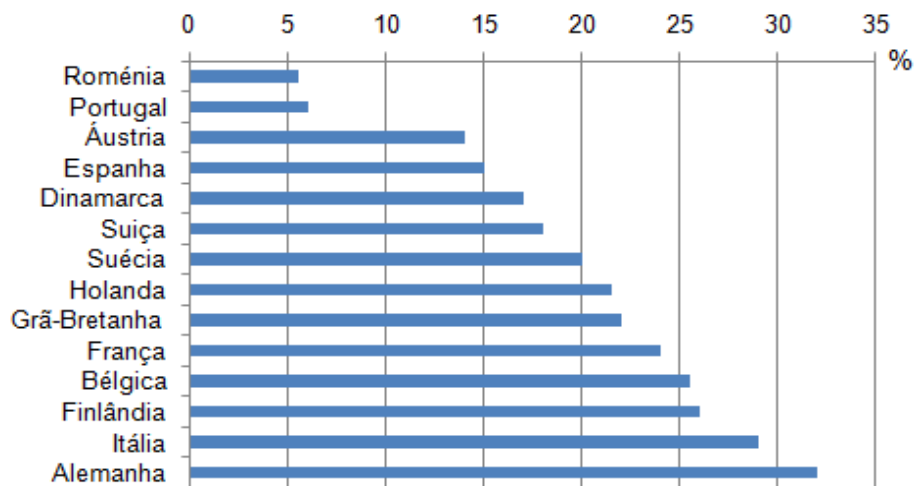


Gráfico 3- - Peso da reabilitação residencial no sector da construção em 2009 (FIEC, 2009)

O gráfico 3, proveniente do mesmo relatório, representa a percentagem de investimento no mercado da reabilitação em cada país, onde é notória a falta de investimento em Portugal, relativamente aos trabalhos de manutenção e reabilitação, com apenas 7%, apresentando índices semelhantes aos da Roménia, em último lugar no estudo. Esta política quase exclusivamente centrada na construção nova, tem causado um efeito nefasto na economia do país e traduz-se numa conduta inadequada face às necessidades de redução do impacto do sector da construção civil e obras públicas.

No entanto, e ao analisar com maior pormenor os dados estatísticos, segundo o relatório anual de 2008 do INE, percebe-se que está também a implementar-se no nosso país, essa mudança estratégica, que passa fundamentalmente pela preocupação em garantir a qualidade das habitações, em detrimento da quantidade, tendo como objectivo garantir um maior equilíbrio entre a oferta e procura de habitação, dar resposta às necessidades habitacionais da população e apostar na proximidade, tentando conter em alguns casos a expansão das áreas urbanas.

No ano de 2008, dos 53.600 edifícios construídos, cerca de 20,1% dizem respeito a obras de alteração, ampliação e reconstrução. Estes dados mostram que face ao ano transacto, houve um acréscimo de 5,7% do número de edifícios reabilitados, sendo que deste valor a grande fatia diz respeito a obras de ampliação.

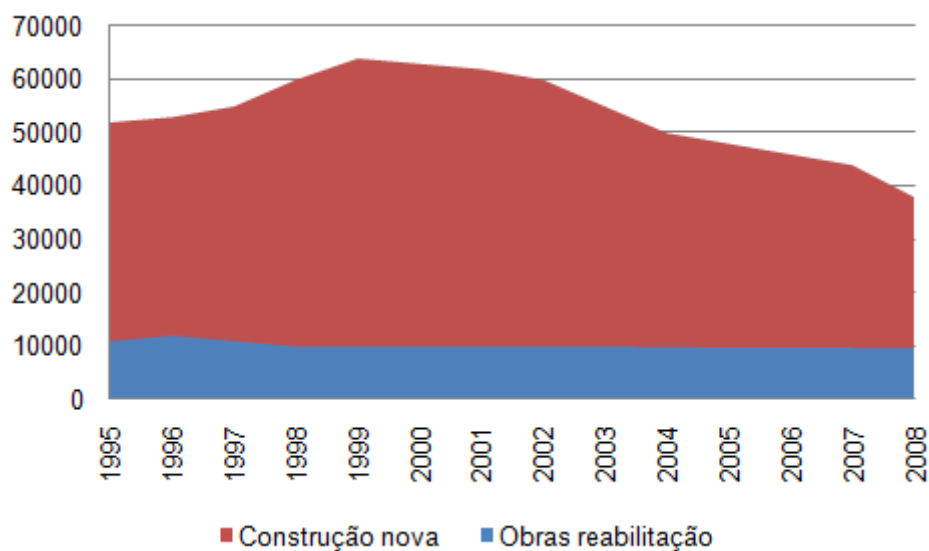


Gráfico 4- Reabilitação VS Construção nova, para habitação em Portugal 1995-2008 (INE, 2009)

O relatório de 2008 refere, como se verifica no gráfico 4, no qual se confrontam os números de obras de reabilitação, face à construção nova, que até 2002 se assistiu em Portugal, a uma relativa estabilidade das reabilitações do edificado e, simultaneamente, a um aumento das construções novas. É principalmente a partir de 2003 que se assiste a uma quebra sustentada deste tipo de obras, associada a uma tendência de diminuição das construções novas. Face à comparação dos valores de construção recente com a reabilitação, é de referir que no período entre 2001 e 2008, a proporção entre estes dois parâmetros foi de aproximadamente 20%, tendo-se atingido em 2007 um pico de 22%, que acompanha a tendência de maior importância da reabilitação relativamente à construção nova, mas que se deve principalmente, à acentuada redução desta.

Este facto pode resultar de algum modo, do reconhecimento que existe uma saturação do mercado de novas habitações; surgindo agora algumas empresas de construção a centrar-se no âmbito da reabilitação do edificado.

Outro factor de preocupação está relacionado com os problemas funcionais, e de durabilidade das construções recentes, que por deficiente planeamento na fase de projecto, inadequada articulação entre os vários responsáveis das diferentes especialidades, má execução e qualidade dos materiais utilizados em obra. Todas estas causas levam ao incremento do processo de degradação dos edifícios. Assim, de acordo com os dados do Recenseamento da Habitação de 2001, a idade média dos edifícios a nível nacional era próxima dos 34 anos e apenas 19% tinham sido

construídos entre 1991 e 2001. De igual modo, as necessidades de reparação atingiam cerca de 38,1% dos edifícios e 2,9% apresentavam um elevado estado de degradação. O valor estimado dos fogos a exigir médias, grandes ou muito grandes reparações rondava os 800 000. (INE, 2009)

Este processo de construção desregrada, de pouca durabilidade, traduz-se num aumento das necessidades de reabilitação, de modo a garantir os requisitos de qualidade, conforto interior e segurança, cada vez mais exigentes.

De acordo com um estudo levado a cabo pela AECOPS, intitulado “O Mercado da Reabilitação - Enquadramento, Relevância e Perspectivas”, é estimado um valor de mercado potencial para a reabilitação de 160 mil milhões de euros, que iria contribuir para o crescimento da produção do sector da construção levando a contribuir, como se demonstra no gráfico 5, em média com 6% do PIB e aumentar 0,5% a taxa de crescimento económico, no período entre 2011 e 2030. (AECOPS, 2009)

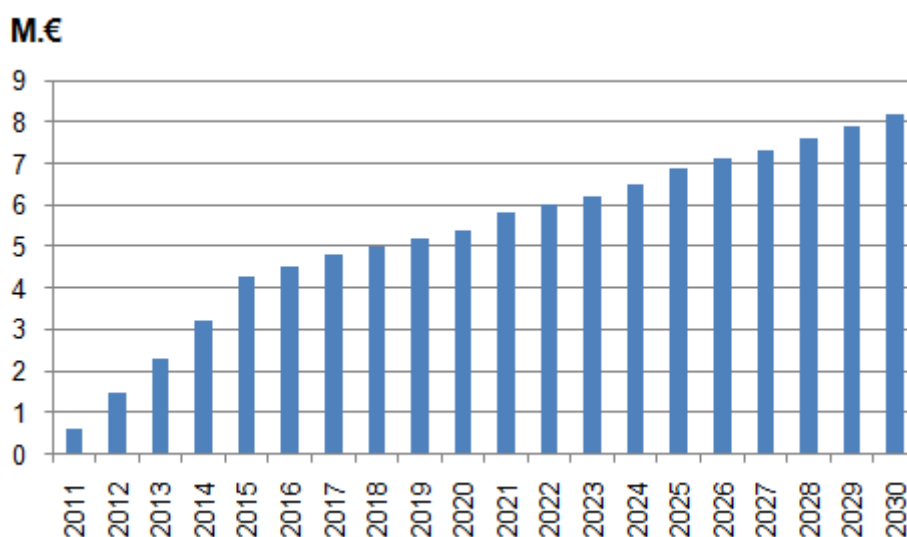


Gráfico 5- Estimativa de ganhos da eficiência energética na balança energética (AECOPS, 2009)

Há que ter em conta a especificidade dos trabalhos a levar a cabo em obras deste carácter, envolvendo materiais e tecnologias pouco usuais, sendo necessário recorrer a mão-de-obra especializada. Contudo, o sector da construção em Portugal, que se caracteriza na generalidade por mão-de-obra com baixa qualificação e elevada rotatividade, poderá criar mais problemas que benefícios para o edificado, se as obras não forem adjudicadas a empresas com a qualificação adequada

O que acontece na grande maioria dos casos, por falta de experiência dos donos de obra, é recorrer directamente a pequenas empresas ou trabalhadores independentes que desenvolvem os seus trabalhos sem qualquer tipo de planeamento, sem

elaboração de um projecto ou execução de caderno de encargos, descurando por vezes as exigências legais e normas de segurança. Estes factores, conduzem a um trabalho que “à primeira vista” poderá parecer mais vantajoso financeiramente para o dono de obra, mas que poderá acarretar mais custos a longo prazo, que um projecto desenvolvido por técnicos especializados. Estes acarretam um maior investimento inicial, tendo em conta a avaliação dos custos de ciclo de vida da obra, mas tornar-se-ão a longo prazo economicamente mais vantajosos. (Rodrigues & Teixeira, 2006)

A criação de diversos programas e planos no âmbito da requalificação, e actualização do respectivo quadro legal, demonstram a importância atribuída a este processo para o desenvolvimento sustentado das áreas urbanas.

Foi nesse contexto que foi actualizado o novo regime jurídico da reabilitação urbana, Decreto-lei nº 307/2009, no qual se define reabilitação em dois âmbitos distintos, no âmbito urbano e no âmbito do edificado.

O documento foi desenvolvido com o objectivo de eliminar os principais obstáculos à reabilitação, criando meios que permitam equilibrar os direitos dos proprietários face à necessidade de eliminar impedimentos à reabilitação, relacionados à estrutura de propriedade dos edifícios; agilizar os processos das operações de reabilitação urbana; responsabilizar as entidades públicas pelo dever de reabilitação das infra-estruturas e equipamentos e os privados com responsabilidades sobre os edifícios.

Segundo Porteous, a reabilitação e conservação do património arquitectónico, deve procurar melhorar a saúde e bem-estar dos seus ocupantes, sendo que as reabilitações urbanas criam oportunidades de revitalização das comunidades que as habitam, quer em termos sociais quer económicos, contribuindo para um sentimento de orgulho, pela recuperação do espaço que habitam. Estas vantagens são de difícil quantificação contudo, são inegáveis os efeitos positivos que poderão trazer à comunidade. (Porteous, 2003)

Percebe-se ao longo deste capítulo, a importância que a aposta no mercado da reabilitação poderá ter em benefícios de ordem económica, com um mercado potencialmente por explorar, e no âmbito social, poderá ser uma área potenciadora de emprego, exigindo uma maior aposta na formação para a reabilitação.

No entanto, é também essencial salientar a importância que a reabilitação poderá trazer, quando falamos da vertente ambiental, outro dos pilares da sustentabilidade.

2.2.3.Reabilitação para a sustentabilidade: indicadores ambientais

Normalmente a reabilitação de um edifício justifica-se quando o seu desempenho se torna ineficaz, ou obsoleto, quando se pretende alterar o seu tipo de uso, ou em casos de obras de ampliação do mesmo.

O principal objectivo ao reabilitar será o de otimizar o desempenho dos seus sistemas, assegurar adequadas condições de conforto, e simultaneamente minimizar os gastos energéticos e as consequentes emissões de GEE.

Benefícios que pode trazer uma reabilitação:

- Garantir melhorias das condições de conforto interior;
- Garantir melhores condições na fase de operação;
- Redução do consumo energético e das emissões de CO₂;
- Melhorando a eficiência dos equipamentos, é possível reduzir as necessidades de arrefecimento;
- Reduzir as necessidades e aumentar os intervalos quanto à manutenção;
- Produzir um maior retorno de capital;
- Alterações no tipo de uso do edifício;
- Atrair rendas mais elevadas;
- Contribuir para a permanência dos inquilinos;
- Auxiliar na venda ou aluguer do edifício.

(CIBSE, 2007)

Em alguns casos a reabilitação de edifícios poderá representar um maior encargo económico que uma demolição e/ou reconstrução, seja pela maior dificuldade face à adaptação do espaço a diferentes usos, ou à maior imprevisibilidade de problemas que podem surgir durante uma reabilitação. No entanto, terá de ser contabilizado um factor que adquire cada vez maior importância no sector da construção, a importância do impacto sobre o ambiente, e esse, no caso da demolição, será necessariamente muito maior do que numa reabilitação.

Isto deve-se ao facto de todos os materiais terem energia incorporada, que se entende como o somatório da energia consumida durante o seu ciclo de vida, o que necessariamente provoca emissões de CO₂, e em alguns casos elevados consumos energéticos. Normalmente e pela dificuldade em quantificar esse valor global, contabilizam-se pelo menos, os processos de extracção, transformação e transporte. (Hammond & Jones, 2008)

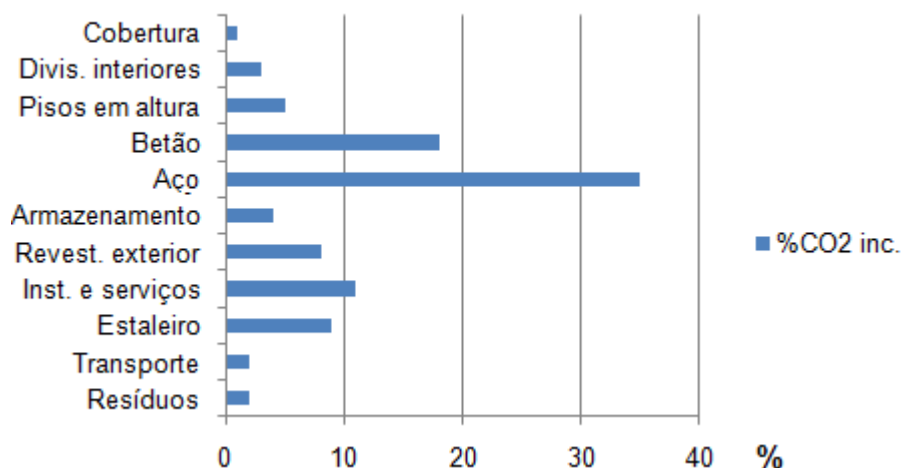


Gráfico 6- CO₂ incorporado associado à construção (Simons Construction Group, 2007)

A análise do gráfico 6, revela as percentagens de CO₂ incorporado nos diferentes elementos ligados ao sector. Da análise, verifica-se que é na estrutura dos edifícios que reside a maior percentagem de CO₂ incorporado, nomeadamente pelo uso de aço e de betão. Numa obra de reabilitação estes elementos, não são normalmente substituídos, optando-se pela sua recuperação.

Assim ao substituir os elementos, em vez de os recuperar, levará a um aumento dos custos ambientais associados. Na fase de construção também existem vantagens para a reabilitação, tais como, estaleiros mais reduzidos, menor quantidade de transporte de materiais para a obra, e menor perturbação da envolvente. (Silva, Reabilitar: a melhor via para a construção sustentável, 2005)

Por sua vez, o processo de demolição e deposição de resíduos gera também um maior fluxo de emissões de GEE, com os respectivos impactos associados à deposição dos resíduos. (Baker, 2009)

De acordo com Cruz *et al.*, a reabilitação constitui uma forte alternativa à demolição dos edifícios, não contribuindo para o crescimento urbano e aumento da ocupação do solo. Por outro lado, com o impacto que os edifícios têm em termos de consumo

energético, estes deverão cumprir requisitos mínimos de desempenho energético, adaptados às condições climáticas locais. (Cruz, Torres, & Silva, 2009)

É fundamental adaptar às obras de reabilitação e renovação do edificado, as políticas de eficiência energética que se aplicam às novas construções. Deste modo será possível garantir uma melhoria das condições de conforto interior e consumo energético, nos edifícios a recuperar, e assim conseguir atingir um desempenho funcional e de segurança semelhante ao de uma nova construção, minimizando o impacto para o ambiente.

Atingir o conforto interior é um dos elementos chave num projecto de reabilitação. Diversos edifícios actuais não satisfazem essa exigência, nomeadamente em edifícios de serviços, irá influenciar a satisfação dos trabalhadores, condicionando as condições de trabalho, motivação, absentismo, saúde e segurança.

Alguns factores do ambiente interior que influenciam o conforto dos ocupantes são:

- **Conforto térmico** - influenciado pela temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar.
- **Qualidade do ar interior** - influenciado pela ventilação, qualidade do ar exterior, pelos ocupantes e por fontes de poluição interiores.
- **Conforto visual** - dependente do nível de luminância, brilho, contraste e cor do ambiente interior.
- **Conforto acústico** – depende do ruído provocado pelos equipamentos, ruído exterior e ruídos parasitas que se infiltram pelas paredes ou pela cobertura.

A opção reabilitação é aquela que traduz uma maior redução no volume de emissões e consegue-o num menor espaço de tempo (Gráfico 7). A partir dos 20 anos, a nova construção torna-se mais eficiente face à reabilitação, contudo este valor poderá variar consoante a qualidade da construção. É de salientar também que as metas estabelecidas a nível global para a redução dos GEE, deverão ser cumpridas até 2020, reforçando mais uma vez a nova construção como a opção mais desfavorável. (Baker, 2009)

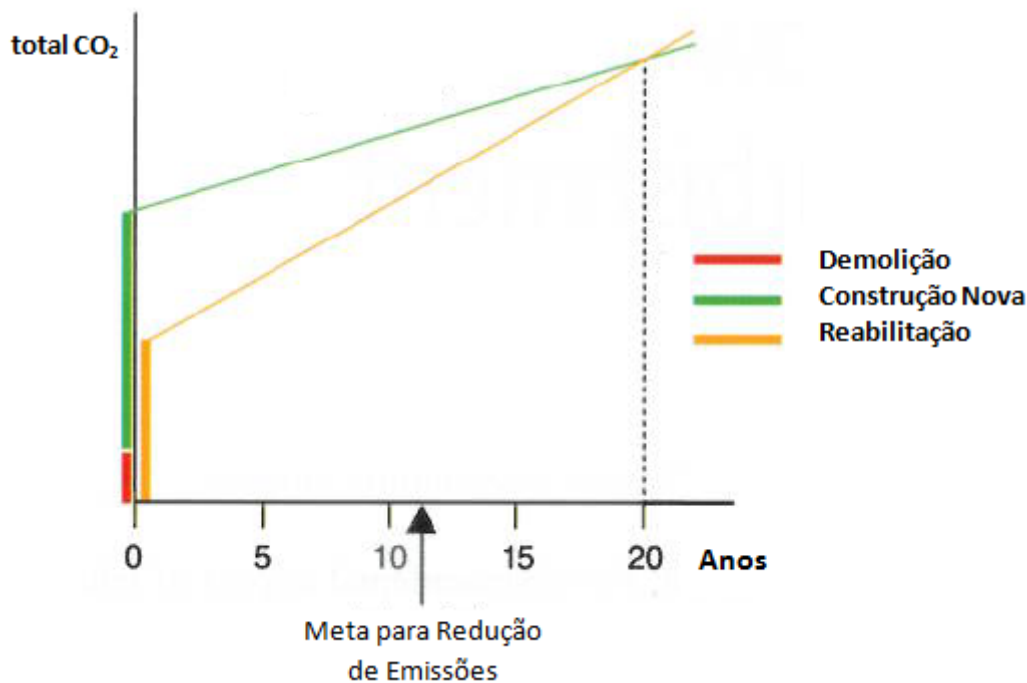


Gráfico 7- Emissões de CO₂, reabilitação VS construção nova (Baker, 2009)

A reabilitação do edificado irá resultar numa maior poupança quanto às emissões de carbono, nas fases de design e de construção, quando comparado com uma construção nova. Um relatório elaborado no Reino Unido, pela *Empty Homes Agency* sugere que poderão ser poupados em média 35 toneladas de CO₂ ao optar-se pela reabilitação do edificado em detrimento da nova construção, evitando acrescidos custos energéticos associados aos novos materiais e processos construtivos. (EHA, 2008)

Highfield destaca, que esta opção é também comercialmente viável para as construtoras, conseguindo produzir em metade do tempo e entre 50% a 80% do custo de uma demolição, e consequente reconstrução. (Highfield, 2000)

Para obtermos uma reabilitação sustentável um dos principais factores a conhecer é a eficiência energética dos edifícios. Relativamente a esse factor, excluem-se, por razões óbvias, a orientação e forma do edifício, mas outros parâmetros, como alteração das disposições no espaço interior, alterações nos envidraçados, melhoramento do isolamento térmico e acústico, melhorias na ventilação e estanquidade, e o ajuste da massa térmica do edifício, deverão ser tidos em conta. (Sodagar, 2009)

Percebe-se por estas razões, a importância em desenvolver estratégias que permitam melhorar a performance energética do património edificado, que na maioria das situações se caracteriza por elevados dispêndios de energia, fracas condições de

conforto interior, por débil iluminação natural e artificial, deficiente ventilação, e controlo desadequado de sistemas de aquecimento e arrefecimento. Estes factores são responsáveis por cerca de metade do consumo global de energia durante o período de vida do edifício.

