

PREOCUPAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OBRAS

BRUNO MANUEL ANDRADE DUARTE

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

The way we see the problem is the problem.

Stephen R. Covey

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e que me motivaram no decorrer do mesmo.

Ao Professor Doutor Hipólito Campos de Sousa, pela orientação, disponibilidade e abertura de espírito no debate dos assuntos discutidos, pela autonomia que me concedeu na definição da estrutura do trabalho, e também pela assertividade e lucidez transmitidas nas sessões de orientação para a realização desta tese.

Agradeço também ao Engenheiro Pedro Mêda pela ajuda prestada no âmbito dos cadernos de encargos.

Aos meus pais, pelo incentivo sempre demonstrado ao longo do curso e carinho demonstrado.

Por fim, agradeço aos meus amigos e colegas, Albano de Sousa, Bruno Vieira, Hélder Xavier e João Melim pelas opiniões, companheirismo e boa disposição nas noites de trabalho na faculdade. Agradeço também à Maria Sampaio e Mariana Domingos.

Ao meu grande amigo Ricardo Teixeira Pinto pelo espírito sempre presente de amizade e incentivo, e por fim, aos meus queridos amigos José Vaz e Francisco Lobo pela ajuda na elaboração de figuras e diagramas.

RESUMO

O desafio do desenvolvimento sustentável colocado à actividade construção tem motivado abordagens distintas por parte da Engenharia como da Arquitectura, com uma abordagem de índole mais técnica por parte da Engenharia e a um nível mais prescritivo por parte da Arquitectura.

Sendo o sector da construção responsável por fortes impactes, quer aos níveis económico e social, quer ao nível ambiental, surge a necessidade de pensar e criar medidas de melhoria do desempenho deste sector, das quais a melhoria ambiental constituiu o mote principal desta tese.

Este trabalho propõe-se contribuir para uma abordagem concreta às questões da sustentabilidade, face à falta de rigor e alguma demagogia vigentes no que respeita a este assunto. Foi feita uma revisão de literatura de carácter geral, onde se procurou expor correntes de pensamento diferentes e apresentar uma perspectiva da evolução do conceito de desenvolvimento sustentável e das razões que motivaram a criação do mesmo. Esta revisão foi entretanto direccionada para a construção, onde se expôs e discutiu o conceito de construção sustentável e as possíveis aplicações nas actividades relacionadas com a indústria da construção.

O trabalho focou-se no ciclo de vida dos materiais em edifícios, numa perspectiva de desempenho ambiental e energético (ao nível da energia incorporada na produção de materiais).

Foi apresentada a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) e o conceito de Declaração Ambiental de Produto (EPD). Apresentou-se um estudo académico de ACV de um produto, elaborado para um formato de EPD estudado, bem como outro disponibilizado por um fabricante.

Exposta a ligação entre as ACV e as EPD, definiu-se o modo como a entidade projectista poderá proceder à incorporação das preocupações de sustentabilidade nas memórias descritivas dos projectos constantes dos cadernos de encargos.

Formularam-se os princípios de uma metodologia de avaliação dos materiais a incorporar nos edifícios, para que possa ser feita a sua selecção com base num perfil ambiental, para além dos restantes parâmetros tradicionais. Ao longo dessa exposição, foram levantadas questões no que respeita à quantificação de impactes e classificações de produtos, e mesmo ao formato EPD. Foi também equacionado o modo de transição da classificação dos materiais mais representativos de um edifício para uma classificação total do mesmo.

Pôde concluir-se que os métodos existentes ainda não são consensuais, não estando ainda definidos os métodos de cálculo ACV, nem as bases de dados e as Regras de Categorias de Produtos (PCR) para as EPD.

Por último, procurou transmitir-se que a aferição numérica dos impactes ambientais dos produtos de construção está ainda numa fase inicial na generalidade dos países, mas particularmente em Portugal, esperando-se que este trabalho constitua um contributo para a clarificação destes conceitos.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Construção Sustentável, Análise de Ciclo de Vida, Materiais de Construção, Cadernos de Encargos de Obras, Declaração Ambiental de Produto.

ABSTRACT

The arising challenge of sustainable development is a matter in which the construction industry plays a very important role, through both Engineering and Architecture. Given the fact that this industry has considerable known impacts on society regarding the economic, social and environmental levels, there is a subsequent need for improvement, which requires the design and application of enhancement measures, towards a better environmental performance.

This thesis is intended to contribute to a structured and concise analysis, regarding environmental sustainability in the construction industry, regardless of the hype created on society around this subject.

A literature review has been carried out as a global approach to Humanity's issues, seeking for a description of different trains of thought regarding sustainable development, and the reasons that triggered the creation of this concept.

Hence, the work is focused on the applicability of the sustainable development's concerns to the construction industry.

A life cycle approach of buildings has been described, focusing the aspect of the materials and components of buildings in a perspective of environmental performance and embodied energy.

The life cycle assessment methodology (LCA) has been described as well as the concept of environmental product declaration (EPD), with a subsequent presentation of an academic LCA study and its application to an EPD of a product. In the same way, a market EPD of a product has been analysed.

After presenting the link between a LCA and an EPD, a framework to the implementation of sustainability concerns in design stage is proposed. That implementation should be carried by the designing entity, through the usage of the EPD's of products, contributing to the elaboration of a descriptive memory of sustainability.

The guidelines of a methodology for the evaluation of products have been proposed, which would enable the design team to choose a certain material regarding not only the functional and aesthetic (and other aspects such as costs) attributes, but also the environmental performance of the product, which would, in the end, produce a final result regarding the whole building based on the score of its most representative materials.

It has been concluded that the existing assessment methods are yet to be consensual among the scientific community, namely the data for LCA studies and the Product Category Rules (PCR) for the EPD.

It is important to acknowledge the fact that the search for methods of measurement and parameters to address the sustainability of materials and buildings is in a beginning stage, namely in Portugal. Thus, this work is hoped to contribute to the clarification of the ideas and concepts.