A reabilitação acarreta medidas de preservação do valor arquitectónico, dos materiais e minimização da produção de resíduos. Contudo, é na redução diária dos consumos de combustíveis fósseis para o aquecimento, arrefecimento, iluminação e ventilação, que reside o principal objectivo de qualquer obra de reabilitação, dita sustentável. (Baker, 2009)

2.3. Avaliação de ciclo de vida e avaliação de custo de ciclo de vida

A urgência de rever e aperfeiçoar processos e políticas construtivas, tem como base uma premissa fundamental que norteia os princípios da construção sustentável, a necessidade de estabelecer métodos que permitam conhecer e avaliar os impactos da construção sobre o ambiente ao longo do seu ciclo de vida, o que implica identificar e estimar os fluxos de input/output de materiais, emissões, consumos energéticos, da obra desde a sua concepção até ao seu fim de vida. A este processo dá-se o nome de Avaliação do ciclo de vida (ACV), em inglês *Life cycle assessment*.

Este sistema possibilita aos projectistas estimar quais serão os principais impactos das soluções construtivas adoptadas, e quais as opções de design e procedimentos a tomar para atenuar esses impactos, aumentar a eficiência dos recursos e a qualidade do ambiente interior, ao longo do horizonte de projecto.

O Decreto-Lei n.º 46/2008, relativo à reciclagem de Resíduos de Demolição e Construção (RCD), prevê que em projecto já se minimize a produção de RCD, se maximize a valorização de resíduos e se favoreçam os métodos construtivos que facilitem a demolição. É de realçar que este Decreto-Lei ainda não fomenta a desconstrução em virtude da demolição.

2.3.1. Avaliação do Ciclo de Vida

De acordo com a especificação internacional ISO 14040:2006, *Environmental management- Life cycle assessment – Principles and framework*, criada pelo comité

técnico ISO/TC 207, a ACV é uma metodologia que permite avaliar o desempenho ambiental de um produto, ao longo do seu período de vida, permitindo estabelecer indicadores sobre os principais impactos sobre o ambiente, nas fases de produção, uso e deposição de um produto.

Este sistema é levado a cabo em quatro fases distintas:

- **A definição dos objectivos e âmbito do estudo** – a sua aplicação prática, público alvo, as razões para levar a cabo o estudo;
- **Análise de inventário** – colheita de dados e quantificação dos principais inputs e outputs, como, matérias-primas, energia, produtos, emissões, resíduos e outros de ordem ambiental
- **Avaliação de impacto** – fase em que são associados os dados recolhidos na análise de inventário, a categorias de impactos ambientais específicos;
- **Interpretação de dados** – avaliação dos resultados, com base nos dois processos anteriores, mantendo a conformidade com os objectivos pré-definidos, estabelecendo conclusões, recomendações e apresentando possíveis limitações do estudo.

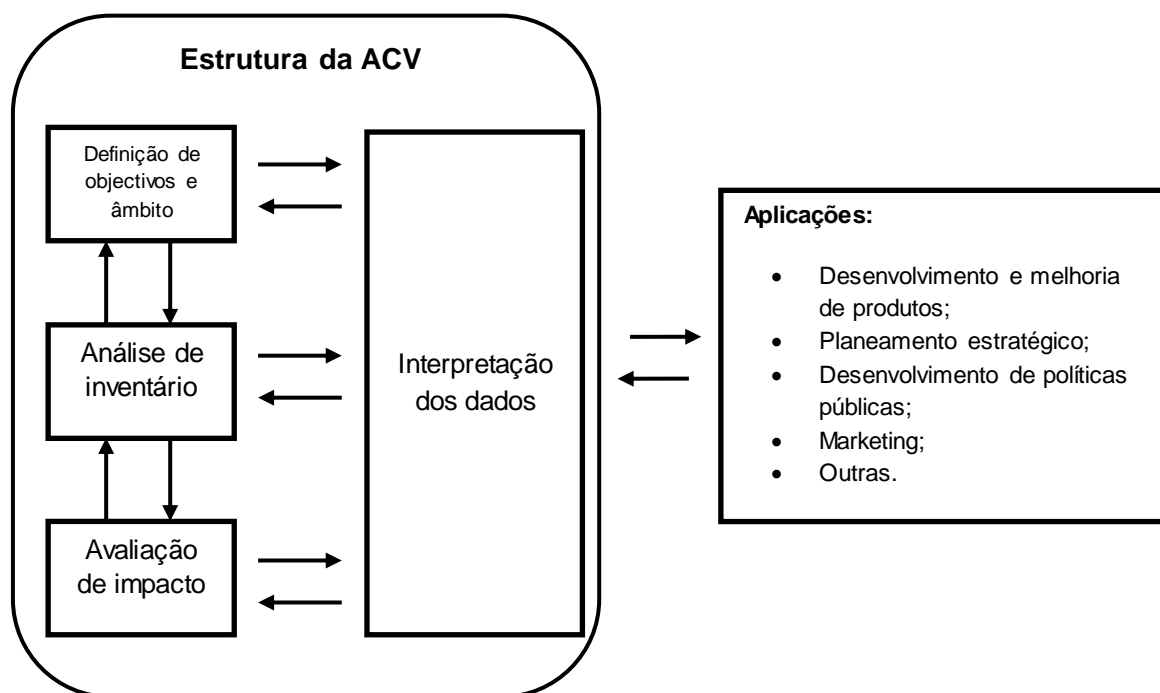


Figura 4- Fases da Avaliação do Ciclo de Vida

A avaliação poderá abranger todo o ciclo de vida ou apenas uma parte desse ciclo, poderá também avaliar a performance ambiental numa, ou em diversas categorias, dependendo do que for estabelecido como objectivo e âmbito da ACV.

Este sistema pode ser usado como um instrumento de apoio à decisão, e de planeamento estratégico, em organizações públicas e privadas. Na indústria, permitirá melhorar o desempenho ambiental dos produtos, identificando os diferentes processos de produção e os impactos associados a estes.

A técnica de ACV tem normalmente duas fases: a primeira, na qual é feito um inventário onde se contabilizam e descrevem que emissões que irão ocorrer e que matérias-primas serão usadas durante a vida do projecto. O segundo passo será a avaliação de quais serão os impactos provenientes dessas emissões e do consumo de recursos materiais.

O método permite representar as diferentes fases do ciclo de vida de um produto, normalmente incluindo a extracção e aquisição de matéria-prima, produção, operação e deposição em fim de vida.

Em cada fase de vida são contabilizados os diversos fluxos de input's/output's, que integram os processos de produção, que se dividem:

- **Fluxos elementares:** materiais e/ou energia introduzida no sistema que tenha sido extraída do ambiente sem que tenha sofrido qualquer transformação e materiais e/ou energia e /ou emissões, que são libertadas no processo de produção, como emissões para o ar, solo e água.
- **Fluxos de produtos:** produtos que resultem de outros processos e que integrem os processos de um novo produto, ou produtos criados pelos processos em curso.
- **Produtos auxiliares:** inputs de materiais ou produtos, usados no processo de produção, mas que não constituem parte do produto.

A avaliação de todos os fluxos de inputs e outputs do sistema permite identificar os recursos necessários nos processos de produção, quantificar as suas emissões e descargas para o ambiente, abrangendo todo o ciclo de vida.

É importante no entanto, definir uma unidade funcional para a ACV, com um princípio base comum, possibilitando deste modo a comparação de resultados entre avaliações, que adoptem a mesma metodologia. (ISO, 2006)

A principal barreira à implementação desta avaliação reside na inexistência de uma base de dados actualizada, que identifique a rastreabilidade de um produto, de modo a que seja possível quantificar a sua energia incorporada, em cada fase de vida. (Langdon, Literature review of life cycle costing and life cycle assessment, 2006)

Igualmente, a avaliação custo/benefício, é uma análise de importância fulcral e que está há muito instituída quando se pretende levar a cabo qualquer projecto de construção, no entanto, o que ocorre normalmente é essa análise centrar-se apenas no custo de investimento inicial para a construção, descurando as restantes fases de vida do edifício, ou seja, não contabilizando o uso, manutenção e fim de vida. De acordo com Ceotto, é na fase de uso que se registam os maiores custos, representando cerca de 80% do custo global do edifício. (Ceotto, 2007)

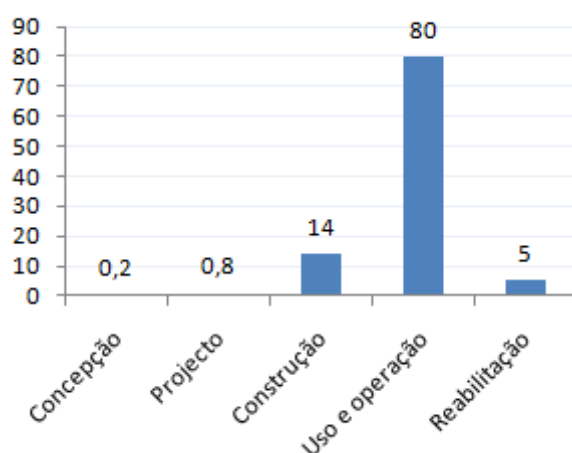


Gráfico 8- Custos de vida útil do edifício (%) (Ceotto, 2007)

É neste contexto que se implementa a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACCV), em inglês, *Life cycle costing*, que permite efectuar uma análise comparativa de custos, englobando os custos iniciais, de operação, manutenção, e de fim de vida, estimando o custo total do projecto.

2.3.2. Avaliação do Custo de Ciclo de Vida

A ACCV é uma técnica que permite fazer uma comparação de custos, num determinado período de tempo, tendo em consideração todos os encargos económicos que caracterizam um determinado produto, em termos de custos de investimento inicial, custos operacionais, manutenção e reabilitação, ou seja o custo total de propriedade. (OGC , 2003)

A ACCV é geralmente usada para comparar diferentes alternativas para satisfazer iguais requisitos funcionais, permitindo identificar qual a escolha mais vantajosa em termos de custos e desempenho. Sobretudo, permite avaliar o impacto económico de um produto durante o seu período de vida.

Para a indústria da construção, a ACCV é utilizada como ferramenta de apoio à decisão em projectos de construção, podendo também ser aplicada em materiais, sistemas e componentes dos edifícios. Ao levar a cabo esta avaliação pretende-se estimar e controlar os custos globais dos empreendimentos, e identificar os elementos que poderão acarretar maiores despesas.

Este sistema pode ser adoptado ao nível património edificado, para estimar custos durante a fase de operação, mas também na fase de planeamento de trabalhos para uma reabilitação/renovação, este poderá ser um elemento chave para identificar as diversas actividades construtivas a desenvolver e os seus custos associados. (Langdon, Literature review of life cycle costing and life cycle assessment, 2006)

Algumas aplicações desta avaliação poderão ser:

- Avaliar o custo global de investimento e uso de um bem, em toda ou parte do seu ciclo de vida;
- Estimar com maior precisão e transparência para o cliente, o custo total de um edifício;
- Permite identificar processos com maior custo/benefício, adoptando componentes com maior durabilidade e menor necessidade de manutenção;
- Possibilidade de estimar custos futuros ainda na fase de concepção do projecto;
- Para comparar economicamente a opção de soluções de design sustentável, associando contrapartidas económicas, em função de um menor grau de impacte ambiental;

(Langdon, Life cycle costing as a contribution for sustainable construction- Final guidance, 2007)

A empresa de consultoria de engenharia e construção Davis Langdon, responsável por este relatório defende que a implementação da ACCV em projectos de construção, nomeadamente projectos que tenham em consideração soluções de design

sustentáveis, será fundamental para justificar o maior investimento inicial deste tipo de projectos, identificando na avaliação, os benefícios económicos de longo prazo.

Esta empresa levou a cabo uma investigação, para a UE, entre 2006 e 2007, com o objectivo de desenvolver uma metodologia a ser adoptada por diversos países europeus, que permitisse estimar o custo de vida dos edifícios e do património construído, referindo diversos casos de estudo realizados por países da UE. Pretende-se que este método seja uma ferramenta de suporte para entidades contratantes, investidores privados, empreiteiros associados ao sector da construção, e é tido como elemento complementar da ISO 15686, que irá ser abordada no parágrafo seguinte.

Em termos normativos foi desenvolvida a ISO 15686-5:2008, *Buildings and constructed assets – service life planning- Life cycle costing*, onde são estabelecidos os principais objectivos desta metodologia, como âmbito e objectivos do projecto, que custos incluir, que fases e níveis de pormenor a ACCV irá tomar, e quais os principais resultados esperados.

Nesta estabelecem-se as definições de Custo de vida global (*Whole life costing*) e Custo de ciclo de vida (*Life cycle costing*), abrangendo este último apenas o edifício e o seu horizonte de projecto, que se representa no diagrama seguinte (Figura 5).

A norma apresenta seis metodologias para a aplicação desta avaliação e técnicas de análise e comunicação de resultados. Define de que modo avaliar os riscos e incertezas associados a este processo, o como a ACCV se integra no processo de avaliação do custo de vida global. (ISO, 2008)

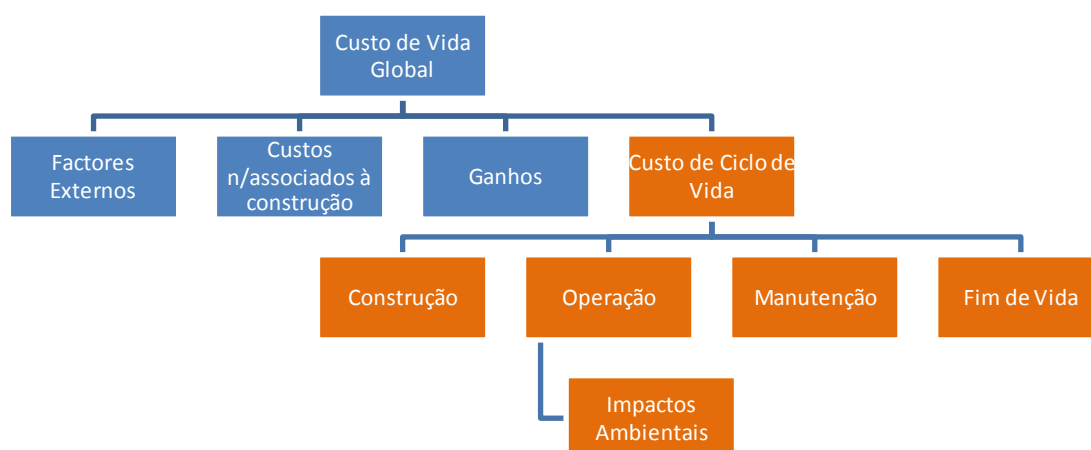


Figura 5- Custo de vida Global (ISO, 2008)

2.3.3. Avaliação de Ciclo de Vida e Avaliação do Custo de Ciclo de Vida: processos complementares

A integração entre a ACV e a ACCV permitirá identificar as opções mais vantajosas de ordem financeira e ambiental (fig. 6).

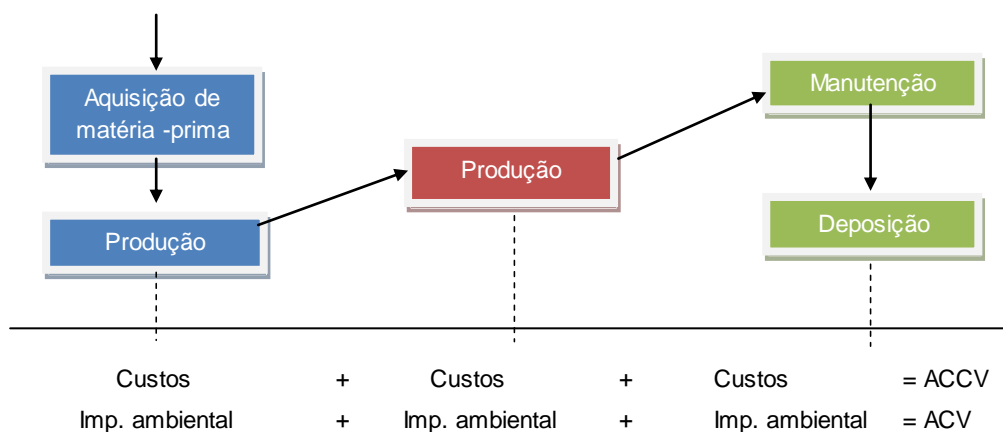


Figura 6- Avaliação do Custo de Ciclo de Vida e Avaliação de Ciclo de Vida no sector da construção (Guoguo, 2008)

Apesar destas duas técnicas usarem metodologias e processos diferentes, e serem consideradas duas áreas distintas, existem algumas inter-relações e semelhanças entre si:

- Ambas realizam a avaliação de impactos a longo prazo;
- Necessitam de uma recolha exaustiva de dados para as avaliações;
- Alguns elementos como a energia e os materiais, fazem parte dos dados em ambas as avaliações;
- Abrangem as fases de operação e manutenção;
- Têm em consideração oportunidades para reciclar/reutilizar materiais ao invés da deposição;

Contudo, a principal dificuldade em conjugar os dois processos é que cada um utiliza diferentes classificações para representar os resultados da avaliação. A ACCV é expressa em valores de ordem económica e a ACV baseia-se normalmente na classificação por créditos ambientais. Outros obstáculos poderão ser os diferentes enquadramentos temporais, onde a ACCV inicia a sua avaliação na fase de início de projecto, a ACV poderá englobar processos como a extracção de matéria-prima e a produção de materiais, que estão fora do âmbito da ACCV.

No relatório final elaborado pela consultora, é referida a importância em usar estas duas avaliações, ACV e ACCV, em conjunto como metodologias de apoio à decisão, ou utilizar um processo como introdução do outro.

Algumas aplicações poderão ser as seguintes:

- A adopção da ACV e da ACCV como critério de avaliação na fase de concepção do projecto, na escolha de materiais e tecnologias a adoptar, de acordo com o seu custo e impacte ambiental;
- Usar a ACCV para avaliar do ponto de vista económico as diversas soluções sustentáveis identificadas na ACV. Esta poderá quantificar também os custos dos impactos durante o período de vida do edifício, mas apenas daqueles que forem quantificáveis em termos económicos;
- É possível também fazer a avaliação ambiental em primeiro lugar e depois avaliar o custo de vida apenas da solução com melhor desempenho ambiental;
- Ou usar a ACCV para determinar as soluções economicamente mais vantajosas e em seguida, avaliar os impactes ambientais dessas soluções.

A consultora Davis Langdon estabelece que a ACV tem uma grande importância na avaliação dos impactos a longo prazo, e recomenda que se aposte na sua integração com a ACCV, de preferência na fase inicial do projecto. (Langdon, Life cycle costing as a contribution to sustainable construction: a common methodology, 2006)

2.4.Sistemas de avaliação ambiental dos edifícios

No sentido de poder quantificar e avaliar a sustentabilidade dos edifícios, foram desenvolvidas diversas metodologias de ACV, normalmente adaptadas à realidade e características de cada país, com o intuito de avaliar o desempenho ambiental do edifício durante todo o seu período de vida, desde a sua concepção até à fase de demolição.

Com estes sistemas é realizada uma avaliação dos diversos requisitos estabelecidos, com o peso dos vários parâmetros da análise a variar de país para país, sendo atribuída uma classificação de acordo com o desempenho do edifício. A criação destes sistemas permite estabelecer algumas regras e definir linhas orientadoras com estratégias de concepção, construção e operação, que permitem minimizar o impacto

ambiental do edifício, sendo fundamentalmente uma ferramenta de apoio à decisão, quando se pretende desenvolver um projecto de construção sustentável. (USGBC, 2009)

2.4.1. Leadership in Energy and Environmental Design

O sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) foi criado nos Estados Unidos, por uma entidade à qual pertencem mais de 4000 organizações, abrangendo empresas, universidades e profissionais da indústria da construção, e a *US Green Building Council (USGBC)*.

O sistema LEED estabelece uma classificação global, que resulta do somatório dos créditos atribuídos em cada uma das diferentes categorias ambientais, definidas pelo sistema:

- Sustentabilidade do local;
- Gestão e economia dos recursos hídricos;
- Energia e atmosfera;
- Materiais e recursos;
- Qualidade do ambiente interior;
- Inovação e design.
- Prioridade regional

(USGBC, 2009)

O método LEED também reconhece como as condições locais influenciam os métodos construtivos e as características dos edifícios e atribui créditos adicionais por se ter em conta a importância regional, na fase de concepção do projecto.

A classificação LEED é estabelecida por 100 créditos associados a cada categoria ambiental, sendo atribuídos 10 pontos bônus, para as categorias de inovação e prioridade regional.

A versão mais actual do LEED usa como critérios de ponderação para quantificar a importância das diferentes áreas de avaliação da sustentabilidade, o programa TRACI,

desenvolvido pela U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA), que permite estimar a avaliação do impacto para a ACV, processo de concepção, produção ecológica e prevenção da poluição. Esta ferramenta é usada em conjunto com o projecto levado a cabo pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST), que compara os diversos impactos associados às várias categorias e tenta atribuir um peso ponderado a cada uma das áreas.

Este sistema tem sofrido várias actualizações, tendo a primeira versão sido lançada em 1998, conta já com quatro actualizações, estando neste momento em vigor a versão 3.0, publicada em 2009. Ao longo dos anos o sistema foi sendo revisto, e neste momento tem estabelecidos diversos sistemas de classificação adaptados aos diferentes tipos e usos dos edifícios:

- **LEED Core & Shell** - construção de elementos como a estrutura, envelope sistemas dos edifícios;
- **LEED New Constructions and major renovations** - projectos para novos edifícios comerciais e institucionais e reabilitações significativas;
- **LEED Schools** - sistema aplicado a escolas
- **LEED Neighborhood Development** – vocacionado para o desenvolvimento do ambiente envolvente;
- **LEED Retail** – adequado para grandes espaços, como armazéns;
- **LEED Healthcare** – associado aos serviços de saúde;
- **LEED Homes** – avaliação em habitações;
- **LEED Commercial Interior** – para espaços comerciais interiores.



Figura 7- Sistemas de classificação LEED (USGBC)

A versão de 2009, no âmbito da nova construção e renovações, atribui as seguintes classificações aos edifícios certificados:

- Certificado, 40-49 créditos;
- Prata, 50-59 créditos;
- Ouro, 60-79 créditos;
- Platina, 80 créditos e pontuações superiores.

(USGBC, 2009)

2.4.2. Building Research Establishment's Environmental Assessment Method

O *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM), foi a primeira metodologia de avaliação do desempenho ambiental aplicado aos edifícios, sendo desenvolvido pela *Building Research Establishment* (BRE).

Desde 1990, o BREEAM tem vindo a sofrer diversas alterações de modo a acompanhar as alterações regulamentares no ramo da construção. Todas as certificações são supervisionadas por um conselho de sustentabilidade, composto por diversos investidores da indústria da construção.

O sistema do BRE pretende reduzir o impacto dos edifícios no ambiente, desenvolver uma marca ambiental credível para classificar os edifícios, e assim potenciar a procura deste tipo de construções.

Objectivos do BREEAM:

- Estabelecer reconhecimento no mercado imobiliário para os edifícios de baixo impacto ambiental;
- Assegurar que as melhores práticas ambientais são adoptadas nos edifícios;
- Consciencializar os proprietários, inquilinos, arquitectos, dos benefícios em desenvolver um edifício com um menor impacto sobre o ambiente;
- Estimular o mercado para a criação de soluções inovadoras, para a redução dos impactos.

O sistema abrange dez categorias para a sustentabilidade:

- **Gestão** – impactos do estaleiro, na fase de início e preparação dos trabalhos para a construção e medidas de segurança;
- **Saúde e bem-estar** – quanto às condições de iluminação, conforto térmico e acústico, qualidade do ar e da água;
- **Energia** - implementação de sistemas de medição e controlo dos consumos, e de tecnologias de baixo impacto, volume de emissões de CO₂;
- **Transporte** – ligações com a rede de transportes públicos e acessibilidade;
- **Água** – quanto ao seu consumo, reciclagem e detecção de fugas;
- **Materiais** – avaliação da energia incorporada, reciclagem e reutilização dos materiais;
- **Resíduos** – existência de locais de reciclagem, aproveitamento de resíduos da construção para produção de agregados reciclados;
- **Uso do solo e ecologia** – protecção do habitat, escolha do local, medidas de mitigação dos impactos;
- **Poluição** – avaliação do risco de inundação, poluição dos aquíferos, e de outros tipos de poluição;

- **Inovação** – adopção de novas tecnologias construtivas, níveis de comportamento acima da média, e recorrendo a profissionais acreditados pelos BREEAM.

A certificação processa-se normalmente em duas fases, na primeira é feita uma pré-avaliação durante a fase de concepção, sendo emitido um certificado provisório. Após a conclusão da construção é realizada uma vistoria ao edifício, para garantir a conformidade com o projecto, sendo depois emitido o certificado final.

A avaliação tem em consideração diversos factores para classificar os edifícios:

- Classificação de referência do BREEAM;
- Pesos ambientais do BREEAM;
- Requisitos mínimos do sistema;
- Créditos para a inovação.

O BREEAM 2010 atribui as seguintes classificações de desempenho aos edifícios:

- Sem Classificação <30%;
- Suficiente $\geq 30\%$;
- Bom $\geq 45\%$;
- Muito Bom $\geq 55\%$;
- Excelente $\geq 70\%$;
- Excepcional $\geq 85\%$.

Tal como o sistema norte-americano o BREEAM também adaptou o seu sistema de avaliação em função dos diferentes tipos de edifícios, alterando, por exemplo, os pesos dos parâmetros ambientais em função dos usos e características das construções, como podemos observar no gráfico 9. (BRE, 2010)

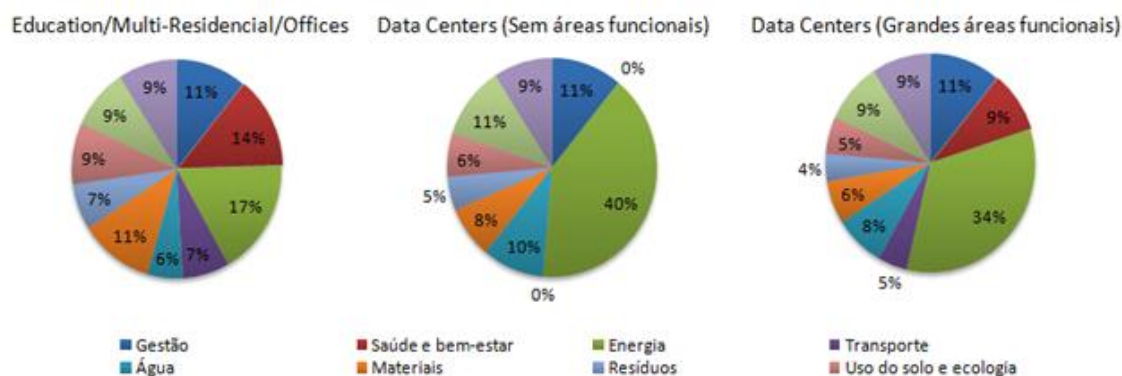


Gráfico 9- Pesos BREEAM para construção nova e reabilitação (BRE, 2010)

Nos esquemas apresentados no gráfico 9, aparecem algumas versões do BREEAM para novos espaços e reabilitações em diversos edifícios com diferentes usos. Percebe-se como o peso dos diferentes factores ambientais, é influenciado pela funcionalidade de cada um.

É de salientar a resposta positiva que este sistema tem vindo a ganhar, nos últimos anos no Reino Unido, sendo actualmente obrigatória, a certificação da habitação, para venda ou aluguer, de acordo com o sub-sistema do BREEAM, o *Code for Sustainable Homes*.

2.4.3. Sistema LiderA

Também a nível nacional, existe um sistema que procura promover a procura da construção sustentável, o sistema LiderA. Este sistema aparece em 2000 e, começou a ser desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico (IST), nomeadamente pelo Professor Manuel Duarte Pinheiro. É um sistema voluntário, que procura desenvolver soluções sustentáveis a diferentes escalas avaliando o seu potencial e viabilidade.

Baseia-se na avaliação de diferentes critérios, numa matriz de impactos com 6 vertentes, 22 áreas e 43 critérios, aos quais são depois atribuídas diferentes percentagens de desempenho.

O sistema engloba as diferentes dimensões:

Tabela 1- Pesos por áreas no sistema LiderA

Vertentes	%	Áreas	%
Integração Local	14	Solo	7
		Ecosistemas nat.	5
		Paisagem e patrim.	2
Recursos	32	Energia	17
		Água	8
		Materiais	5
		Alimentares	2
Cargas Ambientais	12	Efluentes	3
		Emissões atmosf.	2
		Resíduos	3
		Ruido exterior	3
		Pol. Ilumino-térmic.	1
Conforto Ambiental	15	Qualidade do ar	5
		Conf. Térmico	5
		Ilum. e acústica	5
Vivência Sócio-económica	19	Acesso para todos	6
		Div. Económica	4
		Amenidade e Inter. Social	4
		Participação e controlo	4
		Custos no ciclo de vida	2
Gestão Ambiental e Inovação	8	Gestão ambiental	6
		Inovação	2

A classificação LiderA, segue a ordem seguinte:

- Classificação C: melhoria de 25%;
- Classificação B: melhoria de 37,5%;
- Classificação A: melhoria de 50%;
- Classificação A⁺: melhoria de 75%;
- Classificação A⁺⁺: melhoria de 90%;

Actualmente o sistema encontra-se na sua versão 2.0, permitindo neste momento abranger novas construções, reabilitações de edifícios para a eficiência e sustentabilidade. Está também em fase beta a aplicação deste tipo de avaliação num

enquadramento alargado à comunidade, com recuperações de espaços públicos e gestão do património construído, ao nível dos municípios.

Este sistema não tem vindo a ganhar grande aceitação no nosso país, apesar dos protocolos já estabelecidos entre alguns municípios, por ex. Santarém, Torres Vedras, Lisboa.

O sistema conta com 637 110 m² de edifícios reconhecidos, sendo que deste valor, 104 957 m² estão certificados. Totaliza 569 fogos certificados, e diversos casos de aplicação em edifícios de diferentes funções, como escolas, empreendimentos privados, restaurantes, hotéis e edifícios institucionais. (Pinheiro, Apresentação sobre o sistema LiderA, 2010)

2.4.4. Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas

A Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) foi desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, por Bragança e Mateus.

Centra a sua avaliação nas soluções construtivas, nomeadamente nos elementos da envolvente dos edifícios, como paredes exteriores, coberturas e pavimentos. (Bragança & Mateus, 2006)

A aplicação da metodologia compreende as seguintes fases:

Definição dos parâmetros a adoptar

Inicialmente são escolhidos quais os parâmetros a adoptar de acordo com os elementos construtivos em estudo. Ou seja, vai depender dos objectivos da avaliação, das características das soluções construtivas, das exigências funcionais, características locais e dos elementos disponíveis para a avaliação.

Na Tabela 2, são apresentados, alguns dos parâmetros a ter em conta na avaliação.

Tabela 2- Parâmetros aplicáveis à MARS-SC

Indicadores		
Ambiental	Social/Funcional	Económico
Parâmetros		
Potencial de aquecimento global (PAG)	Isolamento sonoro a sons de condução aérea	Custo de construção
Energia primária incorporada (PEC)	Isolamento sonoro a sons de percussão	Custo de manutenção
Potencial de reciclagem	Isolamento térmico	Custo de reabilitação
Potencial de reutilização	Durabilidade	Custo de desmantelamento/demolição
Conteúdo reciclado	Comportamento ao fogo	Valor residual
Quantidade de matéria/recursos naturais utilizados	Impermeabilidade	Custo do tratamento para devolução ao ambiente natural
Toxicidade	Estabilidade estrutural	
Acidificação	Comportamento sísmico	
Eutrofização das reservas de água	Potencial para a reabilitação	
Quantidade de água incorporada	Flexibilidade	
Produção de resíduos	Inovação e desenho	
Reservas remanescentes de matéria-prima	Iluminação natural	

Quantificação dos parâmetros

Ao adoptar os parâmetros que se adequam a cada um dos elementos em estudo é necessário definir a importância de cada parâmetro. A quantificação permite definir o peso de cada parâmetro, dentro de cada um dos “pilares” da sustentabilidade e desse modo obter uma avaliação de cada solução.

Os autores reforçam que o peso de cada parâmetro em cada um dos indicadores, não é consensual e difere entre metodologias de avaliação. O quadro seguinte representa os pesos relativos dos doze parâmetros ambientais avaliados pela *Environmental Protection Agency*.

Tabela 3- Pesos dos parâmetros ambientais (EPA, 2000)

Parâmetro Ambiental	Peso (%)
Aquecimento global	24
Acidificação	8
Eutrofização	8
Qualidade do ar interior	16
Alteração dos habitats	24
Utilização da água	4
Emissão de gases poluentes	8
Criação de "Smog"	6
Toxicidade para os ecossistemas	11
Toxicidade para o ser humano	11
Destruição da camada de ozono	5

No âmbito da funcionalidade, o problema da influência de cada parâmetro persiste, visto que muitas vezes a atribuição subjectiva de pesos depende do tipo de uso da solução e das características sócio-económicas do avaliador. Recomenda-se que inicialmente se atribuam pesos iguais entre todos os parâmetros. No entanto, poderão ser realizados inquéritos, direccionados aos principais utilizadores de modo a identificar quais os parâmetros de maior importância.

Normalização dos parâmetros

É necessário recorrer à normalização de cada parâmetro, para solucionar os efeitos de escala quando da agregação dos parâmetros. Com este método torna-se possível a agregação dos diferentes parâmetros, passando a estar representados numa escala de 0, para o pior valor, a 1, para o melhor. Os autores recomendam a utilização da equação de Diaz-Balteiro.

Agregação dos parâmetros

Para simplificar a análise dos resultados, em cada um dos indicadores são combinados os parâmetros em função do seu peso, de acordo com os requisitos do projecto, obtendo-se assim um valor específico de desempenho para cada indicador. Este processo permite simplificar a interpretação dos resultados.

Determinação da nota sustentável

A nota final é obtida com base no somatório dos valores de cada um dos indicadores, sendo estes afectados pelo peso atribuído a cada parâmetro.

Tabela 4- Peso de cada indicador na MARS-SC

Indicador (I_i)	Peso (w_i)
Ambiental	0,40
Funcional	0,40
Económico	0,20

A metodologia MARS-SC adopta esta ponderação pois admite que o conceito de construção sustentável está associado a uma maior compatibilidade entre o ambiente natural e o construído, sem comprometer o desempenho funcional e de modo a que a relação custo/benefício seja adequada. No entanto ressalva-se que é possível ajustar o peso dos parâmetros em relação aos objectivos do projecto.

Por fim comparam-se os valores da nota sustentável (NS) de cada uma das soluções relativamente à NS de referência. Em seguida é feita a classificação relativa da sustentabilidade das soluções construtivas, de acordo com o seguinte quadro:

Tabela 5- Avaliação do desempenho relativo em estudo a partir da NS

Nota sustentável (NS)	Classificação de desempenho
< NSref	Inferior
= NSref	Referência
> NSref	Superior

Os autores reforçam que não se deve basear a avaliação apenas no valor da nota sustentável, destacando a importância dos desempenhos parciais da solução, através da análise gráfica, através de gráficos tipo “radar”, para os três indicadores, visto que o resultado final pode levar a uma interpretação incorrecta provocada pela possível compensação entre indicadores, dado que soluções com valores distintos entre indicadores poderão ter a mesma nota sustentável.

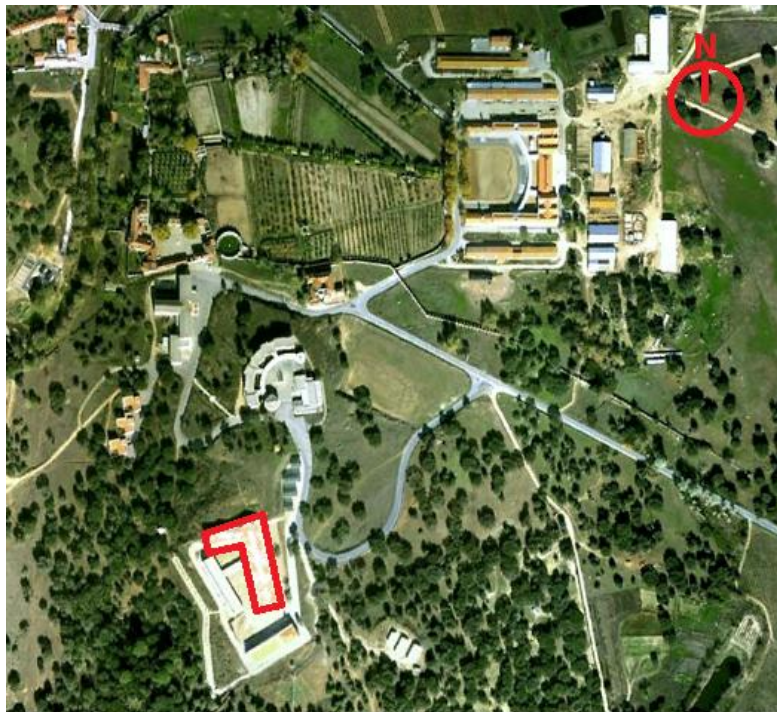
3.Caso de Estudo

3.1.Apresentação do edifício

Novas Instalações do Pólo da Herdade da Mitra – Edifício A:

Como objecto de estudo para a metodologia acima abordada, foi escolhido o corpo principal (edifício A) das mais recentes instalações do Pólo da Mitra, que integra o património edificado da Universidade de Évora. Localizado perto da aldeia de Valverde e, a 15 km da cidade de Évora, a obra foi concluída em 1995, sendo o projecto da autoria do Arqº Victor Figueiredo. Na sua concepção inspirou-se nos tradicionais montes alentejanos, sendo a obra candidata à atribuição do prémio SECIL, no ano de 1996.

O objecto em estudo, faz parte de um conjunto de três edifícios, dedicados ao ensino e à investigação. Integra salas de aula, auditório, gabinetes de docentes, laboratórios de investigação e armazéns.



— Edifício em estudo

Figura 8- Vista aérea pólo da Mitra

O edifício A tem uma área útil de 1825 m². No eixo Este-Oeste está sediado o Departamento de Engenharia Rural com, as salas de informática no piso térreo, e os gabinetes e secretariado no 1º piso. No eixo Norte-Sul, os dois pisos são ocupados

por laboratórios de Biologia, Zootecnia e Fitotecnia, espaços para ensino e investigação do ICAAM (Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrâneas), nesta zona, mais a sul, existe também um anfiteatro, para aulas e palestras. Na entrada principal do edifício existe um átrio aberto para o exterior, a este e oeste, que permite a livre circulação de ar e favorece o arrefecimento nocturno do edifício.

O edifício tem uma população permanente de 60 pessoas, entre docentes, bolseiros de investigação e funcionários, quanto aos alunos representam uma população flutuante, sendo difícil aferir um valor exacto. As taxas de ocupação das salas são variáveis entre semestres e tipos de utilização dos espaços.

Em termos estruturais, o edifício apresenta uma estrutura em pórtico, de betão armado, com a classe de resistência C20/25, aço A400NR e recobrimento mínimo de 3 cm.