KEYWORDS: Sustainability, Sustainable Construction, Life Cycle Assessment, Building Materials, Notebooks of Incubencies, Environmental Product Declaration.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. OBJECTIVOS	1
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	1

2. O HOMEM, O DESENVOLVIMENTO E O AMBIENTE

2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. CRESCIMENTO POPULACIONAL	3
2.3. CONSUMO DE RECURSOS	4
2.3.1. INTRODUÇÃO	4
2.3.2. ENERGIA	6
2.3.3. ÁGUA	7
2.4. ECONOMIA E O AMBIENTE	8
2.4.1. INTRODUÇÃO	8
2.4.2. OS PROBLEMAS AMBIENTAIS	8
2.4.2.1. Eutrofização	9
2.4.2.2. Acidificação	9
2.4.2.3. Poluição Atmosférica.....	10
2.4.2.4. Destruição da Camada de Ozono	11
2.4.2.5. Ilhas de Calor Urbanas.....	11
2.4.2.6. Poluição do Ar Interior	12
2.4.2.7. Alterações Climáticas.....	13
2.5. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	17
2.5.1. INTRODUÇÃO	17
2.5.2. A TRIPLA DIMENSÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	18
2.5.3. DIFERENTES PARADIGMAS, DIFERENTES PRIORIDADES	19
2.5.4. REFLEXÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	20

2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	21
--	-----------

3. A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, AMBIENTE E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL 23

3.1. INTRODUÇÃO	23
------------------------------	-----------

3.2. RELAÇÃO ENTRE A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E O AMBIENTE	24
--	-----------

3.3. CICLO DE VIDA DAS CONSTRUÇÕES.....	27
--	-----------

3.4. PREOCUPAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO	29
--	-----------

3.4.1. INTRODUÇÃO	29
-------------------------	----

3.4.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	30
------------------------------------	----

3.4.2.1. Aplicação do Conceito de Desenvolvimento Sustentável à Construção.....	33
---	----

3.4.3. PRINCÍPIOS PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO.....	34
--	----

3.4.3.1. Reflexões sobre a Construção Sustentável	38
---	----

3.4.4. INSTRUMENTOS AMBIENTAIS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	39
--	----

3.4.4.1. Estudos de Avaliação Ambiental Estratégica.....	40
--	----

3.4.4.2. Estudos de Impacte Ambiental de Empreendimentos	40
--	----

3.4.4.3. Avaliação do Ciclo de Vida de Materiais, Soluções e Edifícios	40
--	----

3.4.5. AVALIAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	41
---	----

3.4.5.1. Ferramentas e Sistemas de Avaliação de Empreendimentos	43
---	----

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	50
--	-----------

4. EDIFÍCIOS: ENERGIA, MATERIAIS E COMPONENTES 51

4.1. INTRODUÇÃO	51
------------------------------	-----------

4.2. CATEGORIAS DE USO DA ENERGIA NOS EDIFÍCIOS.....	53
---	-----------

4.2.1. INTRODUÇÃO	53
-------------------------	----

4.2.2. ENERGIA INCORPORADA	54
----------------------------------	----

4.2.2.1. Energia Incorporada Inicial.....	54
---	----

4.2.2.2. Energia Incorporada Recorrente	55
---	----

4.2.2.3. Energia Incorporada de Demolição e Deposição.....	55
--	----

4.2.3. ENERGIA DE OPERAÇÃO	56
----------------------------------	----

4.3. MATERIAIS E COMPONENTES.....	57
--	-----------

4.3.1. INTRODUÇÃO	57
-------------------------	----

4.3.2. MATERIAIS COMPONENTES E ENERGIA.....	58
---	----

4.3.2.1. Reciclagem, Reutilização e Recuperação de Energia	59
4.3.2.2. Energia Incorporada nos Materiais	59
4.3.2.3. Energia Incorporada em Componentes de Edifícios	62
4.3.2.4. Energia Incorporada ao longo do Ciclo de Vida do Edifício.....	63
4.3.2.5. Optimização dos Ciclos de Manutenção.....	64
4.3.3. DURABILIDADE	65
4.3.3.1. Modelo 'Dente de Serra'.....	66
4.3.3.2. Princípios de Construção e Projecto	68
4.4. CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS	68
4.4.1. INTRODUÇÃO	68
4.4.2. A ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS.....	69
4.4.2.1. Análise de Fluxos Materiais - MFA	69
4.4.2.2. Análise de Ciclo de Vida - ACV.....	70
4.4.2.3. LCC - Análise de Custo de Ciclo de Vida	77
4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	78
 5. DO ACV À DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO TIPO III	 81
5.1. INTRODUÇÃO	81
5.2. ETIQUETAS/RÓTULOS AMBIENTAIS DE CONSTRUÇÃO	81
5.2.1. INTRODUÇÃO	81
5.2.2. ETIQUETAS AMBIENTAIS DO TIPO III	82
5.2.2.1. Regras de Categorias de Produtos	84
5.2.2.2. Estrutura de uma EPD do Tipo III	84
5.3. CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS EPD.....	85
5.4. EXPOSIÇÃO DE UM ESTUDO DE CASO DE UMA ACV.....	85
5.4.1. INTRODUÇÃO	85
5.4.2. DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E DO ÂMBITO	86
5.4.3. FASE DE ANÁLISE DE INVENTÁRIO	87
5.4.4. FASE DE AVALIAÇÃO DE IMPACTE DE CICLO DE VIDA.....	90
5.4.5. FASE DE INTERPRETAÇÃO.....	91
5.4.6. RESULTADO DO ESTUDO DE CASO DE ACV APLICADO A DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DO TIPO III	92
5.4.6.1. Descrição do Formato Seleccionado	92
5.5. EXEMPLO DE EPD COMERCIAL DE UM PRODUTO DE CONSTRUÇÃO.....	93

5.5.1. INTRODUÇÃO	93
5.5.2. ESTRUTURA E CRÍTICA DO EPD EM ANÁLISE	93
5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	95

6. ABORDAGEM À INTEGRAÇÃO DOS ASPECTOS RELEVANTES AMBIENTAIS DOS MATERIAIS/COMPONENTES NA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA DE OBRAS

.....	97
6.1. INTRODUÇÃO	97
6.2. PROPOSTA DE INCORPORAÇÃO DE PREOCUPAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NAS MEMÓRIAS DESCRITIVAS DOS PROJECTOS	97
6.2.1. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA	97
6.2.2. APRESENTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA METODOLOGIA PROPOSTA	99
6.2.3. PROPOSTA DE INCORPORAÇÃO DA INFORMAÇÃO DAS EPD PARA UTILIZAÇÃO NA METODOLOGIA	100
6.2.3.1.Obtenção da Classificação de um Material Candidato a uma Função no Edifício	101
6.2.3.2.Da Classificação de um Material Candidato, à Classificação do Edifício	104
6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	105