Quanto às fundações, foram betonadas directamente contra o terreno, com sapatas de 0,60 e 0,80 m de espessura, de dimensões variáveis em planta, ligadas por vigas de fundação, com secção de 0,30x0,60 m.

A laje do pavimento térreo foi executada com betão de base B18, armado com rede electrossoldada, do tipo CQ30, na zona inferior. No 1º piso existe uma laje maciça em betão armado C20/25 com aço A400 NR e, 0,25 m de espessura. No piso de cobertura foi executada uma laje de esteira pré-fabricada, com 0,12 m de espessura, que suporta os muretes de alvenaria de tijolo, no qual assenta a cobertura inclinada em telha cerâmica. No corredor central do 1º piso, orientado no eixo Norte-Sul, foi executada uma abóbada de berço corrida com telhas de vidro espaçadas, para garantir a entrada de luz nesta zona. Na parte exterior, sobre a abóbada foi criada uma zona técnica, com betão celular, onde estão colocados os equipamentos de ventilação que servem as zonas dos laboratórios.

As paredes são em alvenaria de tijolo furado com caixa de ar pelo interior sem isolamento térmico.

Ao nível dos envidraçados, o edifício apresenta vidros de tipologia simples, com caixilharia em ferro, sem corte térmico. Nos mesmos materiais, existem também portas interiores, nos diversos corredores que ligam ao espaço central da entrada, zona que está em contacto directo com o exterior.

Pelo exterior o edifício tem um paramento com pequenas aberturas, em forma de “grelha”, executado em betão armado, que cobre as fachadas orientadas a Oeste e a

Sul. A Este, existe também um elemento semelhante na zona entre os envidraçados do piso térreo e do 1º piso, que serve igualmente como elemento de sombreamento, mas que apresenta uma estrutura maciça.

Tabela 6- Características gerais do Edifício

Estrutura resistente:	Betão Armado
Fundações:	Sapatas ligadas por lintéis
Paredes:	Alvenaria de tijolo dupla com caixa de ar
Área útil (m2):	
Piso 0	921,22
Piso 1	903,66
Pé direito médio(m):	3,20

Com o objectivo de poder conhecer, com maior detalhe, o estado de conservação do edifício em estudo, foram realizadas diversas inspecções visuais ao local. Permitted detectar a presença de humidade no exterior, em torno de toda a cobertura do edifício, que poderá indicar a má execução das caleiras para escoamento das águas pluviais. Nas zonas de ligação da cobertura com o paramento vertical e maioritariamente na fachada orientada a norte. O paramento exterior apresenta também acumulação de fungos e bolores, principalmente nas zonas de ligação aos pilares e às vigas em contacto com a parede do edifício e que se encontram grande parte do dia à sombra.

No interior do edifício foram também detectadas zonas com manchas de humidade, quer no tecto do átrio principal, como em algumas zonas de pontes térmicas lineares no corredor do eixo Este-Oeste.

Não foi possível obter dados relativos aos consumos de energia, água e gás. No entanto, foram realizadas entrevistas aos utentes que usufruem do edifício ao longo de todo o ano, sobre quais as necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Deste inquérito concluiu-se que de um modo geral, no que diz respeito à temperatura interior o edifício, tanto na estação de aquecimento como na de arrefecimento, apresenta um comportamento indesejado. O que leva os usuários a ter de recorrer a equipamentos para arrefecimento (ar-condicionado, ventoinhas) e aquecimento (aquecedores a óleo, radiadores) para garantir condições de conforto térmico no interior do edifício.

Quanto às condições de iluminação, a opinião dos inquiridos demonstrou que durante todo o ano as condições de iluminação, quer natural, quer artificial são favoráveis,

sendo o edifício equipado com dispositivos de sombreamento pelo interior nalgumas divisões.

No que diz respeito ao estado de conservação do edifício, e principais patologias, os utentes destacaram, na maioria, a presença de humidades nas fachadas, fissuração nas ligações entre o paramento exterior e a fachada do edifício e a má qualidade dos envidraçados e das suas caixilharias, pela deficiente estanquidade ao ar. A presença de condensações no pavimento do átrio principal e tecto, foi também uma das principais queixas. Também no tecto deste átrio existem algumas telhas de vidro para permitir a iluminação do corredor principal, onde aparecem algumas infiltrações. Nas zonas dos laboratórios, é de destacar a ausência de pavimento adequado, condições de extracção de fumos insuficientes.

3.2. Identificação das soluções construtivas existentes e materiais adoptados

Paredes exteriores:

- Revestimento exterior em argamassa de cimento, cal e areia ao traço 1:1:5, com aditivo plastificante tipo SIKALITE-PÓ, com 2 cm de espessura, sobre salpico ao traço 1:3 (cimento:areia);
- Parede dupla em alvenaria de tijolo, com dois panos de 15 e 11 cm e espaço de ar com 4 cm de espessura;
- Revestimento interior em estuque projectado, com 1 cm de espessura, sobre reboco ao traço 1:1:5 com 2 cm de espessura, sobre salpico ao traço 1:3 (cimento: areia).

Pavimento térreo:

- Terra compactada com 20 cm de espessura, sob;
- Camada de enrocamento com 20 cm com impermeabilização com folhas “unifilme”;
- Massame B18, de 10 cm de espessura, armado na zona inferior com malhasol de 3 cm, tipo CQ30;
- Revestimento em mosaico hidráulico sobre betonilha ao traço 4:1:0,5 (cimento: areia: brita) de 5 cm de espessura.

Cobertura inclinada sobre laje de esteira:

- Placas de gesso cartonado do tipo BA13 de 1,3 cm de espessura;
- Reboco com o máximo de 1 cm de espessura, ao traço 0,5:1:5 (cimento: cal: areia) com aditivo fixante, sob salpico ao traço 1:3 (cimento: areia);
- Laje de esteira, pré-fabricada, com 12 cm de espessura, sob;
- Betonilha de regularização com 5 cm e 1,5% de inclinação, armada com rede de capoeira e esquadrelada de 4 em 4 cm com 0,6 m de largura;
- Pintura com isolamento hidrófugo tipo FLINTCOAT;
- Isolamento térmico tipo FLOORMATE 200 de 3 cm de espessura, sob;
- Passadeira em betonilha com 2 cm de espessura;
- Cobertura composta por ripado de betão colado com aguada de cimento, sob;
- Telha “Marselha” tipo LUSOCERÂMICA.

Cobertura sobre abóbada:

- Reboco com o máximo de 1 cm de espessura, ao traço 0,5:1:5 (cimento: cal: areia) com aditivo fixante, sob salpico ao traço 1:3 (cimento: areia);
- Abóbada em betão armado C20/25, com aço tipo A400NR, com 6 cm de espessura;
- Betão celular para enchimento e formação de pendentos para escoamento das águas com espessura variável;
- Betonilha de regularização com 2 cm, em argamassa ao traço 1:4 (cimento: areia);
- Membrana em PVC, do tipo SIKAPLAN 12 GU, fixada mecanicamente na periferia, como camada de impermeabilização;
- Isolamento térmico de placas ROOFMATE de 4 cm de espessura;
- Feltro geotextil, com 200 g/m², sob camada de brita com granulometria 16/32 mm, com 5 cm de espessura.

3.3. Metodologia adoptada

A metodologia adoptada para o caso em estudo baseia-se no modelo do sistema MARS-SC.

Para o estudo do edifício em questão, a metodologia irá ser implementada para análise comparativa entre uma solução de referência, neste caso, a solução construtiva existente, e duas possíveis soluções para reabilitação e melhoria do desempenho do edifício.

Importa referir que neste trabalho, não se pretende realizar um projecto de reabilitação do edifício, mas sim identificar e avaliar os elementos construtivos que condicionem de um modo mais determinante, o desempenho do edifício, em termos energéticos e o conforto interior dos seus ocupantes.

Neste caso, considera-se que as principais necessidades de reabilitação do edifício se prendem com a melhoria do seu comportamento térmico, pelo que a avaliação irá ser aplicada aos elementos da envolvente exterior do edifício, nomeadamente, paredes exteriores, pavimento térreo, e os dois tipos de cobertura existentes no edifício, cobertura inclinada sobre laje de esteira e cobertura plana sobre abóbada de berço.

Ressalva-se que com a aplicação deste método, não foi possível incluir determinados elementos do edifício, como os envidraçados, elementos de separação de espaços, e elementos estruturais. Contudo, também para estes elementos são propostas alterações que contribuam para a melhoria da eficiência energética do edifício.

3.3.1. Soluções construtivas propostas para o caso em estudo

De maneira a aproveitar ao máximo o sistema construtivo existente e de forma a evitar a produção de mais Resíduos de Demolição e Construção (RCD), foram propostas duas soluções que se pudessem adaptar a cada uma das situações.

Paredes exteriores:

Solução 1

- Parede dupla em alvenaria de tijolo, com dois panos de 15 e 11 cm;

- Espaço de ar com 4 cm, totalmente preenchido por camada de poliuretano expandido injectável;
- Revestimento exterior em argamassa de cimento, cal e areia ao traço 1:1:5, com aditivo plastificante tipo SIKALITE-PÓ, com 2 cm de espessura, sobre salpico ao traço 1:3 (cimento:areia);
- Revestimento interior em estuque projectado sobre reboco ao traço 1:1:5 com 2 cm de espessura, sobre salpico ao traço 1:3 (cimento: areia).

Solução 2

- Parede dupla em alvenaria de tijolo, com dois panos de 15 e 11 cm e espaço de ar com 4 cm de espessura;
- Revestimento exterior em argamassa sintética/acrílica, com 2 cm de espessura, reforçada com malha de fibra de vidro com 250g/m² e tratamento anti-alkalino, sobre camada de primário a revestir toda a rede;
- Isolamento térmico pelo exterior, com placas de poliestireno expandido com 5 cm de espessura, fixado mecanicamente;
- Revestimento interior em estuque projectado sobre reboco ao traço 1:1:5 com 2 cm de espessura, sobre salpico ao traço 1:3 (cimento: areia).

Pavimento térreo:

Solução 1

- Terra compactada com 20 cm de espessura, sob;
- Camada de enrocamento com 20 cm com impermeabilização com folhas “unifilme”, sob;
- Massame B18, de 10 cm de espessura, armado na zona inferior com malhasol de 3 cm, tipo CQ30;
- Camada de betonilha ao traço 4:1:0,5 (cimento: areia: brita) de 5 cm de espessura
- Isolamento térmico, em placas de poliestireno expandido, com 5 cm de espessura;

- Revestimento em mosaico hidráulico sobre betonilha ao traço 4:1:0,5 (cimento: areia: brita) de 2 cm de espessura.

Solução 2

- Terra compactada com 20 cm de espessura, sob;
- Camada de enrocamento com 20 cm com impermeabilização com folhas “unifilme”, sob;
- Massame B18, de 10 cm de espessura, armado na zona inferior com malhasol de 3 cm, tipo CQ30;
- Camada de betonilha ao traço 4:1:0,5 (cimento: areia: brita) de 5 cm de espessura
- Isolamento térmico, em placas de poliestireno expandido, com 10 cm de espessura;
- Revestimento em mosaico hidráulico sobre betonilha ao traço 4:1:0,5 (cimento: areia: brita) de 2 cm de espessura.

Cobertura inclinada sobre laje de esteira:

Solução 1

- Placas de gesso cartonado do tipo BA13 de 1,5 cm de espessura;
- Isolamento térmico em poliestireno expandido de 6 cm de espessura;
- Reboco com o máximo de 1 cm de espessura, ao traço 0,5:1:5 (cimento: cal: areia) com aditivo fixante, sob salpico ao traço 1:3 (cimento: areia);
- Laje de esteira, pré-fabricada, com 12 cm de espessura, sob;
- Betonilha de regularização com 5 cm e 1,5% de inclinação, armada com rede de capoeira e esquartelada de 4 em 4 cm com 0,6 m de largura;
- Pintura com isolamento hidrófugo tipo FLINTCOAT;
- Isolamento térmico tipo FLOORMATE 200 de 3 cm de espessura, sob;
- Passadeira em betonilha com 2 cm de espessura;
- Cobertura composta por ripado de betão colado com aguada de cimento, sob;

- Telha “Marselha” tipo LUSOCERÂMICA.

Solução 2

- Placas de gesso cartonado do tipo BA13 de 1,5 cm de espessura;
- Reboco com o máximo de 1 cm de espessura, ao traço 0,5:1:5 (cimento: cal: areia) com aditivo fixante, sob salpico ao traço 1:3 (cimento: areia);
- Laje de esteira, pré-fabricada, com 12 cm de espessura, sob;
- Betonilha de regularização com 5 cm e 1,5% de inclinação, armada com rede de capoeira e esquartelada de 4 em 4 cm com 0,6 m de largura;
- Pintura com isolamento hidrófugo tipo FLINTCOAT;
- Isolamento térmico com camada de 10 cm de granulado de argila expandida, sob camada de betonilha com 2 cm de espessura;
- Cobertura composta por ripado de betão colado com aguada de cimento, sob;
- Telha “Marselha” tipo LUSOCERÂMICA.

Cobertura sobre abóbada:

Solução 1

- Revestimento em estuque projectado, com 1 cm de espessura
- Reboco com o máximo de 1 cm de espessura, ao traço 0,5:1:5 (cimento: cal: areia) com aditivo fixante, sob salpico ao traço 1:3 (cimento: areia);
- Abóbada em betão armado C20/25, com aço tipo A400NR, com 6 cm de espessura;
- Betão celular para enchimento e formação de pendentos para escoamento das águas com espessura variável;
- Betonilha de regularização com 2 cm, em argamassa ao traço 1:4 (cimento: areia);
- Membrana em PVC, do tipo SIKAPLAN 12 GU, fixada mecanicamente na periferia, como camada de impermeabilização;

- Isolamento térmico de placas de poliestireno expandido com 6 cm de espessura;
- Filtro geotextil, com 200 g/m², sob camada de brita com granulometria 16/32 mm, com 5 cm de espessura.

Solução 2

- Revestimento em estuque projectado, com 1 cm de espessura
- Reboco com o máximo de 1 cm de espessura, ao traço 0,5:1:5 (cimento: cal: areia) com aditivo fixante, sob salpico ao traço 1:3 (cimento: areia);
- Abóbada em betão armado C20/25, com aço tipo A400NR, com 6 cm de espessura;
- Betão celular para enchimento e formação de pendentes para escoamento das águas com espessura variável;
- Betonilha de regularização com 2 cm, em argamassa ao traço 1:4 (cimento: areia);
- Membrana em PVC, do tipo SIKAPLAN 12 GU, fixada mecanicamente na periferia, como camada de impermeabilização;
- Isolamento térmico de placas de poliestireno expandido com 6 cm de espessura;
- Filtro geotextil, com 200 g/m², sob camada de granulado de argila expandida cerca de 10 cm de espessura.

3.3.2. Indicadores da sustentabilidade

Para a avaliação da sustentabilidade, têm-se como base três indicadores:

- Ambiental;
- Funcional;
- Económico.

A aplicação da metodologia compreende as seguintes fases:

Para as três áreas da sustentabilidade foram escolhidos quais os parâmetros a adoptar para a avaliação, considerando os elementos em estudo e os dados disponíveis para a avaliação.

Na Tabela 7 estão indicados os parâmetros adoptados:

Tabela 7- Parâmetros adoptados no caso em estudo

Indicadores		
Ambiental	Social/Funcional	Económico
Parâmetros		
Potencial de aquecimento global (PAG)	Isolamento sonoro a sons de condução aérea	Custo de Reabilitação
Energia primária incorporada (PEC)	Isolamento térmico	
Acidificação (PA e DOAQ)	Potencial para a reabilitação	
Quantidade de água incorporada		
Produção de resíduos (RP)		

3.3.2.1. Indicador Ambiental

Para o indicador ambiental foram escolhidos cinco parâmetros: o potencial de aquecimento global (PAG), a energia primária incorporada (EPI), a acidificação (PA e DOAQ), a quantidade de água incorporada (QAI) e a produção de resíduos (RP).

Para os cálculos do potencial de aquecimento global (PAG) e energia potencial incorporada (EPI), recorreu-se a um documento desenvolvido pela Universidade de Bath, o “Inventory of carbon and energy” (ICE), versão-1.6a, de 2008, da autoria dos Professores Hammond e Jones. (Hammond & Jones, 2008)

Recorreu-se também ao livro “Ecology of building materials”, de 2000, da autoria de Bjorn Berge, que permitiu a recolha de informação adicional, acerca da durabilidade dos materiais construtivos, do seu potencial ácido (PA), potencial de diminuição do oxigénio por acção química (DOAQ), também a quantidade de água utilizada e de resíduos originados na produção dos mesmos (RP). (Berge, 2000)

Por EPI e PAG de um material de construção, entendem-se a quantidade de energia primária consumida e a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) libertados, de preferência, durante todo o seu ciclo de vida. No entanto, os dados retirados do ICE,

têm em conta os valores dos processos desde a extracção até à fase final de produção. (Hammond & Jones, 2008)

O PA quantifica a capacidade de produção de substâncias que conduzem à acidificação do ambiente natural, como o dióxido de enxofre (SO₂) e outros óxidos de nitrogénio (NO_x), estes últimos quantificados pelo PFCO e DOAQ, que na indústria construtiva, advém principalmente da queima de combustíveis fósseis e de processos de produção industriais. (Berge, 2000)

Na Tabela 1 do Anexo, apresentam-se os valores dos parâmetros ambientais dos materiais adoptados no caso de estudo.

Na aplicação da metodologia, por se tratar de um processo que se baseia em dados numéricos, alguns parâmetros da Tabela 1 são de difícil quantificação, como o potencial de reutilização e reciclagem dos elementos construtivos, que não poderão ser utilizados na avaliação.

Em alguns dos materiais abordados no caso de estudo, a quantificação dos compostos químicos e quantidade de água usada, bem como a quantidade de resíduos gerados na produção dos materiais construtivos, é inexistente, no entanto, este factor é debelado com a atribuição de maior peso aos elementos para os quais existe uma maior consistência dos dados como o EPI e do PAG.

Ressalva-se, que os elementos recolhidos das fontes acima citadas poderão não corresponder à realidade portuguesa, por variáveis como a utilização de diferentes processos e tecnologias de produção de materiais e uso de diferentes recursos energéticos. No entanto considera-se que estes dados constituem um importante referencial para o panorama nacional, sendo assim válidos para aplicação na metodologia.

3.3.2.2. Indicador Funcional

Como elementos de avaliação do conforto dos ocupantes do edifício, foram tidos em conta os seguintes parâmetros ambientais:

Avaliação do índice de isolamento térmico:

De acordo com o Decreto-Lei n.º 80/2006, o índice de isolamento térmico é quantificado pelo coeficiente de transmissão térmica (U) dos elementos em contacto com o exterior, que representa a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa perpendicularmente, uma camada de espessura e superfície unitária, de um

determinado material, por diferença de temperatura entre as duas faces do material, valor obtido em $W/m^2.C^\circ$.

Este parâmetro permite quantificar a maior ou menor capacidade de uma solução, para minimizar as trocas de calor com o exterior, permitindo reduzir consumos energéticos, garantindo melhores condições de conforto térmico para os ocupantes do edifício.

Pelos elementos construtivos serem constituídos por diferentes materiais, o cálculo da condutibilidade térmica dos elementos é feito pelas Equações 1 e 2:

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum_j R_j + R_{ar} + R_{si}}$$

(Equação 1)

onde:

R_{se} – Resistência térmica da superfície exterior ($m^2.C^\circ/W$)

R_{si} – Resistência térmica da superfície interior ($m^2.C^\circ/W$)

R_j – Resistência térmica da camada de material j ($m^2.C^\circ/W$)

R_{ar} – Resistência térmica do em espaços de ar não-ventilados ($m^2.C^\circ/W$)

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}$$

(Equação 2)

onde:

e_j – espessura do material j (m)

λ_j – Condutibilidade térmica do material j ($W/m.C^\circ$)

Os valores das resistências térmicas superficiais variam consoante o sentido do fluxo de calor e estão representadas na tabela seguinte:

Tabela 8- Resistências térmicas superficiais

Fluxo de calor	Rse	Rsi
Horizontal	0,04	0,13
Vertical (ascendente)	0,04	0,10
Vertical (descendente)	0,04	0,17

O cálculo do valor de U para os elementos horizontais - pavimentos e cobertura – Foi tido em conta apenas o sentido do fluxo de calor ascendente, por ser um valor mais desfavorável na avaliação das trocas de calor com a envolvente exterior.

Para a resistência térmica do espaço de ar não-ventilado (R_{ar}), foi adoptado o valor de $0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$, de acordo com quadro I.4 da publicação do LNEC, ITE50 – “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”, por se tratar de uma caixa-de-ar entre os dois panos de tijolo da parede exterior, que apresenta uma espessura de 4 cm.

Os valores de condutibilidade térmica dos materiais existentes e das soluções escolhidas para reabilitação, do edifício em estudo encontram-se em anexo, na tabela 1.

Avaliação do comportamento acústico:

Para determinação do comportamento acústico das soluções em causa, aplicou-se o Decreto-Lei n.º 96/2008, que abrange o Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios.

Como para este estudo, se pretendem avaliar as soluções construtivas do edifício e não propor um projecto de reabilitação do edifício, a avaliação acústica dos elementos centrou-se apenas na avaliação do índice de isolamento sonoro a sons aéreos normalizado ($D_{n,w}$), que foi obtido de acordo com o método gráfico, que se baseia na lei teórica da massa e depende apenas da massa superficial das soluções adoptadas, de acordo com o Gráfico10.

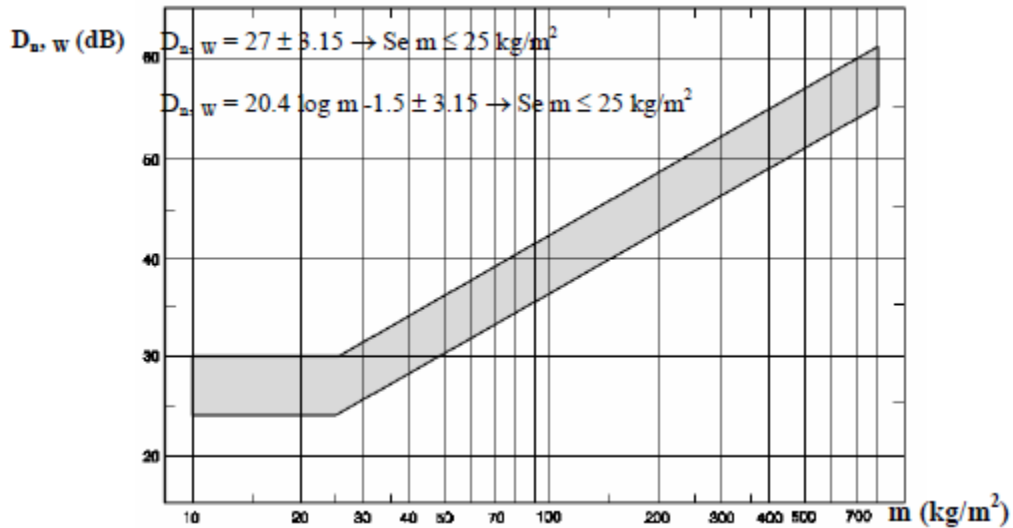


Gráfico 10- Gráfico para determinação do $D_{n,w}$

No caso das paredes exteriores, como se trata de um elemento de pano duplo recorreu-se ao Gráfico 11 para avaliar o isolamento adicional provocado pelo outro elemento de parede.

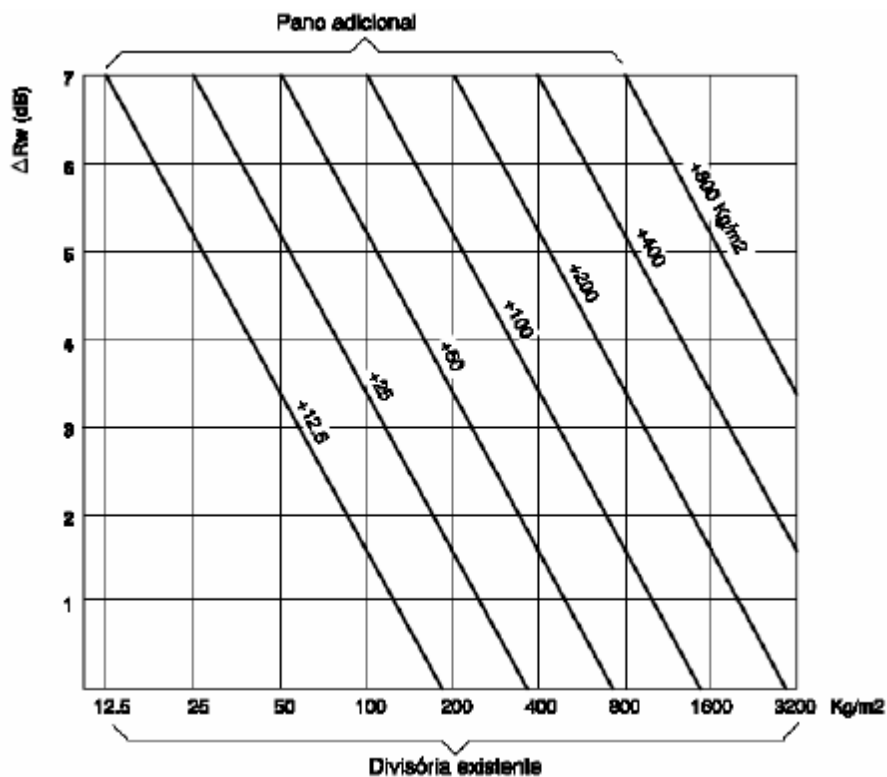


Gráfico 11- Acréscimo de isolamento por pano adicional

Ressalva-se também que não foi considerada qualquer tipo de transmissão marginal.

Potencial para reabilitação:

Visto que para o caso em estudo, se está a estudar uma possível reabilitação das soluções construtivas de alguns elementos de um edifício, torna-se importante estabelecer um parâmetro que permita avaliar a maior, ou menor adequação de cada solução, tendo em vista a melhoria do ambiente interior.

Este parâmetro foi criado com o intuito de estabelecer, qual de entre as duas soluções propostas, será a que melhor se adapta a solução existente, e que permita fazer a reabilitação, de modo a minimizar as condicionantes ao normal funcionamento do edifício e das actividades dos seus ocupantes, e realizar a alteração de modo mais eficaz.

3.3.2.3. Indicador Económico

Para aplicação neste caso de estudo, foi tido em consideração o valor dos custos unitários dos materiais aplicados em cada solução construtiva, sem ter em conta os custos de mão-de-obra para os trabalhos de reabilitação para cada solução.

O preço de cada material foi ponderado com base em informações adquiridas em algumas empresas de materiais de construção da região de Évora e também com recurso ao site www.geradordeprecos.info, durante o ano de 2010.

É importante referir que o custo de construção não deve ser o principal factor a ter em conta na escolha de uma solução construtiva. Isto porque a análise económica de uma solução construtiva não pode abranger apenas o custo de construção, mas todos os custos associados ao seu ciclo de vida, pois por vezes um maior investimento inicial, poderá significar importantes poupanças durante a fase de operação do edifício.

3.3.2.4. Quantificação dos Parâmetros

Os pesos adoptados para cada um dos parâmetros foram estabelecidos de acordo com a tabela 8.

Tabela 9- Atribuição de pesos aos parâmetros para a metodologia adoptada

Indicadores	Parâmetros	Pesos
Ambiental	Energia primária incorporada	0,3
	Potencial de aquecimento global	0,3
	Potencial de acidificação	0,1
	Potencial de diminuição do oxigénio por acção química	0,1
	Resíduos de produção	0,1
	Quantidade. de água incorporada	0,1
Funcional	Coefficiente. Transmissão. Térmica (U)	0,4
	Índice de isolamento. a sons aéreos ($D_{n,w}$)	0,3
	Potencial p/ reabilitação.	0,3
Económico	Custo Reabilitação	1

A atribuição dos pesos para o indicador ambiental teve em consideração a maior importância e impacto, para o domínio da sustentabilidade, no panorama actual, dos parâmetros provenientes da base de dados do ICE (EPI e PAG). Razão pela qual, a estes dois elementos foi atribuído um peso superior ao dos restantes parâmetros. No indicador funcional, atribuiu-se maior peso ao coeficiente de transmissão térmica, por ser o factor que mais afecta o conforto dos seus utilizadores, para o caso em estudo.

No caso do elemento do piso térreo, não vai existir avaliação acústica, logo o coeficiente de transmissão térmica passa a adquirir um peso de 0,6 e o potencial para a reabilitação de 0,4. Ainda relativamente a este elemento o parâmetro de resíduos de produção não foi contabilizado por não se conseguiram obter dados relativamente aos materiais das duas soluções propostas, sendo que o peso deste parâmetro foi dividido, adicionando 0,05 pontos aos parâmetros de EPI e PAG.

Normalização dos parâmetros

A normalização converte os parâmetros numa escala entre 0 e 1 para o melhor, tornando-os dessa forma, adimensionais. Para tal recorreu-se à fórmula de Diaz-Balteiro, sugerida pelos autores, para a normalização

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} \wedge i$$

(Equação 3)

onde:

P_i representa o resultado da quantificação do parâmetro i .

P_i^* e P_{*i} dizem respeito ao melhor e pior resultado do parâmetro de sustentabilidade i .

Agregação dos parâmetros

A agregação permite quantificar o valor de cada elemento construtivo, para cada um dos indicadores da sustentabilidade

O valor específico de desempenho de cada indicador (I_j) é calculado de acordo com a equação seguinte:

$$I_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \bar{P}_i$$

(Equação 4)

onde:

I_j representa a média ponderada de todos os parâmetros normalizados \bar{P}_i , que pertencem ao indicador j .

w_i é o peso relativo do parâmetro i .

A soma de todos os pesos deve ser igual a 1.

As equações seguintes demonstram o processo de agregação dos parâmetros para cada indicador:

$$I_A = \sum_{i=1}^n w_{Ai} \cdot \bar{P}_{Ai}$$

(Equação 5)

$$I_F = \sum_{i=1}^n w_{Fi} \cdot \bar{P}_{Fi}$$

(Equação 6)

$$I_E = \bar{P}_E$$

(Equação 7)

com:

$$\sum_{i=1}^m wA_i = \sum_{i=1}^n wF_i = 1$$

(Equação 8)

Para a dimensão económica, apenas se tomou em consideração o valor do somatório de todos os custos de ciclo de vida que são possíveis obter, assumindo o mesmo valor do parâmetro económico normalizado, como se representa na Equação 7.

Determinação da nota sustentável

Para obtenção da nota final de desempenho, ou seja, da Nota Sustentável (NS), resta somar os desempenhos relativos de cada indicador, resultando numa ponderação de cada indicador I_j com o respectivo peso w_j do parâmetro j .

$$NS = w_{1j} \cdot I_A + w_{2j} \cdot I_F + w_{3j} \cdot I_E$$

(Equação 9)

A soma dos pesos w_j , para os três indicadores tem de ser igual a 1.

Nesta fórmula, a NS é o resultado da ponderação de cada indicador I_j com o respectivo peso w_{ij} na avaliação sustentabilidade.

De modo a se obter uma nota sustentável entre 0 e 1, a soma dos pesos atribuídos aos três indicadores tem de ser igual a 1.

Para a aplicação da metodologia em estudo a distribuição dos pesos entre os três pilares da sustentabilidade é a seguinte:

Tabela 10- Peso de cada indicador para o caso em estudo

Indicador (I_i)	Peso (w_i)
Ambiental	0,30
Funcional	0,40
Económico	0,30

Foi atribuída esta ponderação, por se considerar que deverá existir um maior equilíbrio entre a dimensão económica e a ambiental, face ao apresentado pelos autores da metodologia, daí ter-se optado por atribuir a mesma importância a estes dois factores, mantendo a funcionalidade o mesmo peso.

Também para este edifício, será feita uma pequena análise a outros elementos que se achem relevantes.

3.3.3. Trocas energéticas com o exterior ao longo do período de vida

Cada uma das soluções de referência e soluções propostas é composta por materiais com diferentes características. Cada um desses materiais pode ser, ou não, mais eficiente em termos de poupança de energia ao longo da sua vida útil. Desta forma foi feito o cálculo para estimar as trocas energéticas acumuladas, do interior para o exterior e do exterior para o interior, para cada uma das soluções propostas e para a solução existente.

Tendo em conta os valores do coeficiente de transmissão térmica dos elementos, as temperaturas médias mensais e temperaturas médias interiores nas estações de aquecimento e arrefecimento, foi possível comparar as trocas energéticas das soluções propostas e da existente.

Nos registos existentes na Universidade de Évora, foi possível obter os valores da temperatura média mensal para a zona de Évora, desde de 1956 até 2009. Por sua vez, de acordo com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico

dos Edifícios (RCCTE), considerou-se que temperatura média interior na estação de arrefecimento (de Outubro a Março) era de 24°C e que para a estação de aquecimento (de Abril a Setembro) era de 20°C.

Para o cálculo das trocas de energia, consideraram-se as situações mais desfavoráveis para as temperaturas exteriores, ou seja, na estação de arrefecimento consideraram-se as temperaturas máximas e na estação de aquecimento consideraram-se as temperaturas mínimas.

Com base na diferença entre os valores das temperaturas médias interiores e temperaturas mensais exteriores, foi possível determinar os fluxos de energia. Durante o período de aquecimento, pretende-se reduzir os ganhos de calor para o interior do edifício, e no período de arrefecimento, pretende-se minimizar as perdas de calor para o exterior e maximizar os ganhos com a insolação.

O produto entre, a diferença de temperatura interior e exterior, o coeficiente de condutibilidade térmica da parede e, o número de horas de cada mês, permitiu obter uma estimativa para o valor das perdas energéticas em cada mês.

Quando as trocas ocorrem do interior para o exterior, os valores dão positivos no gráfico e o inverso ocorre quando as trocas ocorrem do exterior para o interior.

Assim, tendo em conta a energia incorporada de cada solução e as trocas de energia acumuladas, é possível estimar qual a melhor solução a longo prazo. É possível também, estimar o período que cada uma das soluções propostas leva a compensar o incremento de energia face à solução de referência, obtendo desse o modo o período de retorno para cada solução.

Contudo salvaguarda-se que para este cálculo não foram tidos em conta os ganhos internos de calor causados pelos utentes e pelo funcionamento dos equipamentos existentes no interior do edifício.

Igualmente foi feita a estimativa das trocas energéticas acumuladas para os 25, 50 e 100 anos para as diferentes soluções, tendo em conta que um edifício com este tipo de utilização terá um período de vida de cerca de 50 anos, pretendeu-se aferir qual seria a poupança energética das soluções propostas, face à solução existente.

4.Resultados Obtidos

4.1.Resultados das soluções consideradas

Com base na metodologia anteriormente descrita e nas soluções consideradas, foram efectuados os respectivos cálculos e obtidos os seguintes resultados.

Parede exterior

Na tabela 11, representam-se os valores dos parâmetros da sustentabilidade, para a solução de referência e para as duas soluções alternativas, no que diz respeito às paredes exteriores. A solução 1 apresenta um aumento energético de 24 kWh/m² e um aumento nas emissões de CO₂ de 3,6 kgCO₂/m², em relação à solução de referência. Relativamente ao PA e à DOAQ, a produção de resíduos é igualmente superior para a solução de referência.

Ainda na Tabela 11, é possível verificar que a solução 2 apresenta valores superiores em relação à solução 1 em quase todos os parâmetros em avaliação, exceptuando o consumo de água. Essa diferença ocorreu devido à utilização de dois tipos de isolamentos diferentes, poliuretano injectável, na solução 1 e poliestireno expandido, na solução 2. Apesar do comportamento térmico da solução 2 ser superior ao da solução 1, acarreta um custo acrescido de cerca de 4 €/m².

Tabela 11- Parâmetros de avaliação para a parede exterior

Parede Exterior	Ambiental						Funcional		Económico
	EPI (kWh/m ²)	PAG (kgCO ₂ /m ²)	PA (kgSO ₂ /m ²)	DOAQ (kgNO _x /m ²)	RP (kg/kg de produto)	Uso H ₂ O (L/m ²)	U (W/m ² .°C)	D _{n,w} (dB)	Custo construção (€/m ²)
Referência	187,656	57,023	0,409	3,323	17,461	112510	0,850	50	15,22
Solução 1	211,689	60,623	0,445	5,968	18,044	135190	0,513	50	19,62
Solução 2	242,011	69,002	0,435	6,054	18,257	120625	0,383	51	23,85

A solução 1 apresenta indicadores ambientais e económicos superiores aos da solução 2, no entanto o indicador funcional apresenta apenas menos 0,40 pontos, em relação à solução 2. A solução 1 é classificada com nota sustentável de 0,60, ficando a solução 2 com nota sustentável de 0,40, como se pode ver na Tabela 12.

Tabela 122- Resultados obtidos para a parede exterior

Solução Construtiva	Perfil Sustentável	Desempenho			Nota Sustentável
		Ambiental	Funcional	Económico	
Parede Exterior Solução 1	<p>Ind. Ambiental</p> <p>1 0,8 0,6 0,4 0,2 0</p> <p>Ind. Económico</p> <p>Ind. Funcional</p> <p>— P.Ext-Sol.1</p> <p>— P.Ext-Sol.2</p>	0,6	0,3	1	0,60
Parede Exterior Solução 2		0,4	0,7	0	0,40

Piso Térreo

Os valores apresentados na tabela 13 demonstram uma diferença de mais 53 kWh/m² e de 8,3 kgCO₂/m² para a solução 1, já a solução 2 tem um acréscimo de 82 kWh/m² e 11,3 kgCO₂/m², e apresenta para os outros parâmetros, valores superiores em relação à solução de referência, e um PA superior ao da solução 1. Isto deve-se à adopção de uma maior espessura de isolamento face à solução 1, que se traduz num melhor comportamento térmico, que em custos representa um aumento de 4,4 €/m², em relação a solução 1.

Tabela 13- Parâmetros de avaliação para o piso térreo

Piso Térreo	Ambiental						Funcional	Económico
	EPI (kWh/m ²)	PAG (kgco ₂ /m ²)	PA (kgso ₂ /m ²)	DOAQ (kgNOx/m ²)	RP (kg/kg de produto)	Uso H ₂ O (L/m ²)	U (W/m ² .°C)	Custo construção (€/m ²)
Referência	134,028	43,670	0,336	0,759	-	54600	1,851	17,80
Solução 1	186,883	52,010	0,396	0,799	-	61400	0,436	25,96
Solução 2	216,417	55,010	0,409	0,800	-	61400	0,297	30,36

A solução 1 obteve índices de desempenho superiores, ao da solução 2, ao nível dos indicadores ambiental e económico. O indicador funcional, foi aquele onde se obteve um desempenho mais fraco, com menos 0,10 pontos face à solução 2. Na Tabela 14 verifica-se que as notas finais atribuídas às soluções 1 e 2, foram respectivamente 0,69 e 0,22.

Tabela 14- Resultados obtidos para o piso térreo

Solução Construtiva	Perfil Sustentável	Desempenho			Nota Sustentável
		Ambiental	Funcional	Económico	
Piso Térreo Solução 1		0,9	0,3	1	0,69
Piso Térreo Solução 2		0,2	0,4	0	0,22

Cobertura sobre Laje de Esteira

Os dados da tabela 15, apresentam um consumo energético de mais 12 kWh/m² e um valor de emissões de CO₂ de mais 6,5 kgCO₂/m², para a solução 2. A solução 1 apresenta valores inferiores ao da solução adoptada apenas no âmbito do PAG, o que pode ser explicado pela ausência de dados relativamente ao PA, DOAQ, RP, e uso de água, para material granulado de argila expandida adoptado na solução 2.

Tabela 155- Parâmetros de avaliação para a laje de esteira

Laje Esteira	Ambiental						Funcional		Económico
	EPI (kWh/m ²)	PAG (kgCO ₂ /m ²)	PA (kgSO ₂ /m ²)	DOAQ (kgNO _x /m ²)	RP (kg/kg de produto)	Uso H ₂ O (L/m ²)	U (W/m ² .°C)	D _{n,w} (dB)	Custo construção (€/m ²)
Referência	197,251	58,614	0,496	1,536	11,274	92595	0,700	50	33,59
Solução 1	241,551	63,114	0,530	1,734	11,274	92643	0,324	50	40,59
Solução 2	208.985	64,984	0,510	1,734	11,274	92595	0,297	51	31,06

A solução 2 apresentou a pontuação máxima no que diz respeito ao indicador económico e ao ambiental. Na parte funcional, ficou 0,20 pontos acima da solução 1. A nota sustentável da solução 2 foi de 0,82, já a solução 1 obteve a classificação de 0,19, de acordo com a Tabela 16.