7. CONCLUSÕES.....

7.1. OBSERVAÇÕES FINAIS	107
--------------------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA.....

ANEXO I

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo simplificado das actividades humanas.....	3
Figura 2 – Estimativa da população mundial, 1950-2000, e projecções: 2000-2050	4
Figura 3 – Evolução da pegada ecológica da Humanidade	5
Figura 4 – Escada da prosperidade: Relação entre o consumo de energia e PIB de diversos países entre 1970 e 1997	6
Figura 5 – Acidificação	10
Figura 6 – Esquema de formação do <i>smog</i>	10
Figura 7 – <i>Smog</i> em Pequim.....	11
Figura 8 – Esboço da observação do fenómeno das ilhas de calor urbano	12
Figura 9 – Ilustração do efeito de estufa.....	14
Figura 10 – Influência do sol no clima.....	16
Figura 11 – Tendências de consumo, abundância, e procura de equilíbrio no consumo de recursos	17
Figura 12 – Tripla dimensão da sustentabilidade	18
Figura 13 – Abordagem direccionada para o desenvolvimento sustentável	20
Figura 14 – Actividade construtiva e ambiente	24
Figura 15 – Conceito de metabolismo urbano	25
Figura 16 – Áreas de impacte ambiental	25
Figura 17 – Mudança de atitude em relação às práticas correntes	27
Figura 18 – Ciclo de vida sintetizado da construção.....	28
Figura 19 – Impactes ambientais no ciclo de actividades da construção	28
Figura 20 – Actividades humanas, ambiente construído e edificado.....	29
Figura 21 – A tripla dimensão da sustentabilidade e a construção	29
Figura 22 – Dinâmica da construção sustentável	30
Figura 23 – Âmbito da Agenda 21 na construção.....	31
Figura 24 – Sustentabilidade e construção: Evolução das preocupações no sector da construção	33
Figura 25 – Representação do novo paradigma de construção sustentável.....	33
Figura 26 – Principais áreas ambientais de intervenção para a construção sustentável no edificado	34
Figura 27 – Avaliação da sustentabilidade na construção.....	42
Figura 28 – Alguns sistemas de avaliação de empreendimentos e seus âmbitos	44
Figura 29 – Níveis de desempenho Global no sistema LiderA.....	47
Figura 30 – Principais vertentes e respectivas áreas ambientais de intervenção consideradas pelo sistema LiderA em edifícios de habitação.....	48

Figura 31 – Ciclo de vida de um edifício e as actividades a este associadas	52
Figura 32 – Abordagem integrada ao ciclo de vida de um edifício	53
Figura 33 – Categorias de uso de energia em edifícios.....	53
Figura 34 – Exemplos de energia incorporada no ciclo de vida	54
Figura 35 – Distribuição típica de custos de operação de um edifício de escritórios	56
Figura 36 – Aspectos relativos à selecção de materiais	57
Figura 37 – <i>Input</i> de energia primária de acordo com os grupos de componentes de edifícios	62
Figura 38 – Custos de ciclo de vida e investimento anuais por componente de construção	63
Figura 39 – GWP de um pavimento flutuante desde construído e após 100 anos.....	63
Figura 40 – Cálculo de durabilidade baseado na probabilidade de danos para um material	65
Figura 41 – Durabilidades de várias camadas funcionais sob a forma de um modelo 'dente de serra'a'.....	66
Figura 42 – Durabilidades de várias camadas funcionais sob a forma de um modelo 'dente de serra'b'.....	66
Figura 43 – Durabilidades de várias camadas funcionais sob a forma de um modelo 'dente de serra'c'.....	67
Figura 44 – Fases de uma análise de ciclo de vida	68
Figura 45 – Relação <i>input/output</i> na cadeia produtiva de um material de construção	69
Figura 46 – Desenvolvimento da análise de ciclo de vida	70
Figura 47 – Exemplo de um sistema de produto.....	72
Figura 48 – Fases de uma ACV	73
Figura 49 – Relações dos elementos dentro dos limites da fase de interpretação com outras fases da ACV.....	75
Figura 50 – Fases do ciclo de vida e relevância dos sistemas de ACV.....	76
Figura 51 – Exemplos de custos de ciclo de vida para diferentes tipos de utilização	78
Figura 52 – Recomendações para projecto de acordo com o ciclo de vida para a redução da energia incorporada.....	79
Figura 53 – Módulos de informação de EPD do Tipo III de materiais de construção	83
Figura 54 – Corte transversal da placa de circuito	87
Figura 55 – Árvore do processo do sistema em placas de circuito impresso	88
Figura 56 – Entidades responsáveis pela aplicação das preocupações de sustentabilidade ao nível dos materiais de construção.....	98
Figura 57 – Papel do projectista na incorporação das preocupações de sustentabilidade dos materiais/componentes de construção.....	98
Figura 58 – Papel da entidade executante na garantia da incorporação das preocupações de sustentabilidade dos materiais/componentes na construção.....	99

Figura 59 – Grupos de materiais/componentes candidatos a uma dada função	99
Figura 60 – Funcionamento global da metodologia proposta.....	100
Figura 61 – Dados da EPD de um material e sua classificação ao nível das emissões	101
Figura 62 – Dados da EPD de um material e sua classificação ao nível dos consumos de energia e materiais	102
Figura 63 – Dados da EPD de um material e sua classificação ao nível da vida útil e fim de vida	102
Figura 64 – Obtenção da classificação ambiental final de um produto por unidade funcional.....	103
Figura 65 – Necessidade da determinação da quantidade necessária de produto para cumprimento do requisito funcional na totalidade do edifício	104
Figura 66 – Impacte total da incorporação do material na obra em função da quantidade necessária para o cumprimento do requisito funcional	104
Figura 67 – Da escolha dos materiais à avaliação total do edifício	104

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Proporção de materiais consumidos na construção	26
Quadro 2 – Ciclos bioquímicos do planeta e causas principais de perturbação	27
Quadro 3 – Tópicos evidenciando a necessidade de sustentabilidade no âmbito da construção	36
Quadro 4 – Aspectos relevantes da construção sustentável segundo o CIB	37
Quadro 5 – Modo de classificação Eco-Homes de edifícios	45
Quadro 6 – Modo de classificação de edifícios pelo LEED	46
Quadro 7 – Descrição de cada nível de desempenho no GBTool	47
Quadro 8 – Principais objectivos a alcançar dos diferentes sistemas de avaliação ambiental	48
Quadro 9 – Categorias de apresentação de candidatura e elementos envolvidos em cada uma segundo o CEEQUAL	49
Quadro 10 – Níveis de certificação pelo CEEQUAL e condições para alcance dos mesmos	49
Quadro 11 – Tipos de etiquetas, normas ISO e segmentos de mercado alvo	82
Quadro 12 – Exemplos de parâmetros de categorias pré-definidas	84
Quadro 13 – Síntese da definição do objectivo e do âmbito	86
Quadro 14 – Suposições e limitações do estudo	87
Quadro 15 – Composição e proporção de materiais consumidos na construção	87
Quadro 16 – Resultados de inventário do sistema de circuitos impresso	89
Quadro 17 – Impacte caracterizado do sistema de placas de circuito impresso	90
Quadro 18 – Impactes normalizados e ponderados do sistema	90
Quadro 19 – Itens para análise de sensibilidade	91
Quadro 20 – Elasticidade de itens para análise de sensibilidade	91
Quadro 21 – Declaração Ambiental do Tipo III baseada no cenário eleito	93
Quadro 22 – Capítulos da EPD em análise e descrição sumária e crítica do seu conteúdo	94