Tabela 16- Resultados obtidos para a laje de esteira

Solução Construtiva	Perfil Sustentável	Desempenho			Nota Sustentável
		Ambiental	Funcional	Económico	
Laje de Esteira Solução 1	<p>— Laje Esteira-Sol.1 — Laje Esteira-Sol.2</p>	0,1	0,4	0	0,19
Laje de Esteira Solução 2		1	0,6	1	0,84

Cobertura horizontal sobre abóbada

A análise da tabela 17, referente à cobertura sobre a abóbada, demonstra um dispêndio energético de mais 52 kWh/m² e um acréscimo de 12 kgCO₂/m², tendo em conta a solução de referência. Ao invés, a solução 1 teve apenas um acréscimo 22 kWh/m² e 2,5 kgCO₂/m². Os outros parâmetros ambientais, por inexistência de informação acerca do granulado de argila expandida e do poliestireno extrudido, não sofrem qualquer alteração. Em termos funcionais a solução adoptada apresenta melhor desempenho, quer a nível térmico quer acústico, economicamente a diferença entre as duas é inexistente, como se tinha referido no parágrafo anterior.

Tabela 17- Parâmetros de avaliação para a cobertura em abóbada

Cobertura Abóbada	Ambiental						Funcional		Económico
	EPI (kWh/m ²)	PAG (kgco ₂ /m ²)	PA (kgso ₂ /m ²)	DOAQ (kgNOx/m ²)	RP (kg/kg de produto)	Uso H ₂ O (L/m ²)	U (W/m ² .°C)	D _{n,w} (dB)	Custo construção (€/m ²)
Referência	180,444	53,110	0,324	0,354	5,348	60975	0,858	47	18,69
Solução 1	202,044	55,540	0,324	0,354	5,348	60975	0,500	47	22,02
Solução 2	232,600	64,840	0,324	0,354	5,348	60975	0,385	49	21,97

O sistema adoptado atribui a classificação mais elevada, para a cobertura sobre abóbada à solução 2. Observa-se, na tabela 18, que a nota sustentável entre as duas soluções é bastante aproximada, existindo apenas 0,01 pontos de diferença entre soluções. Isto acontece, devido ao facto de o indicador económico ter o mesmo valor para as duas soluções, por ambas apresentarem, custos de reabilitação semelhantes. A solução 1 obtém uma pontuação de 0,80 para o indicador ambiental e a solução 2 uma pontuação de 0,70 para o indicador funcional. A solução 2 aparece como a mais sustentável, com um valor de 0,67, devido essencialmente à atribuição de maior peso à dimensão funcional, face aos restantes indicadores. No entanto, ambos apresentam um valor aproximado.

Tabela 168- Resultados obtidos para a cobertura em abóbada

Solução Construtiva	Perfil Sustentável	Desempenho			Nota Sustentável
		Ambiental	Funcional	Económico	
Cobertura Abóbada Solução 1	<p>Ind. Ambiental</p> <p>1</p> <p>0,8</p> <p>0,6</p> <p>0,4</p> <p>0,2</p> <p>0</p> <p>Ind. Económico</p> <p>Ind. Funcional</p> <p>— Laje Abóbada-Sol.1</p> <p>— Laje Abóbada-Sol.2</p>	0,8	0,3	1	0,66
Cobertura Abóbada Solução 2		0,3	0,7	1	0,67

4.2. Trocas energéticas acumuladas das soluções

É possível observar nos gráficos que se seguem, as oscilações causadas pelas trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício, neste caso as subidas representam as perdas de energia para o exterior, durante a estação de aquecimento, enquanto as descidas se referem aos ganhos de energia para o interior do edifício, durante a estação de arrefecimento.

Parede exterior

Contabilizando a energia despendida para o fabrico e colocação das soluções 1 e 2, verifica-se que a solução 1 ao fim de 2 anos já está a perder menos energia para o exterior relativamente à solução de referência. Já a solução 2 precisa de 3 anos, como se pode ver no Gráfico 12.

Por outro lado, a solução 1 tem um melhor comportamento que a solução 2 até aos primeiros 5 anos. Ao longo do 5º ano as duas estão muito igualadas e a partir desse instante a solução 2 passa a ter um melhor comportamento.

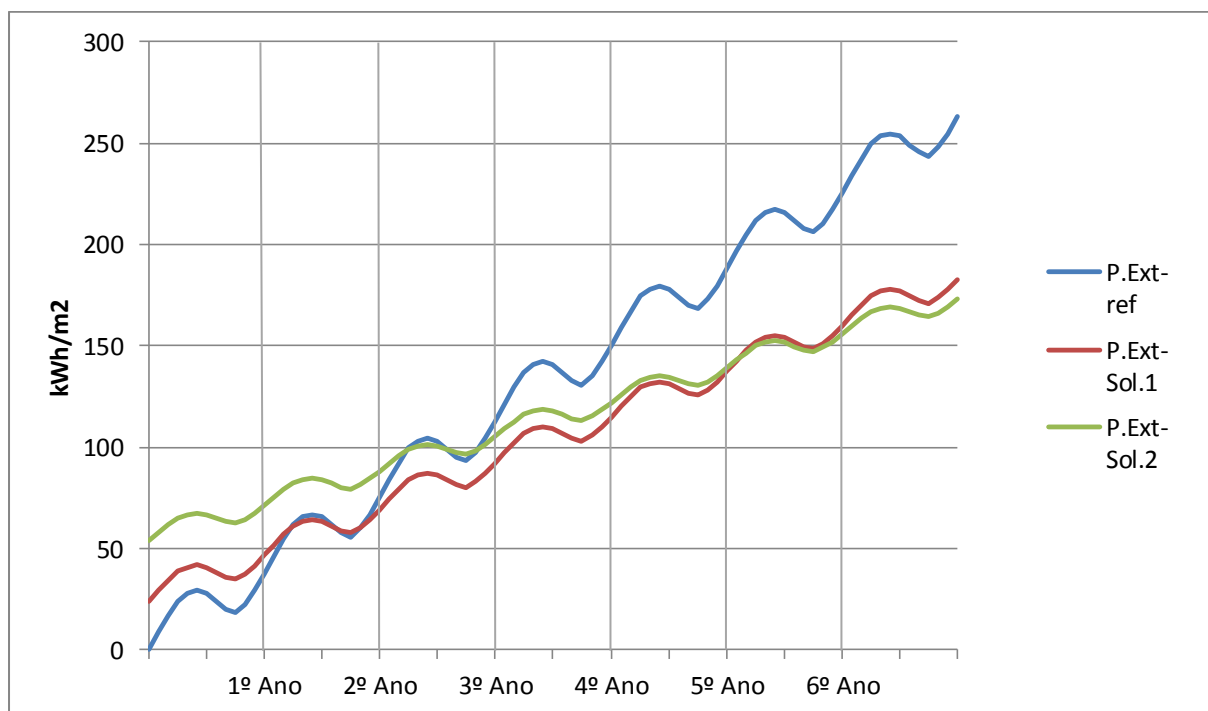


Gráfico 12- Perdas energéticas acumuladas para a parede exterior

Piso Térreo

No Gráfico 13, verifica-se que a solução 1 ao fim de 1 ano já está a perder menos energia para o exterior relativamente à solução de referência. Já a solução 2 precisa de 1 ano e 3 meses.

Por outro lado, a solução 1 tem um melhor comportamento que a solução 2 até aos primeiros 5 anos. Ao longo do 4º ano as duas estão muito igualadas e a partir desse instante a solução 2 passa a ter um melhor comportamento.

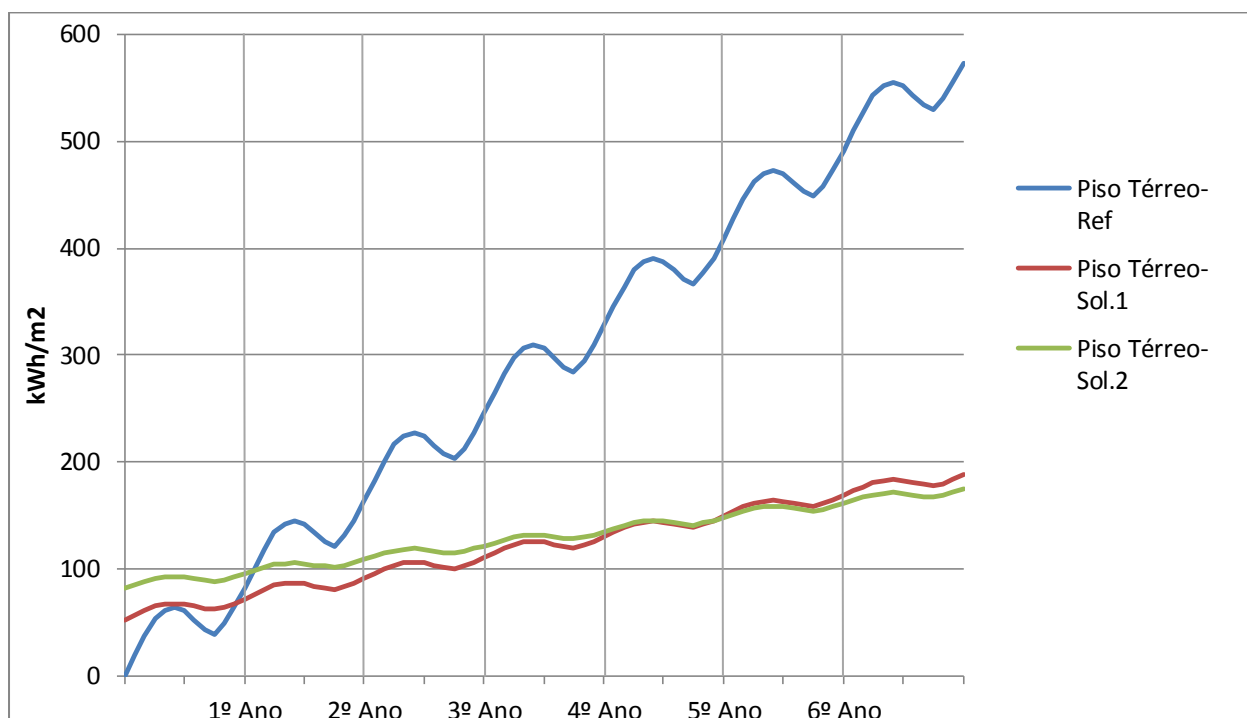


Gráfico 13- Perdas energéticas acumuladas para o piso térreo

Cobertura sobre Laje de Esteira

Pode-se constatar, no gráfico 14, que a solução 1 ao fim do 2º ano já está a perder menos energia para o exterior relativamente à solução de referência. Já a solução 2 precisa de aproximadamente 9 meses.

As soluções 1 e 2 têm perdas energéticas idênticas, no entanto, como a solução 1 tem mais energia incorporada no início o seu valor global é sempre pior que o da solução 2.

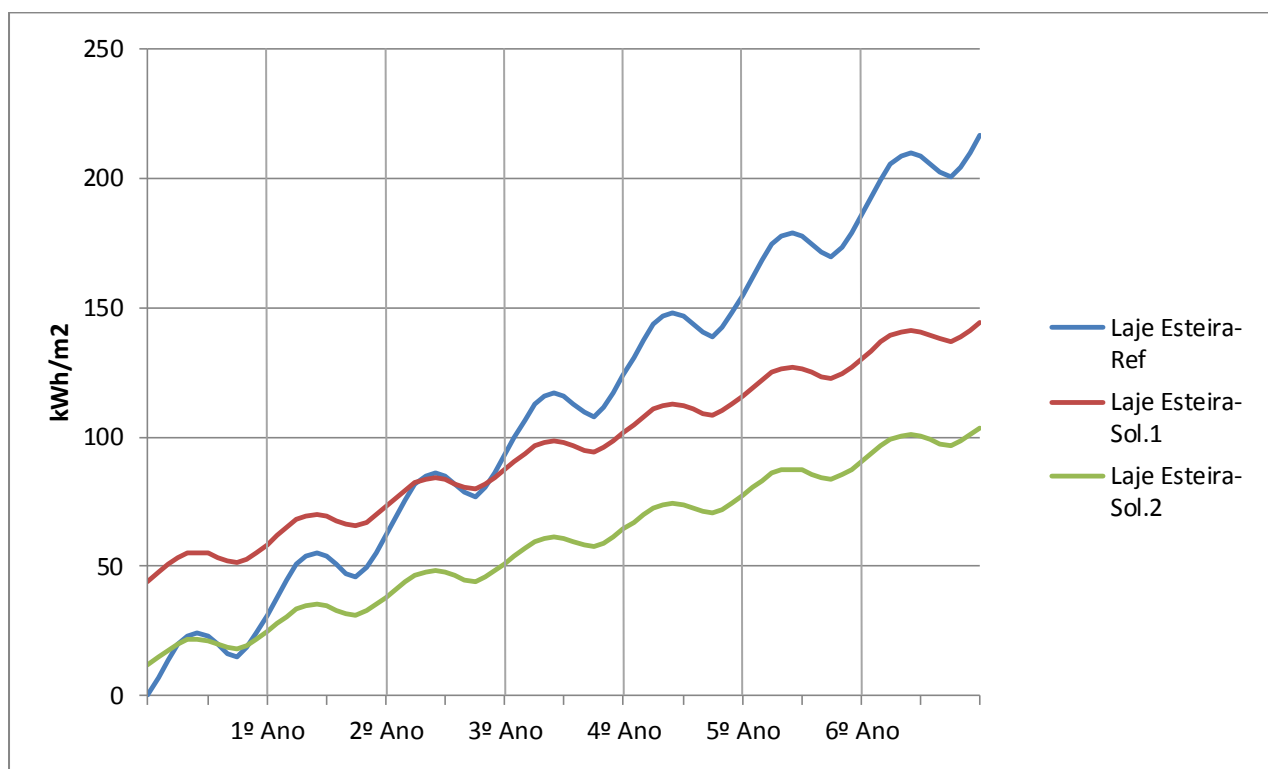


Gráfico 14- Perdas energéticas acumuladas para a laje de esteira

Cobertura horizontal sobre abóbada

No Gráfico 15, verifica-se que a solução 1 ao fim de 1 ano e 9 meses já está a perder menos energia para o exterior relativamente à solução de referência. Já a solução 2 precisa de 3 anos.

Verifica-se que a solução 1 apresenta um melhor comportamento que a solução 2 até aos primeiros 6 anos. E a partir desse instante a solução 2 passa a ter um melhor comportamento.

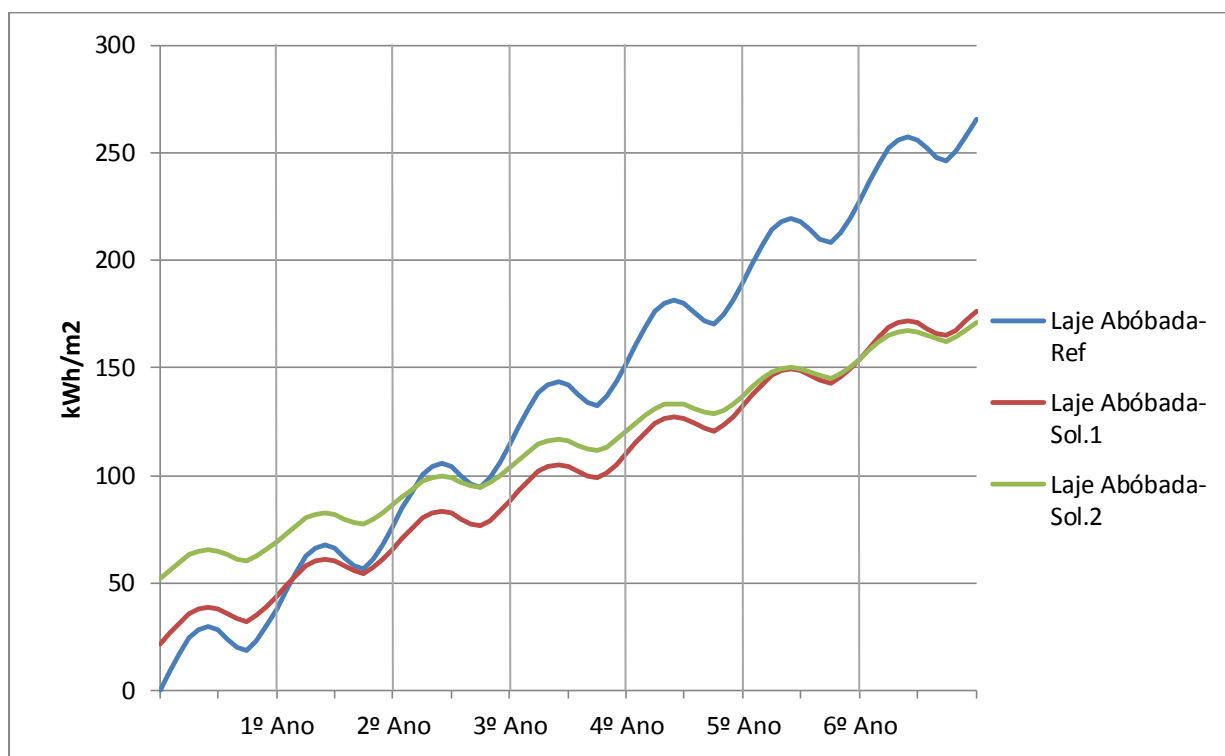


Gráfico 15- Perdas energéticas acumuladas para a cobertura em abóbada

4.3.Outros elementos

O objectivo deste trabalho centra-se na análise da sustentabilidade das diferentes soluções construtivas, dos elementos da envolvente exterior. No entanto, é impossível desprezar o impacto que os outros elementos do envelope têm, como é o caso dos envidraçados, elementos de separação dos espaços e as zonas de pontes térmicas lineares, zona dos pilares e ligação viga-pilar dos elementos estruturais.

Ao nível dos envidraçados torna-se importante recorrer à substituição dos vidros simples por uma solução que permita diminuir a quantidade de energia emitida pelos envidraçados, que normalmente sobre a incidência directa da luz solar poderão emitir cerca de 400 W/m^2 , 40 vezes mais do que um elemento opaco com um coeficiente de transmissão térmica de $0,5 \text{ W/m}^2$, com temperatura interior em média de 20° C . (Baker, 2009)

Na tabela 19, apresentam-se as características para diferentes tipos de envidraçados.

Tabela 17- Valores típicos de coef. transm. térmica para diferentes tipos de envidraçados (Baker, 2009)

Tipo de envidraçado	Coef. transmissão térmica ($\text{W/m}^2.\text{C}^\circ$)	Transmitância luminosa	Transmitância total
Simple	5,4	0,87	0,90
Duplo	2,8	0,76	0,82
Triplo	1,9	0,65	0,74
Duplo c/baixa emissividade	1,8	0,64	0,58
Duplo c/baixa emissiv. e c/gás inerte na caixa de ar	1,5	0,64	0,58
Duplo colorido	2,8	0,35-0,65	0,65-0,75
Duplo reflexivo	2,8	0,15-0,3	0,2-0,38
Duplo (baixa emissiv. e alta performance)	1,5	0,25-0,5	0,3-0,45

Ao nível das caixilharias a solução poderá passar necessariamente pela substituição dos elementos em ferro, pela introdução de uma caixilharia com corte térmico, de preferência com um material que acarrete um menor impacte energético, e que permita melhorar a estanquidade do edifício e melhorar a performance térmica do envidraçado.

Em seguida apresentam-se algumas soluções de envidraçados e caixilharias e os respectivos valores de coeficiente de transmissão térmica, para um elemento com $1,2 \times 1,2 \text{ (m}^2\text{)}$.

Tabela 18- Coeficiente de transm. térmica, envidraçado com caixilharia

Envidraçado + caixilharia	Coef. de trans. térmica do envidraçado (W/m².Cº)	Coef. de trans. térmica do envidraçado + caixilharia (W/m².Cº)
Vidro duplo Alumínio	2,8	3,1
Vidro duplo Alumínio c/ corte térmico	2,8	3,0
Vidro duplo c/ baixa emissiv. e c/ gás inerte Alumínio	1,5	2,7
Vidro duplo c/ baixa emissiv. e c/ gás inerte Alumínio c/ corte térmico	1,5	1,9
Vidro duplo c/ baixa emissiv. e c/ gás inerte Madeira	1,5	1,8
Vidro duplo c/ baixa emissiv. e c/ gás inerte Madeira c/ corte térmico	1,5	1,5

Outro aspecto também muito importante a melhorar, são as portas em contato com o exterior. Estas são, tal como as janelas, em caixilharia de ferro com vidro simples, e as recomendações são idênticas às acima indicadas.