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS (MAIS RELEVANTES)

ACV – Análise de ciclo de vida

ADENE – Agência para a Energia

AICV - Avaliação do impacto de ciclo de vida

CEN – Comité Europeu para a Normalização

CFC – Clorofluorcarbonetos

CIB – Conselho Internacional da Construção

CO₂ – Dióxido de carbono

COV – Compostos orgânicos voláteis

EIA – Estudo de impacto ambiental

EPD – Declaração ambiental de produto

GWP – Potencial de Aquecimento Global

ICV – Inventário de ciclo de vida

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ISO – Organização Internacional para a Normalização

LCC – Custo de ciclo de vida

NO_x – Óxidos de azoto

ONU – Organização das Nações Unidas

PCR – Regras de categoria de produto

PEI – *Input* de energia primária

PIB - Produto interno bruto

PM – Partículas materiais

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SO_x – Óxidos de enxofre

SO₂ – Dióxido de enxofre

SCE – Sistema de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior de Edifícios

SETAC – Sociedade para a Toxicologia Ambiental e Química

UE – União Europeia

m² – Metro quadrado

kg - Quilograma

J - Joule

1

APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

1.1. INTRODUÇÃO

O tema deste trabalho está relacionado com o conceito do desenvolvimento sustentável aplicado à construção, particularmente ao nível dos materiais de construção, constituintes importantes de qualquer objecto de construção. A análise apresentada pretende ser uma abordagem integrada das preocupações de sustentabilidade especialmente ao nível energético e ambiental, através dos materiais incorporados nos edifícios.

1.2. OBJECTIVOS

O objectivo deste trabalho é a apresentação do enquadramento da construção no conceito de sustentabilidade e quais os motivos pelos quais esta actividade tem um peso tão significativo no mesmo. Pretende-se com a revisão de literatura realizada, sintetizar e expor as principais ideias a reter no domínio, tanto da sustentabilidade, como da construção sustentável.

Deste modo, propõe-se uma maior clareza de ideias acerca de um tema relativamente recente a esta indústria, nos quais vários passos estão a ser dados, e onde a informação não é ainda tão clara e unânime quanto seria desejável, especialmente com a demagogia e fundamentalismos predominantes no domínio dos assuntos relacionados com o ambiente.

Com base no ciclo de vida dos materiais e numa perspectiva de pensar um modo de incorporar as preocupações de sustentabilidade no âmbito do projecto, definir-se-ão, com base na informação de impacte ambiental dos produtos, preocupações que os projectistas devem evidenciar nos cadernos de encargos e demais documentos do projecto, ou seja, numa memória descritiva de preocupações de sustentabilidade, e que o construtor também deve cumprir.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 1 constitui a apresentação do trabalho e dos objectivos a que o mesmo se propõe dentro do contexto temático em que estes se inserem.

No Capítulo 2 é apresentada a relação do Homem com o meio ambiente, com especial enfoque nas questões dos impactes ambientais que os consumos de recursos têm, tanto na Natureza, como na sociedade, assim como na prosperidade económica e social. É feita uma descrição dos principais

problemas ambientais que afectam a sociedade e consequências directas e potenciais dos mesmos. Na mesma linha de raciocínio é apresentado o conceito de Desenvolvimento Sustentável, com uma apresentação das ideias dominantes acerca do mesmo e implicações que a procura do seu alcance terá no modo de funcionamento das sociedades.

O Capítulo 3 pretende concretizar a abordagem da sustentabilidade ao sector da construção, através de uma exposição dos impactes da indústria da construção no ambiente e na sociedade, focando a noção de que os impactes e efeitos do sector se repercutem ao longo de todo o ciclo de vida do edificado. É apresentado o conceito de Construção Sustentável, conceito este que visa a aplicação dos princípios de Desenvolvimento Sustentável no âmbito da construção, e da missão que os agentes desta indústria têm para a sua concretização. É feita uma apresentação e descrição sumária dos sistemas existentes para a avaliação da sustentabilidade dos empreendimentos.

No Capítulo 4 é feita uma abordagem centrada nas questões de energia nos edifícios, com enfoque nos materiais e componentes que destes são parte. É feita uma exposição discriminada das categorias de utilização de energia nos edifícios e nos materiais ao longo dos seus ciclos de vida. São apresentadas as abordagens de estudo do ciclo de vida dos materiais e edifícios, com especial enfoque nos materiais e na sua Análise de Ciclo de Vida, que constitui a ferramenta mais difundida de avaliação dos impactes ambientais de um dado produto, de acordo com o âmbito normativo internacional (ISO 14 000).

São também abordados aspectos como a durabilidade e os ciclos de manutenção dos materiais nos edifícios. O capítulo pretende através da informação exposta, seguir a linha das preocupações de sustentabilidade, promovendo uma abordagem mais concreta, expondo informação acerca das áreas de actuação preponderantes, nas quais os intervenientes no processo da construção poderão concentrar esforços com maior sucesso e produzir efeitos com maior escala e importância.

O Capítulo 5, usando o conceito discutido no capítulo anterior sobre Análise de Ciclo de vida, tem por objectivo mostrar a sua aplicação nas etiquetas ambientais existentes para os materiais. O capítulo começa pela exposição do conceito de etiqueta ambiental, nomeadamente as preconizadas nas normas ISO, das quais as etiquetas de Tipo III serão as aplicadas aos produtos de construção. Com o intuito de demonstração da sua aplicabilidade, é exposto um caso de estudo de ACV de um produto, que visou ser aplicado num modelo de declaração ambiental de produto. Como complemento, e dado que o estudo de caso constitui um exemplo elaborado por autores no âmbito académico, é descrito sumariamente um caso real de uma ficha de declaração ambiental de um produto aplicável na construção, cujo documento total se apresentará no Anexo I.

No Capítulo 6 pretende-se apresentar de modo conceptual, de que modo as questões de sustentabilidade poderão ser aplicadas aos materiais/componentes de construção. Pretendeu-se mostrar de que modo pode ser usada a informação proveniente das Declarações Ambientais de Produto na escolha entre materiais para um edifício.

O objectivo do capítulo é incentivar a incorporação de memórias descritivas de sustentabilidade nos projectos, assim como enquadrar o modo como a entidade executante da obra deverá proceder para a sua aplicação.

No Capítulo 7 são expostas as considerações e observações finais.

2

O HOMEM, O DESENVOLVIMENTO E O AMBIENTE

2.1. INTRODUÇÃO

As actividades do Ser Humano exigem o consumo de materiais e energia, i.e. recursos naturais, que são fundamentais para a sua sobrevivência e subsistência [1, 2]. A construção, actividade humana desde há muitos séculos, constitui actualmente um dos maiores consumidores de recursos, requerendo grandes *inputs* de energia, de materiais e solo [2].

O desenvolvimento, que pode ser entendido como a alteração da biosfera¹ para satisfazer as necessidades humanas, implica portanto a necessidade de materiais, quer para efeitos construtivos, alimentares, de energia para transporte, água para abastecimento e espaço para o fornecimento de bens e serviços. Existe, deste modo, uma intervenção física sobre o meio ambiente que provoca pressões sobre materiais, energia, água e território, com impactes no ambiente natural e no já construído [1, 2].

Estas pressões, resultantes dos consumos, são geradoras de grandes quantidades de desperdícios e poluição. Os desperdícios, por sua vez, são catalisadores de um aumento de consumo de recursos, enquanto que a poluição se acumula nos ambientes em que se insere, reduzindo a sua salubridade e consequentemente a sua capacidade de a assimilar [2].

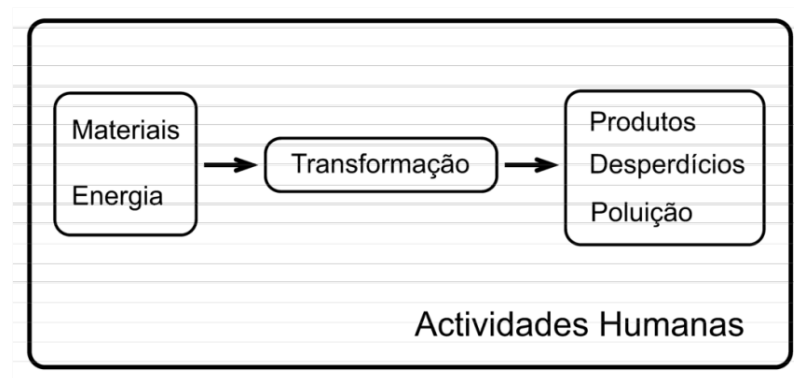


Figura 1 – Fluxo simplificado das actividades humanas.

2.2. CRESCIMENTO POPULACIONAL

O acelerado crescimento populacional e o contínuo esforço no sentido do desenvolvimento, associados ao aumento do nível de vida e a uma capacidade cada vez maior de mobilização de recursos, potencia o crescimento dos impactes ambientais [1].

¹ Conjunto de todos os ecossistemas da Terra.

As projecções das Nações Unidas para a variação da população mundial previam um crescimento de 6.1 biliões para 8.9 biliões entre os anos 2000 e 2050, perfazendo a projecção um crescimento de 47% [3].

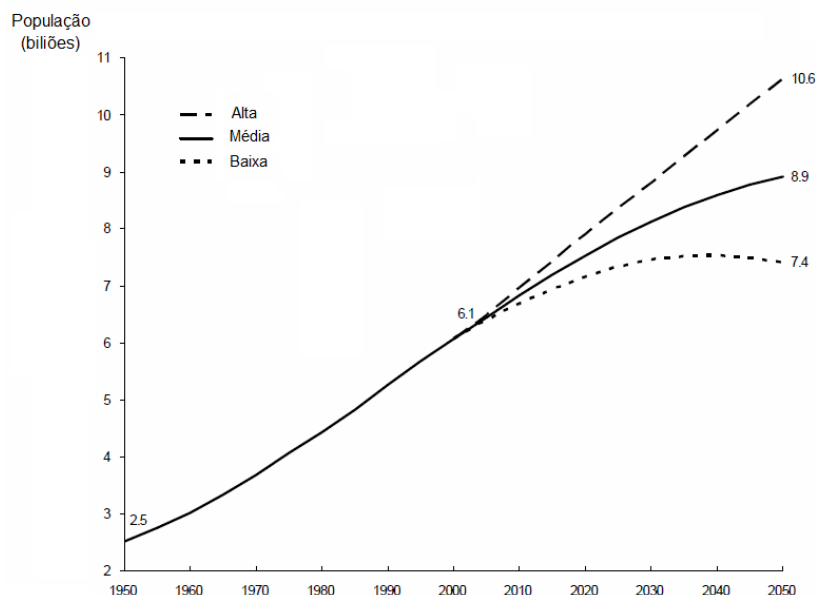


Figura 2 - Estimativa da população mundial, 1950-2000, e projecções: 2000-2050, adaptado de [3].

A satisfação das necessidades humanas quer básicas (alimentação, água potável, cuidados de saúde), ou não básicas (educação, lazer, ambiente sadio, etc), podem provocar às mesmas problemas ambientais cuja gravidade é importante avaliar [1], sendo que no mundo ocidental a Humanidade está claramente bem sucedida na satisfação das suas necessidades básicas, embora uma parte muito significativa do mundo dificilmente partilhe do mesmo sucesso [4].

A ascensão económica de países em vias de desenvolvimento, onde parcelas significativas da população têm saído da pobreza extrema ou mesmo ascendido à classe média, e o desafio de combater a fome, apresenta um cenário de aceleração de consumo de recursos claramente perceptível. Consequentemente, existe uma necessidade de um aumento massivo do consumo de energia primária², tão necessária à subsistência das suas populações [5, 6]. A escassez de alguns recursos, especialmente ao nível local, coloca à Humanidade o desafio de ‘fazer mais com menos’ [2].

2.3. CONSUMO DE RECURSOS

2.3.1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de matérias-primas é um factor crítico no desenvolvimento e prosperidade verificados nos países ditos desenvolvidos, pois foi através da exploração desses materiais que a prosperidade industrial se tornou possível. As leis de mercado mostram que a diminuição de disponibilidade de recursos necessários (escassez), tornam um bem mais caro, sabendo-se também que a disponibilidade permanente de recursos não é garantida [4]. Apenas cerca de 18% da superfície

² Energia existente nas matérias-primas antes de qualquer transformação por parte do homem.

terrestre é terra produtiva, apontando-se 2% dos mesmos para o ambiente construído [2], o que deve ser um factor de ponderação do modo como estas parcelas são geridas.

Entre os consumidores de energia, a indústria da construção é um consumidor gigante. O uso da energia está dividido entre a produção, distribuição e uso dos materiais de construção [7].

No sentido de compreender a relação do Homem com o planeta, expõe-se de seguida o conceito de Pegada Ecológica, por ser um conceito muito difundido e de fácil compreensão.

A Pegada Ecológica mede a quantidade de terra produtiva biológica e de água (em área) necessárias para suportar as necessidades de uma população ou actividade produtiva, sendo que as actividades produzem desperdícios que são absorvidos por estas áreas do planeta. Nesta análise, o espaço físico é pesado de acordo com a sua capacidade produtiva relativa, expressa em hectares globais [2, 8].