Para os elementos estruturais há que ter em consideração a importância das trocas de calor com o exterior, pelas singularidades das zonas dos pilares e ligações das vigas do paramento exterior com o edifício, como se demonstra na Figura 9. A solução para estes elementos passa pelo corte térmico dos mesmos. Com a execução de uma camada de isolamento térmico, preferencialmente pelo exterior, em torno dos pilares da parede exterior mas também em torno das vigas de ligação, onde se torna impossível eliminar completamente as pontes térmicas. A principal intenção é a de prolongar o fluxo, de trocas de calor entre o interior e o ambiente exterior.



Figura 9- Viga de ligação do paramento exterior

Outro aspecto fundamental para a redução dos gastos energéticos passa também pelo seu controlo e monitorização.

Como já foi referido anteriormente, para este caso de estudo, não foi possível obter os consumos energéticos detalhados, que permitissem perceber os principais padrões de consumo.

É importante referir que com a existência destes dados, teria sido possível comparar os valores estimados na análise das perdas energéticas acumuladas referidas no ponto 4.2., com os registos dos consumos reais. Esta análise iria permitir fazer uma estimativa mais aproximada do contexto real, e assim, verificar a validade da previsão. Com uma previsão mais exacta, a implementação das medidas correctivas, poderia tornar-se mais eficaz.

4.5. Análise dos resultados

Parede exterior

Face aos resultados obtidos constatou-se que no caso das paredes exteriores a solução 1 é a que tem um melhor desempenho sustentável. Até aos 6 anos de vida apresenta também menores perdas térmicas, relativamente às outras soluções. No entanto dos 7 anos em diante a situação inverte-se, passando a solução 2 a ter um melhor comportamento energético.

Considerou-se que a solução 1 apresenta um maior potencial para reabilitação, considerando. Em termos de custos a solução 1 é a mais económica, no entanto, vai ter de se gastar mais energia para aquecimento e arrefecimento.

Relativamente às paredes exteriores conclui-se que a solução 1 é a melhor solução a adoptar.

Tabela 19- Resultados globais para a parede exterior

Parede exterior	Nota sustentável	Coef. transmissão térmica (W/m ² .C°)	Potencial p/ reabilitação	Custo de reabilitação (€/m ²)	Período em que iguala a solução de referência
Solução 1	0,72	0,513	1	19,62	2 Anos
Solução 2	0,40	0,383	0	23,85	3 Anos

Piso térreo

Observando os resultados atingidos para o piso térreo (Tabela 22), do caso de estudo, verificou-se que a solução 1 apresenta uma nota sustentável superior e, um menor custo de construção. No entanto é a solução 2 a que apresenta uma maior poupança de energia ao longo da sua vida útil. Quanto ao potencial para reabilitação, considera-se que a primeira solução é a mais adequada por estar associada a uma menor espessura de isolamento.

Num contexto global a solução 1 apresenta um melhor desempenho sustentável, devendo ser a solução a adoptar, para este elemento.

Tabela 20- Resultados globais para o piso térreo

Piso Térreo	Nota sustentável	Coef. transmissão térmica (W/m ² .Cº)	Potencial p/ reabilitação	Custo de reabilitação (€/m ²)	Período em que iguala a solução de referência
Solução 1	0,69	0,439	1	24,40	1 Ano
Solução 2	0,34	0,297	0	30,36	1 Ano e 3 meses

Cobertura sobre laje de esteira

No que diz respeito à laje de esteira verifica-se que ambas as soluções têm comportamentos semelhantes no que diz respeito à poupança de energia, sendo os seus valores apenas diferentes devido à energia incorporada, cujo valor é superior na solução 1.

Em termos de nota sustentável a solução 2 tem um valor superior ao da solução 1, assim como tem um menor custo.

A maior facilidade de execução da solução 2 faz com que esta seja mais vantajosa do prisma do potencial para reabilitação, pois existem menores condicionantes para a actividade dos utentes se a reabilitação ocorrer na zona da cobertura em vez de na zona do tecto falso do 1º piso.

Em conclusão a solução 2, é a que apresenta um melhor desempenho a todos os níveis, económico, ambiental e funcional.

Tabela 21- Resultados globais para a cobertura inclinada com laje de esteira

Laje esteira	Nota sustentável	Coef. transmissão térmica (W/m ² .Cº)	Potencial p/ reabilitação	Custo de reabilitação (€/m ²)	Período em que iguala a solução de referência
Solução 1	0,31	0,324	0	40,59	2 Anos
Solução 2	0,72	0,297	1	31,06	9 Meses

Cobertura horizontal sobre abóbada

Quanto a este elemento, existe uma grande proximidade, entre as duas soluções, ao nível da nota sustentável e do custo de reabilitação. Apesar de se considerar que a solução 1 conduz a uma reabilitação mais rápida com uma camada de enrocamento de 5 cm, é no entanto, a solução 2, com 10 cm de granulado de argila expandida, que se apresenta como a opção mais viável para a reabilitação, apresentando um coeficiente de transmissão térmica inferior e a maior poupança de energia a longo prazo.

Para a cobertura horizontal sobre abóbada a solução mais sustentável e a solução 2.

Tabela 22- Resultados globais para a cobertura em abóbada

Cobertura Abóbada	Nota sustentável	Coef. transmissão térmica (W/m ² .Cº)	Potencial p/ reabilitação	Custo de reabilitação (€/m ²)	Período em que iguala a solução de referência
Solução 1	0,66	0,500	1	22,02	1 Ano e 9 meses
Solução 2	0,67	0,385	0	21,97	3 Anos

De um modo geral, as melhorias que estas alterações poderiam trazer ao edifício são notórias.

Se analisarmos os ganhos energéticos que as soluções 1 e 2 têm relativamente à solução de referência para um período de 50 anos, que é um período previsível da sua vida útil, verificamos que:

Para as paredes exteriores a solução 1 consegue ganhar à volta de 700 kWh/m², enquanto a solução 2, cerca de 1000 kWh/m², Gráfico 16.

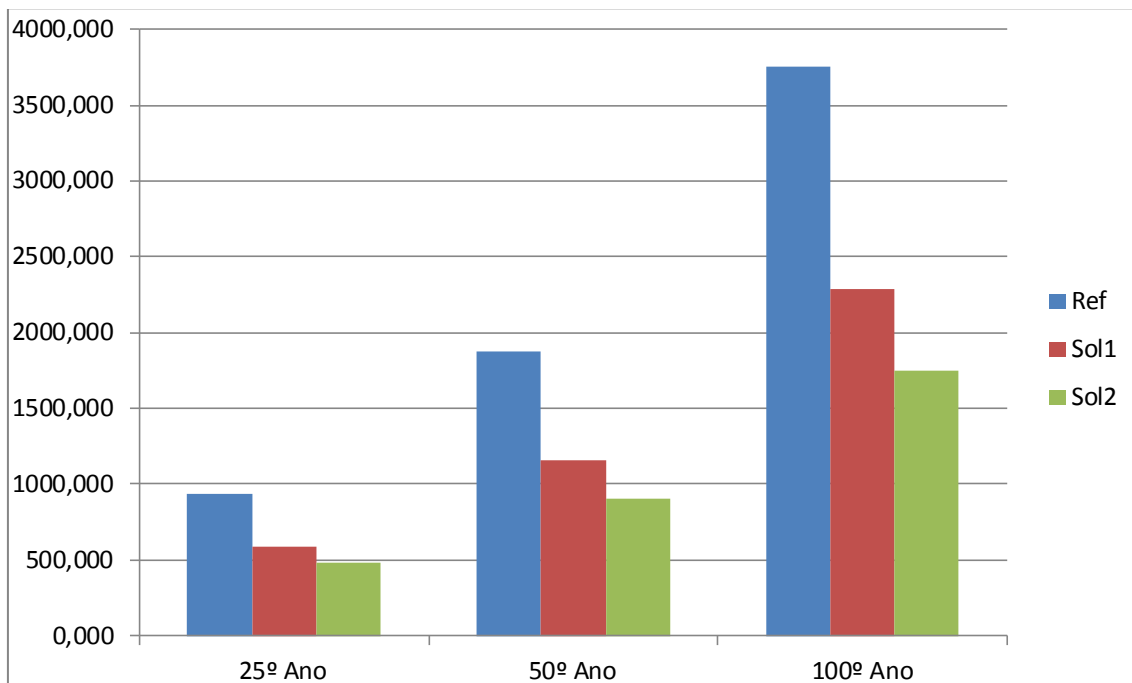


Gráfico 16- Estimativa de consumos para a parede exterior

No que diz respeito ao piso térreo, a solução 1 consegue ganhar cerca de 3700 kWh/m² e a solução 2 uns 4100 kWh/m², Gráfico 17.

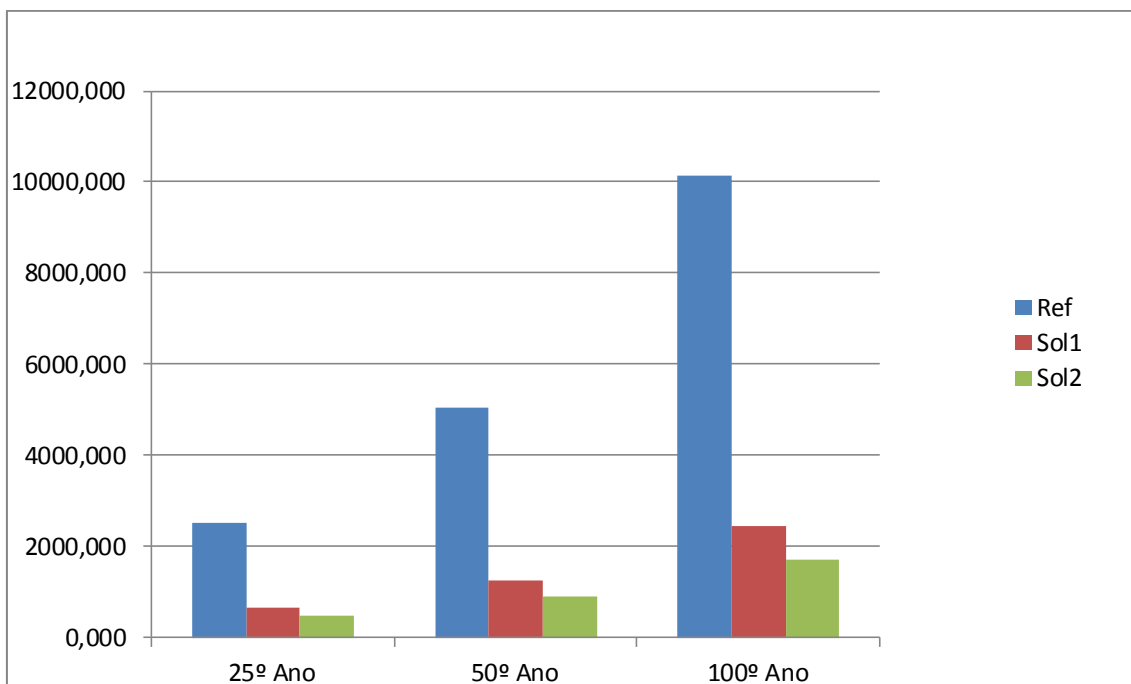


Gráfico 17- Estimativa de consumos para o piso térreo

Para a laje de esteira os ganhos são ainda superiores, rondando os 4900 kWh/m² para a solução 1 e os 5000 kWh/m² para a solução 1, Gráfico 18.

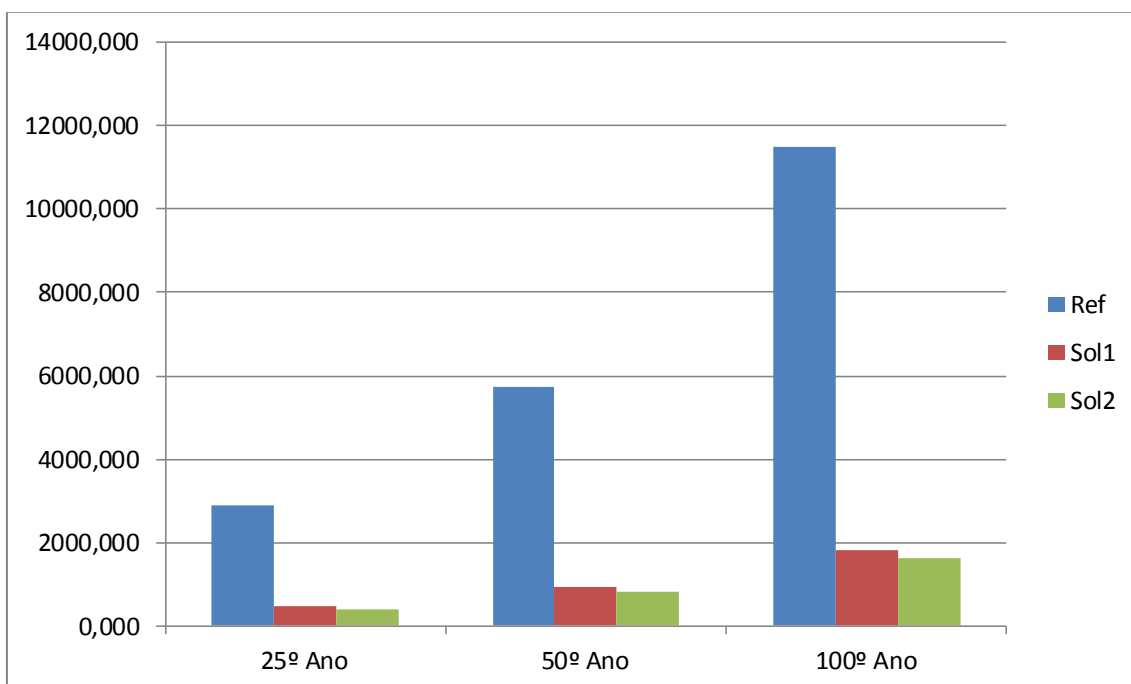


Gráfico 18- Estimativa de consumos para a laje de esteira

Já na cobertura da abóbada os ganhos para a solução 1 são sensivelmente 900 kWh/m², enquanto que para a solução 2 são de aproximadamente 1200 kWh/m², Gráfico 19.

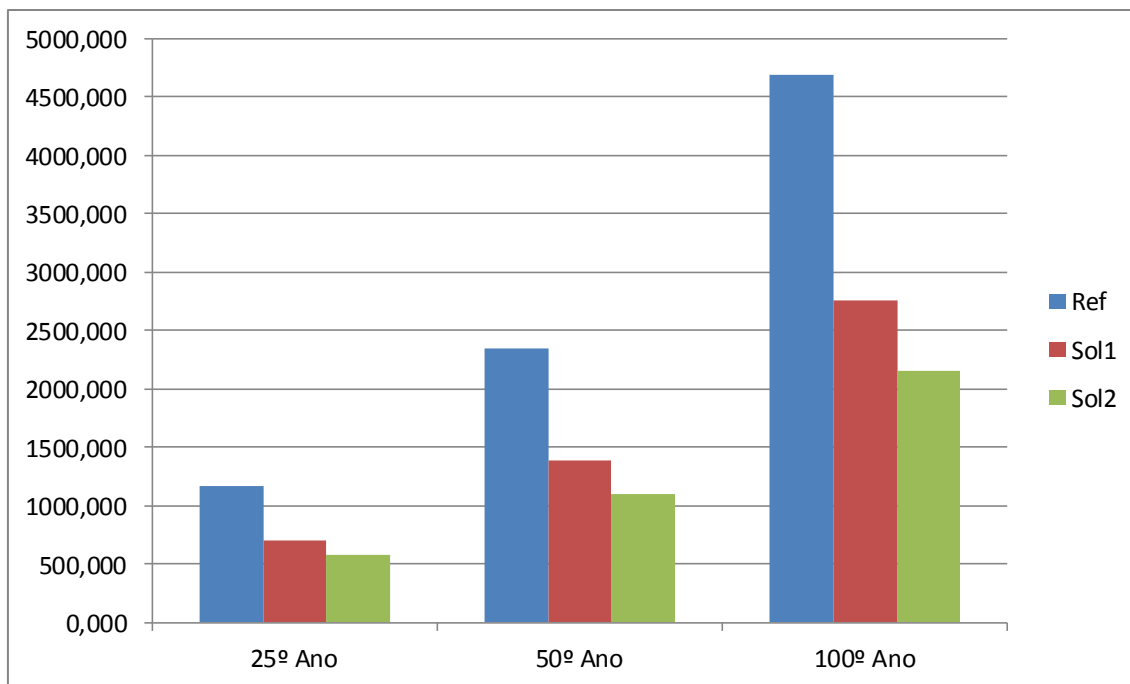


Gráfico 19- Estimativa de consumo para a cobertura em abóbada

Ao fazermos esta avaliação a longo prazo verificamos que conseguimos trazer grandes melhorias ao desempenho do edifício se optarmos por qualquer uma das soluções atrás assinaladas.

Com esta metodologia torna-se possível avaliar e estimar o comportamento futuro das diferentes soluções construtivas de reabilitação, revelando-se uma ferramenta útil no processo de apoio à decisão, permitindo identificar as principais necessidades de recuperação, e definir qual a solução mais adequada para a sua reabilitação.

Traduzindo-se num investimento que permitirá melhorar o comportamento do edifício em termos funcionais, maioritariamente ao nível do conforto térmico. Mas igualmente prolongar a sua durabilidade, e simultaneamente adaptar o edifício às exigências actuais.

5.Conclusões

Depois de analisado o edifício e depois de propostas várias soluções para alguns dos principais elementos construtivos, chegou-se às seguintes conclusões:

- As envolventes do edifício apresentam grandes deficiências tanto a nível de concepção, como de construção. A arquitectura do edifício e as soluções construtivas adoptadas não foram as melhores para o local onde o edifício está inserido, cujo clima é bastante agressivo no Verão e no Inverno;
- Várias soluções foram propostas para os elementos da envolvente e todas elas mostraram conseguir obter grandes melhorias;
- Para as soluções das paredes exteriores a solução que mostrou ser a melhor foi a solução 1, por associar uma nota sustentável superior, a um menor período de retorno energético.
- Para o elemento piso térreo, a solução 1 é a que apresenta melhores parâmetros ambientais e económicos, garantindo um período de retorno mais reduzido face à segunda solução.
- Para a zona da cobertura inclinada sobre laje de esteira, a solução 2 é a que garante um melhor desempenho sustentável, e é também a que apresenta menos perdas térmicas para o exterior ao longo da sua vida útil, principalmente devido à pouca energia incorporada da solução. Além de que garante um retorno de investimento mais imediato, e a menor custo.
- Para a cobertura sobre abóbada, a solução 2 é a mais vantajosa do prisma da sustentabilidade, e é também a que tem menos perdas para o exterior a longo prazo.
- As melhores soluções apresentadas para cada uma das situações mostraram trazer benefícios logo a partir dos 3 anos, máximo;
- Algumas soluções menos sustentáveis a curto prazo, mostraram que podem a longo prazo trazer mais benefícios;
- A avaliação do ciclo de vida dum material ou solução construtiva é fundamental para a avaliação da sustentabilidade de um edifício.

Com esta análise, percebe-se a importância crescente que está associada às diferentes metodologias de avaliação da sustentabilidade, provando ser uma ferramenta relevante no planeamento e gestão do projecto, quer em construções novas, quer em obras de reabilitação.

Foi possível estimar o impacto que as soluções propostas irão provocar, para os elementos construtivos, ao nível dos três pilares da sustentabilidade, e estimar o tempo que cada uma delas demorará até compensar o investimento e apresentar um comportamento térmico superior, em relação aos elementos já existentes.

Contudo ao analisar os diferentes elementos em estudo, ficou explícita a necessidade de associar as diferentes componentes da análise de modo a permitir fazer uma análise mais completa e ponderada.