Esta abordagem de conversão das necessidades de actividades em áreas espaciais exige uma multiplicidade de dados e mecanismos de conversão. Esses aspectos devem ser ponderados na análise das suas conclusões, atendendo às dificuldades de conversão, e às necessidades de dispor de dados fiáveis, que nem sempre existem. Apesar da crítica que se pode efectuar quanto à exactidão e fiabilidade destes métodos, este conceito é aqui apresentado no sentido de provocar a compreensão da tendência do consumo face à procura de um maior equilíbrio entre o ambiente e a actividade humana [1].

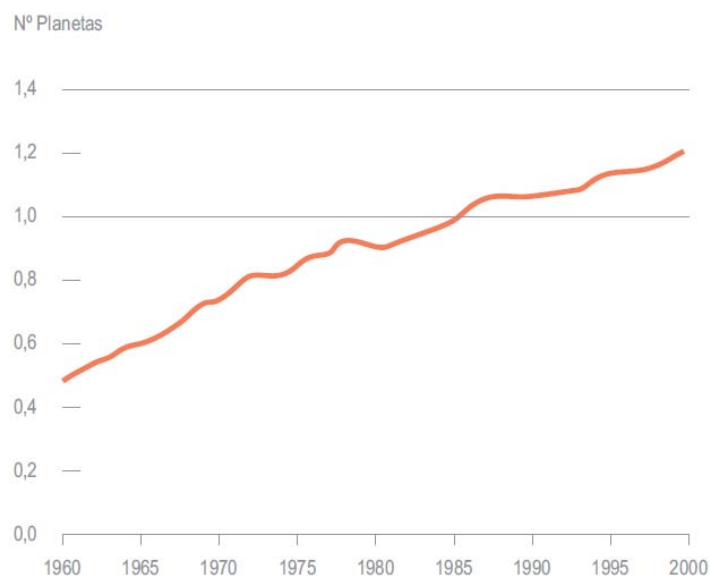


Figura 3 - Evolução da pegada ecológica da Humanidade [1, 9].³

À luz do conceito exposto, pelo gráfico da Figura 3, pode concluir-se que o ritmo de consumo verificado no horizonte temporal exposto, suplanta a capacidade regenerativa do planeta (de acordo com a quantidade em área de terra e água biologicamente produtivas), sendo que a variável apresentada no eixo das ordenadas representa essa mesma área para o planeta Terra.

³ Os valores da pegada ecológica apresentados representam estimativas, dependendo estes dos dados utilizados, da sua fiabilidade e dos factores de conversão da pressão das actividades utilizados.

Segundo o World Resources Institute, em 1992, a acumulação de efeitos resultantes dos padrões de desenvolvimento da humanidade estaria a degradar a base de recursos do planeta, destacando-se três áreas [2, 10]:

- erosão do solo, com redução da capacidade de produção de alimentos;
- destruição de florestas e zonas selvagens, com consequente perda de biodiversidade e degradação das bacias hidrográficas;
- acumulação de poluentes e gases de efeito de estufa na atmosfera, degradando solos, vegetação e a saúde humana, e ainda o contributo antropogénico para o aquecimento global e subsequentes alterações climáticas.

2.3.2. ENERGIA

A evolução do mundo sempre teve a si associada a energia, sendo que a sociedade não pode viver sem energia para o conjunto de actividades que desenvolve. As preocupações geopolíticas actuais têm patentes as questões relacionadas com a energia, desde a produção e transporte até ao consumo, segurança de abastecimento e o impacte ambiental. Sabe-se que [11]:

- 85% da energia consumida mundialmente é proveniente de combustíveis fósseis;
- 25% da população mundial não tem acesso à energia;
- cerca de 40% da energia é consumida em edifícios.

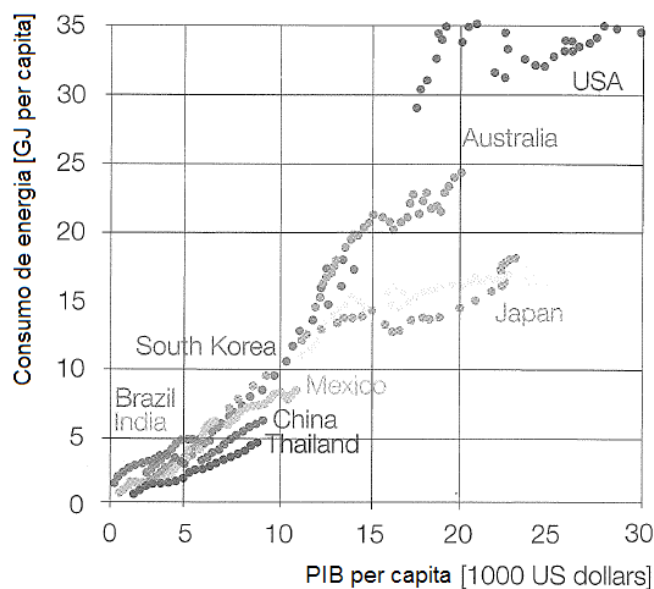


Figura 4 – ‘Escada da prosperidade’: Relação entre consumo de energia e PIB de diversos países entre 1970 e 1997, adaptado de [4].

O consumo de energia *per capita* mostra que à medida que uma economia agrícola muda para uma sociedade de consumo através da industrialização, o consumo energético aumenta ao mesmo ritmo. Durante este processo, como se pode observar pelo gráfico da Figura 4, existe alguma estabilização,

mas este facto está muito provavelmente relacionado com a troca de consumo energético de um país para outro [4].

As fontes de energia variam muito de país para país. Na Escandinávia, a energia hidroeléctrica e nuclear estão a diminuir. No Reino Unido e no Continente Europeu, as fontes principais são combustíveis fósseis e energia nuclear [7].

2.3.3. ÁGUA

Desde sempre que a dependência da água por parte das sociedades e das economias é incontornável, tendo o Homem efectuado esforços em moldar o ambiente às suas necessidades, apresentando-se este recurso precioso como base da pirâmide das suas necessidades, utilizado para fins que se estendem desde a satisfação de necessidades básicas de alimentação, às recreativas [6].

A principal fonte de água para utilização humana são os lagos e os rios, as disponibilidades hídricas no solo e os aquíferos subterrâneos superficiais, correspondendo a cerca de 200 000 km³, representando apenas 1% das águas doces, isto é 0,01% do total de água na Terra. Em muitos casos a localização da água está afastada da população, o que dificulta a sua utilização [1].

A respeito do consumo de água, no mundo desenvolvido, enquanto cada pessoa consome entre 7 a 100 toneladas de água em casa para beber, cozinhar, lavar e outros propósitos, entre 1000 a 2000 toneladas de água são necessárias para produzir os bens alimentares [6]. Na indústria, a água é normalmente utilizada em processos secundários, por exemplo, como líquido de arrefecimento, sendo depois devolvida à natureza, poluída e com um conteúdo de oxigénio mais baixo [7].

Em anos recentes, áreas significantes do continente Europeu experimentaram perturbações nas suas águas subterrâneas, incluindo propagação de poluição nas mesmas [7]. No ano 2000, o IWMI⁴ previa que em 2025 cerca de 78% da população mundial viverá em locais que sofrerão algum grau de escassez de água [6].

Deste modo, a incapacidade de gerir a água com sucesso, especialmente em períodos de seca, provoca morte e doenças em muitas populações, o que é importante evitar [6, 7].

Em suma, acerca deste recurso pode concluir-se que [6]:

- a água é um bem crítico para o desenvolvimento social e económico;
- em grande parte do mundo, a água e a terra arável são bens escassos;
- a gestão dos recursos hídricos necessita de grandes quantidades de capital, nomeadamente através de sistemas de armazenamento de água como barragens e sistemas de fornecimento de água às populações.

As políticas para o desenvolvimento e subsistência da população mundial devem ser fortemente motivadas para a gestão correcta deste recurso.

A qualidade da água é importante, não só para consumo, humano, mas para muitas actividades como por exemplo na produção de materiais de construção [7].

⁴ *International Water Management Institute*, Instituto Internacional de Gestão da Água.

2.4. ECONOMIA E O AMBIENTE

2.4.1. INTRODUÇÃO

Só recentemente a humanidade se apercebeu da relação de dependência entre a economia e o ambiente. No mundo desenvolvido, está-se inclusivamente a gastar dinheiro na correcção dos danos causados por erros ambientais intencionais ou acidentais passados [6].

Desta constatação, observa-se que o crescimento económico aparece associado a impactes ambientais, tanto ao nível de consumo de recursos, como de emissão de resíduos e substâncias poluentes para a atmosfera [1, 5, 12].

As economias modernas, na dependência de grandes quantidades de energia provenientes de combustíveis fósseis e electricidade, geram interferências nos fluxos de materiais e energia da natureza. A análise dos níveis de consumo que essas actividades implicam, com a avaliação da necessidade anual de materiais, água, energia, renovação de recursos, pressão produzida sobre o território e capacidade de suporte do planeta para essas actividades, apresentam-se como questões determinantes para perspectivar o desenvolvimento da humanidade. Deve existir também a consciência de que a relação entre o uso de energia e crescimento económico não é simples, sendo complexa e dinâmica ao mesmo tempo. Deste modo, a tarefa de inferir quais os padrões de consumo de energia ideais de uma sociedade não é fácil [1, 5, 12].

Como parte integrante das economias dos países, o consumo de bens e serviços implica o fluxo de materiais consumidos, que varia em função da sua tipologia. A areia, a brita e água, materiais usados vulgarmente na construção, encontram-se entre os fluxos mais preponderantes, embora o seu impacto por tonelada movimentada seja superado pelos metais pesados, pesticidas e químicos perigosos, que originam maiores impactes unitários [1].

2.4.2. OS PROBLEMAS AMBIENTAIS

Os impactes ambientais provenientes da produção, transporte, transformação e da combustão de carvão e hidrocarbonetos, geração de energia nuclear e hídrica, podem provocar diversos efeitos ambientais, derivados tanto de acidentes como de acumulação de impactes, destacando-se deste último a acidificação ou eutrofização dos ecossistemas. As emissões atmosféricas, quer pontuais (por exemplo uma central de betão), quer difusas (por exemplo a criação de uma zona de solo descoberta que origina poeiras), levam à libertação de poluentes no ar e, desta forma, da qualidade deste em termos locais e regionais [1, 5].

Nos países industrializados, as populações têm contacto diário com poluição, que se reflecte em irritações oculares, corrosão de monumentos, poluição de rios e lagos, cancros e alergias galopantes. Ar puro e água limpa são recursos muito limitados em muitos locais, especialmente em áreas densamente industrializadas [7].

Consoante o tipo de actividades e suas intensidades, os respectivos impactes ambientais ocorrem portanto a escalas distintas [1]:

- local (p.e., actividades construtivas e ruído);
- regional (p.e., salinização devido ao consumo excessivo dos aquíferos);
- nacional (p.e., escassez de água);
- mundial (p.e., emissão de gases de efeito de estufa).

De seguida, procura-se sintetizar os principais impactes ambientais possíveis decorrentes das actividades humanas no planeta, das quais a construção representa parte significativa:

- eutrofização;
- acidificação;
- poluição atmosférica;
- ilhas de calor urbanas;
- poluição do ar interior;
- destruição da camada de ozono;
- alterações climáticas.

2.4.2.1. Eutrofização

A eutrofização é um fenómeno provocado pelo aumento de nutrientes químicos (compostos de azoto e fósforo) num ecossistema (elementos que contem azoto ou fósforo) por causas naturais ou artificiais, podendo ocorrer no solo ou em meios aquáticos, causando mudanças indesejáveis na sua composição. Os seus efeitos envolvem redução de biodiversidade, com invasão e predominância de algumas espécies, originando o fenómeno de delapidação química de oxigénio e toxicidade [13].

Um exemplo dos efeitos deste fenómeno é a perda de espécies de peixe, um recurso alimentar para as populações [13].

Na indústria da construção, a emissão de azoto mais crítica é sob a forma de NO_x (óxidos de azoto) resultante dos processos de combustão [7].

2.4.2.2. Acidificação

A acidificação é, por sua vez, um processo de perda de nutrientes (cálcio, magnésio e potássio) e sua substituição por elementos ácidos (hidrogénio e alumínio), reduzindo as taxas de sobrevivência de uma série de organismos [7]. A sua origem pode ser natural ou antropogénica (devido a emissões de sulfatos e azoto), com efeitos adversos sobre a capacidade de neutralização dos solos, sobre a água, a fauna e a flora [14].

A combustão de combustíveis fósseis é apontada como a principal fonte de produção e emissão antropogénica de SO_x (óxidos de enxofre) e NO_x (óxidos de azoto), formados por oxidação e responsáveis pelo fenómeno das chuvas ácidas, que têm consequências para a saúde do ser humano pela exposição a metais tóxicos através das cadeias alimentares, provocando também a deterioração de monumentos [5].

Nos oceanos, o fenómeno de acidificação está relacionado com a diminuição do seu pH, provocado pela absorção do CO_2 antropogénico. É referido por alguns autores que este fenómeno será negativo para algumas espécies marinhas como corais, e certos tipos de algas. No entanto, autores também defendem que existem benefícios devido ao aumento de CO_2 no oceano, tendo este capacidade para absorvê-lo, funcionando como repositório de carbono⁵ [14].