6. Bibliografia

- AECOPS. (2009). *O Mercado da Reabilitação- Enquadramento, Relevância e Perspectivas*.
- Afonso, et al (1998). *O sector da construção- diagnóstico e eixos de intervenção*. Lisboa: IAPMEI.
- Baker, N. V. (2009). *Handbook of Sustainable Refurbishment- Non-Domestic Buildings*. Londres: RIBA Publishing.
- BCSD Portugal. (2005). *Manual de boas práticas de eficiência energética- implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas*. Lisboa.
- Berge, B. (2000). *Ecology of building materials*.
- Botta, M. (2005). *Towards Sustainable Renovation: Three research projects (Doctoral Dissertation)*. Obtido em 16 de Maio de 2010, de Dissertations.se: <http://www.dissertations.se/dissertation/50c054f32e/>
- Bourdeau, L. e. (1998). *Sustainable Development and the Future of Construction: A comparison of visions from various countries*. Roterdão: CIB Publications.
- Bragança, L., & Mateus, R. (2006). Sustentabilidade de soluções construtivas.
- BRE. (2010). *BREEAM- Data centres 2010*. Hertfordshire: BRE.
- Brundtland, G. (1987). *Our common future: The world commission on environment and development*. Oxford: Oxford University Press.
- CEE. (2008). *Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios*.
- Ceotto, L. H. (2007). A construção civil e o meio ambiente. *Notícias da construção: São Paulo* , 51-54.
- CIB. (1999). *Agenda 21 on Sustainable Construction*. Rotterdão: CIB report publication 237.
- CIBSE. (2007). *Refurbishment for improved energy efficiency: an overview*. CIBSE Publications.
- CICA- Confederation of International Contractor's Associations. (2002). *Industry as a partner for sustainable development*. Beacon Press.
- CIOB. (2002). *Sustainability and Construction*. Berkshire.
- Comissão das Comunidades Europeias. (2004). *Towards a thematic strategy on urban environment*.
- Cruz, N., Torres, I., & Silva, R. M. (2009). Reabilitação Urbana do Centro Histórico da "Baixinha" de Coimbra. *PATORREB*, (pp. 333-338).
- EHA. (2008). *New tricks with old bricks: How reusing old building can cut carbon emissions* .
- EPA. (2000). *Toward Integrated Environmental Decision-Making*.
- FIEC. (2009). *FIEC- Annual report*.
- FIEC. (2010). *The FIEC Annual Report*.

- Flanagan, e. a. (1989). *Life Cycle Costing: Theory and practice*. Oxford: BSP Professional books.
- Guoguo, L. (2008). *Integration of LCA and LCC for decision making in sustainable building industry*.
- Hammond, G., & Jones, C. (2008). *Inventory of carbon & energy- version 1.6a*. University of Bath.
- Highfield. (2000). *Refurbishment and upgrading of buildings*. Londres: E & FN Spon.
- INE. (2009). *Estatísticas da construção e habitação 2008*. Lisboa: INE.
- ISO. (2006). *Environmental management- Life cycle assessment - Requirements and guidelines*.
- ISO. (2008). *ISO 15686-5:2008, Buildings and constructed assests – service life planning- Life Cycle Costing*.
- Kibert, C. (1994). *Proceeding of the First International Conference on Sustainable Construction*. Florida.
- Langdon, D. (2007). *Life cycle costing as a contribution for sustainable construction- Final guidance*.
- Langdon, D. (2006). *Life cycle costing as a contribution to sustainable construction: a common methodology*.
- Langdon, D. (2006). *Literature review of life cycle costing and life cycle assessment*.
- NSW Treasury. (2004). *Total Asset Management- Life Cycle Costing Guideline 13*. Sydney: NSW Treasury.
- OCDE. (2003). *Environmental sustainable building- Chanllenges and policies*. Paris: OCDE.
- OGC . (2003). *Achieving Excellence Guide 7: whole life costing*.
- Pinheiro, M. D. (2006). *Ambiente e construção sustentável*. Amadora: Instituto do ambiente.
- Pinheiro, M. D. (2010). *Apresentação sobre o sistema LiderA*.
- Plessis, C. d. (2002). *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*.
- Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. (2008). Obtido em 16 de Maio de 2010, de World Population Prospects: The 2008 Population Database: <http://esa.un.org/unpp>
- Porteous, C. (2003). *The new eco-architecture*. Spon Press.
- Presidência do Conselho de Ministros. (2007). *ENDS 2015 - Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável*.
- Proença, E. R. (2007). *A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM PORTUGAL- estado da arte e perspectivas de desenvolvimento*.
- Rodrigues, F., & Teixeira, J. (2006). *Segurança e Saúde nas Operações de Reabilitação de Edifícios*.
- Serageldin, I. S. (1994). *Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series, 2* .

- Silva, V. C. (1 de Março de 2010). Obtido em 9 de Junho de 2010, de <http://www.gecorpa.pt/media/FEPICOP, ANEOP e AECOPS querem mais construção, mas o País dispensa.pdf>
- Silva, V. C. (2005). Reabilitar: a melhor via para a construção sustentável. *Archi News*, 28-30.
- Simons Construction Group. (2007). *Our dark materials*.
- Sodagar, B. (2009). The role of eco-refurbishment in sustainable construction and built environment. *SISBE 2009*.
- UNEP. (2009). *World population evolution*. Obtido em 16 de May de 2010, de UNEP/GRID-Arendal Maps and Graphics Library: <http://maps.grida.no/go/graphic/world-population-e>
- USGBC. (2009). *LEED 2009- For new construction and major renovations rating system*. Washington.
- USGBC. (s.d.). *LEED Rating Systems*. Obtido em 21 de Junho de 2010, de USGBC: <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=222>

Anexos

Tabela 1- Características dos materiais de construção utilizados

Materiais	Peso (kg/m ³)	C. Térm. (λ)(W/m.°C)	EPI (MJ/kg)	EPI (kgep/kg)	PAG. (kgCO ₂ /kg)	Durab .	Uso da água (l/kg)	PA (kgSO ₂ /kg)	DOAQ (kgNO _x /kg)	RP (kg/kg)	EPI(kWh/kg)	Preço (€)
Betão armado estrutural (cimento 1:areia 2:agregado 4)	2500	2	0,95	0,077	0,129	alta	170	0,001	0,0003	0,032	0,264	100,0 (m ³)
Betão simples (laje pré-esforçada)	2400	2	0,77	0,062	0,096	alta	170	0,001	0,0003	0,032	0,214	80,0 (m ³)
Aço (Reciclado)	7800	50	10	0,810	0,44	alta	-	0,003	0,004	-	2,778	0,720 (kg)
Argamassa (cimento 1:cal 1:areia 6)	1800	1,3	1,18	0,095	0,163	alta	170	-	-	0,017	0,328	120,0 (m ³)
Argamassa (cimento 1:areia 3)	1900	1,3	1,4	0,113	0,213	alta	170	0,0008	0,011	0,017	0,389	115,0 (m ³)
Enrocamento	2000	2	0,1	0,008	0,005	alta*	-	-	-	-	0,028	17,00 (m ³)
Gesso projectado	1000	0,43	1,8	0,145	0,12	média	240	0,003	0,002	0,008	0,500	95,00(m ³)
Terra compactada	1800	1,1	0,45	0,036	0,023	alta*	10	0	0	-	0,125	-
Betonilha	2000	1,35	0,77	0,062	0,096	alta	170	0,001	0,001	-	0,214	78,00(m ³)
Tijolo cerâmico 11	700	0,34	3	0,242	0,22	mt. alta	520	0,002	0,017	0,087	0,833	0,22 (un)
Tijolo cerâmico 15	700	0,34	3	0,242	0,22	mt. alta	520	0,002	0,017	0,087	0,833	0,30 (un)
Telha cerâmica	1800	0,69	9	0,725	0,59	mt. alta	-	0,004	0,051	0,009	2,500	0,48 (un)

Lã de rocha	30	0,04	16,8	1,353	1,05	média	1360	0,006	0,005	0,32	4,667	4,78 (m ²)
Poliuretano (injectável)	30	0,042	72,1	5,806	3	baixa/ média	18900	0,03	0,042	0,486	20,02 8	110,0(m ³)
EPS	30	0,036	88,6	7,137	2,5	baixa/ média	26,4	0,011	0,0002	-	24,61 1	110,0 (m ³)
XPS	30	0,036	86,4	6,960	2,7	média /alta	-	-	-	-	24,00 0	111,0 (m ³)
Betão celular	1200	0,46	7	0,564	0,434	média	450	0,002	0,003	0,081	1,944	85,0 (m ³)
Mosaico hidráulico	1800	0,69	5,5	0,443	0,51	média	-	0,004	0,051	0,009	1,528	4,0 (m ²)
Massame B18	2000	1,35	0,77	0,062	0,096	alta	170	0,001	0,001	-	0,214	65,0 (m ³)
Rede de fibra de vidro (4x4)	250	0,04	28	2,256	1,35	média	1360	0,007	0,006	0,09	7,778	0,40 (m ²)
Gesso cartonado	900	0,25	6,75	0,544	0,38	média	240	0,003	0,002	0,008	1,875	7,61 (m ²)
Grânulos de argila expandida	400	0,16	3	0,242	0,22	alta	-	-	-	-	0,833	8,0 (m ³)
Abobadilha Cerâmica	1800	0,69	9	0,725	0,59	mt.alt a	-	-	-	-	2,500	0,50 (un)
Vigota pré-esforçada	2500	2	0,95	0,077	0,129	alta	-	-	-	-	0,264	2,40 (m)
Malhassol (CQ30)	7800	50	10	0,806	0,44	alta	-	-	-	-	2,778	0,67 (m ²)

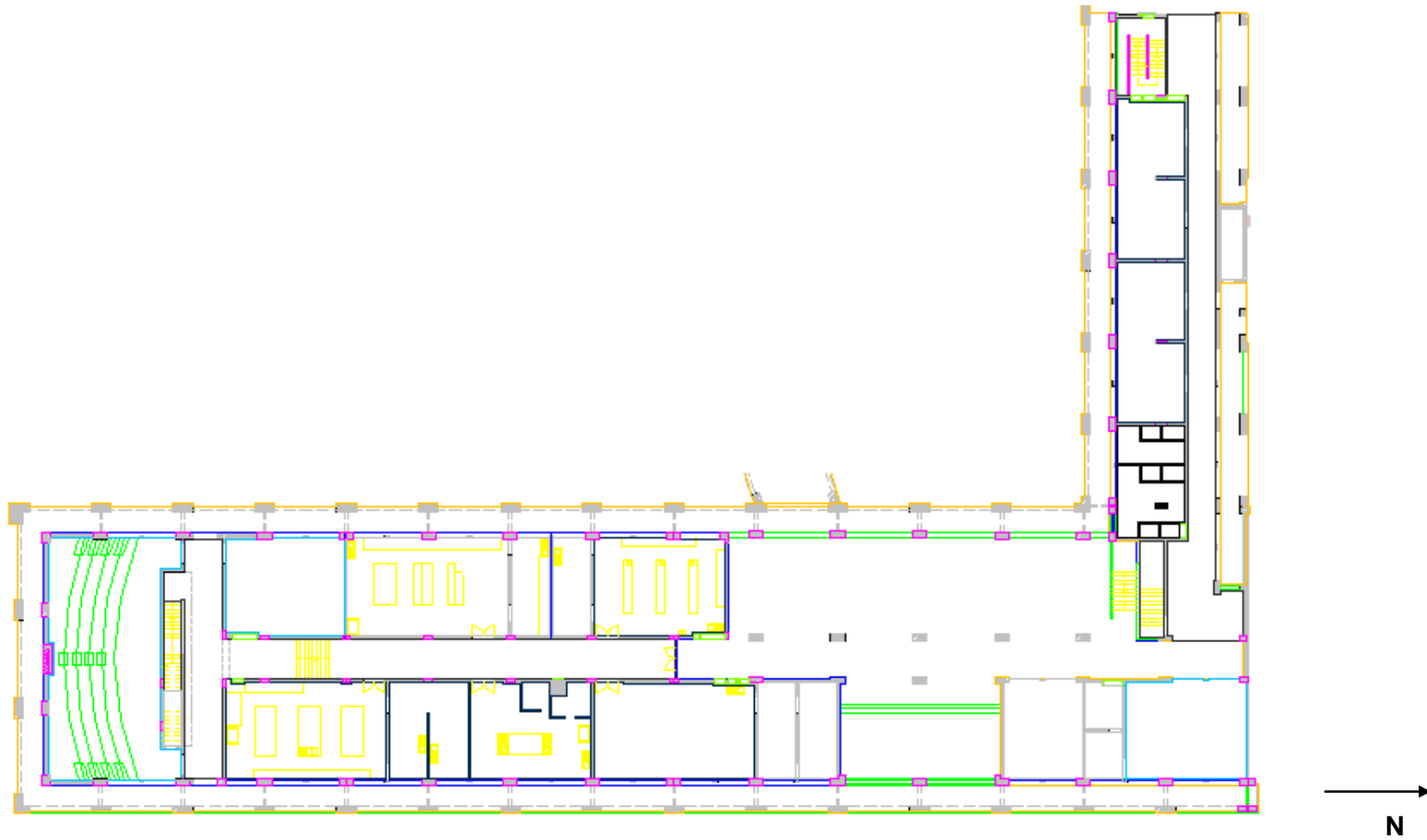


Figura 1- Edifício A- Piso Térreo

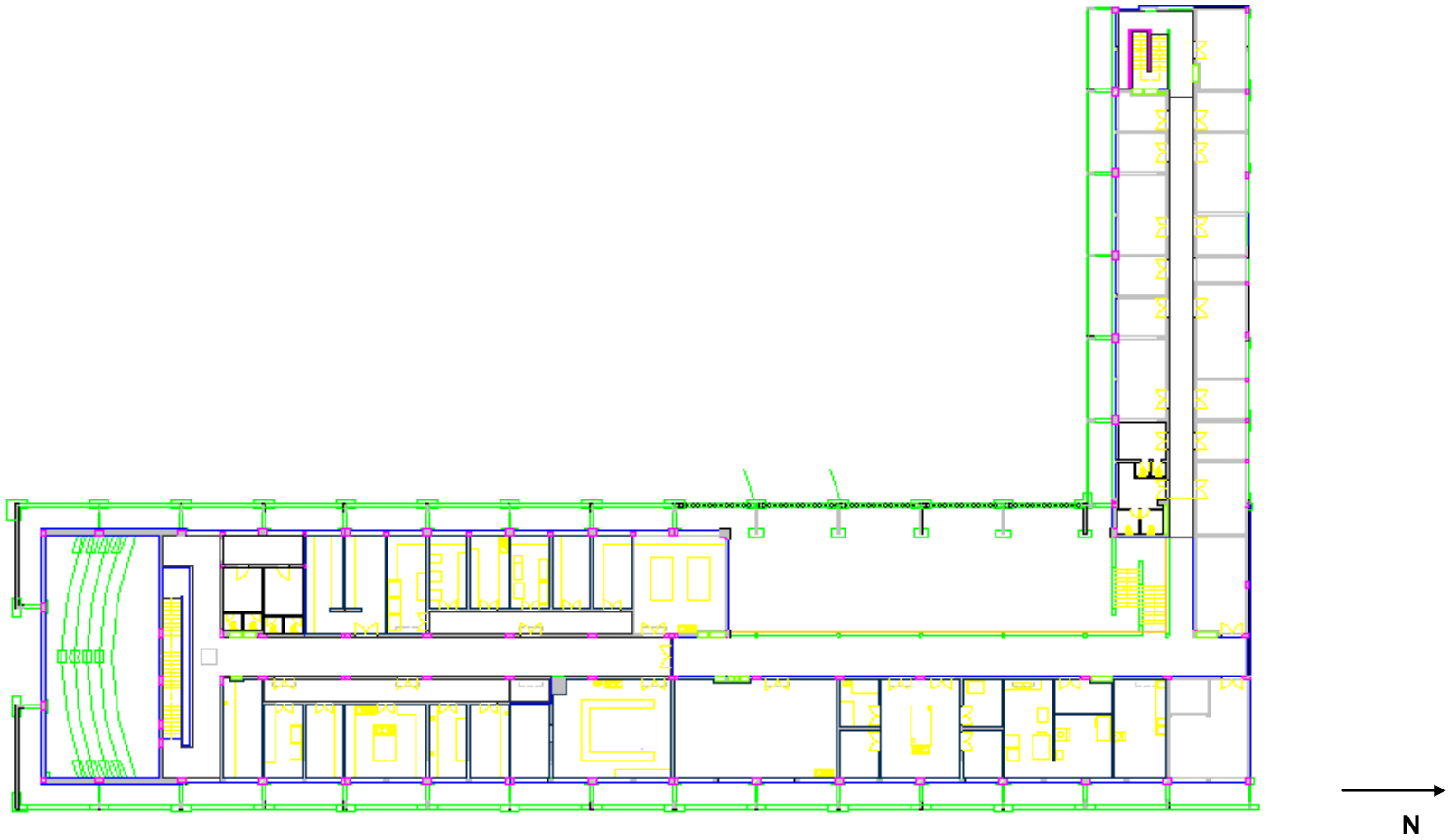


Figura 2- Edifício A- Piso 1



Fotografia 1- Fachada orientada a Este



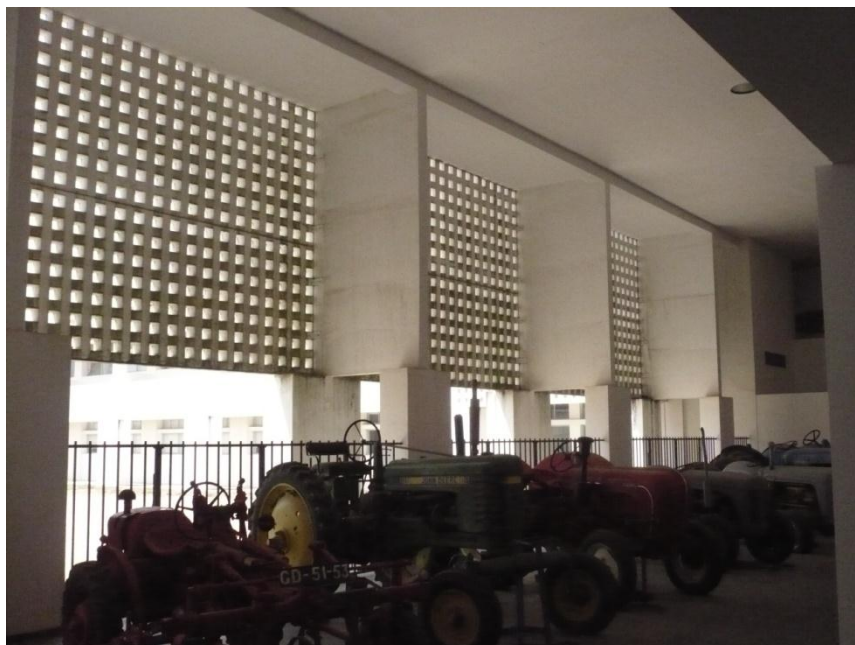
Fotografia 2- Fachada orientada a Oeste



Fotografia 3- Fachada orientada a Norte



Fotografia 4- Fachada orientada a Sul



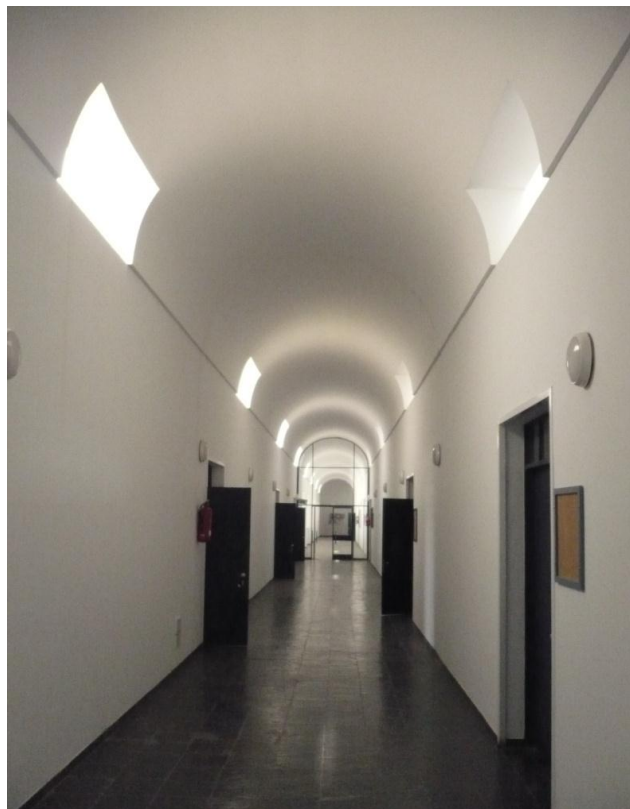
Fotografia 5- Átrio principal, piso térreo



Fotografia 6- Átrio principal, 1º Piso, eixo Norte-Sul



Fotografia 7- Corredor piso térreo, no eixo Este-Oeste



Fotografia 8- Corredor 1º piso, eixo Norte-Sul