⁵ Do inglês, *carbon sink*.

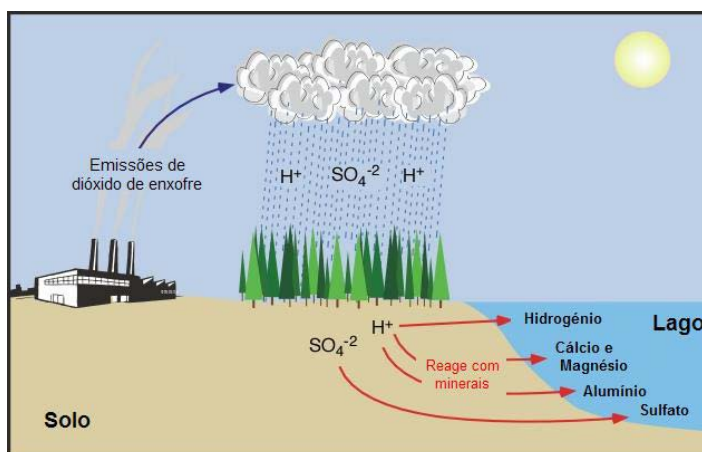


Figura 5 – Acidificação, adaptado de [15].

No que respeita à construção, os SO_x são subprodutos da produção de aço, cobre, tijolos cerâmicos e cimento. A indústria da construção é também responsável pela emissão de NO_x através da energia de combustíveis fósseis incorporada nos materiais de construção e energia utilizada durante a construção [2].

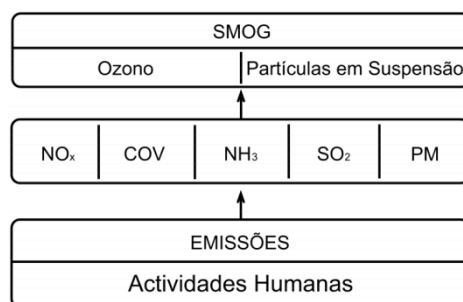
2.4.2.3. Poluição Atmosférica

A poluição atmosférica a nível local deve-se principalmente à formação de ozono troposférico (*smog*) e partículas em suspensão.

As partículas em suspensão (poeira) são libertadas durante a extracção de materiais de construção, processos industriais e pela combustão incompleta de combustíveis sólidos e petróleo. Esta pode ser quimicamente neutra ou transportadora de venenos ambientais [7].

Ao nível local ou regional, a combustão de carvão e hidrocarbonetos pode provocar *smog* e *smog fotoquímico*. O *smog clássico* resulta de uma mistura de fumo e dióxido de enxofre originada pela combustão elevada de carvão numa dada área. O *smog fotoquímico*, um problema da industrialização moderna, resulta da reacção química entre a luz dos raios solares, NO_x (óxidos de azoto) e COV (compostos orgânicos voláteis) na atmosfera, originando partículas em suspensão e ozono troposférico que é um oxidante agressivo [5, 16].

A expansão das megacidades, associada aos aumentos de tráfego aéreo e rodoviário entre as mesmas está a criar graves problemas regionais de *smog fotoquímico* [5].

Figura 6 – Esquema de formação do *smog*⁶, adaptado de [17].

⁶ COV designa Compostos Orgânicos Voláteis. PM designa Partículas em Suspensão, do inglês, *Particulate Matter*.

O ar contendo *smog* pode ser nocivo para a saúde ao conter elevadas quantidades de ozono. Entre os seus efeitos negativos estão a redução de visibilidade, o aumento da frequência de doenças respiratórias e, nos casos mais graves, doenças crónicas pulmonares e cardiovasculares [5, 18].



Figura 7 – *Smog* em Pequim [19].

2.4.2.4. Destruição da camada de ozono

A emissão de CFC (clorofluorcarbonetos) devido a actividades humanas, tem o efeito de contribuir para a destruição da camada de ozono estratosférico terrestre. A libertação destes gases causa um aumento na radiação solar ultravioleta que atravessa esta camada, com consequentes efeitos adversos na saúde humana, especialmente na pele, com aumento do risco de incidência de cancro de pele para o ser humano [20]. Os CFC's compreendem uma vasta gama de produtos utilizados na refrigeração comercial e industrial, sistemas de ar condicionado fixo e móvel, fabricação de espumas, aerossóis, dissolventes, sistemas de protecção contra incêndio, entre outros [21].

2.4.2.5. Ilhas de calor urbanas

O fenómeno das ilhas de calor urbanas deve a sua denominação ao facto de uma área metropolitana ser mais quente do que as zonas rurais circundantes. A diferença de temperatura é geralmente mais pronunciada no período nocturno e no Inverno, sendo mais notório quando os ventos são fracos [22, 23].

A principal causa atribuída a este fenómeno é a modificação da superfície do solo pelo processo de urbanização, sendo o desperdício de calor pelo consumo de energia nas cidades um outro factor responsável. A expansão das áreas urbanas tem como efeito o aumento das temperaturas médias, que no entanto não deverão ser confundidos com um aumento na temperatura global [24].

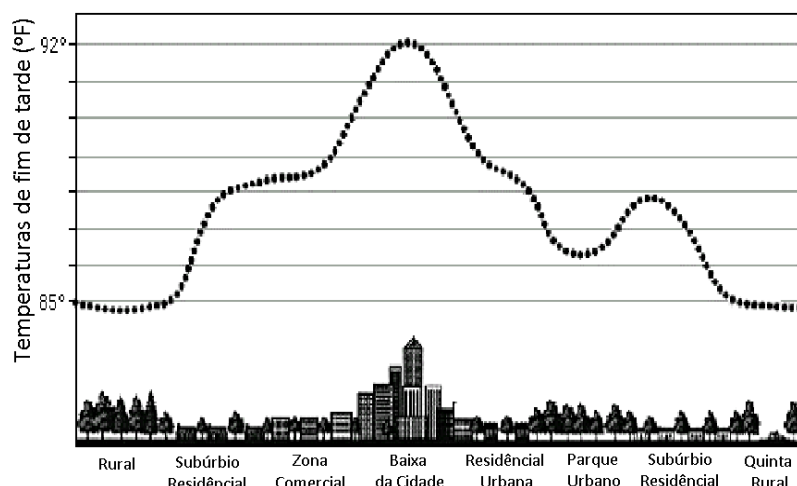


Figura 8 - Esboço da observação do fenômeno das ilhas de calor urbano, adaptado de [19]⁷.

Entre as causas destes aumentos de temperatura estão [18, 23]:

- mudanças nas propriedades térmicas da superfície terrestre devido aos materiais que são introduzidos com a urbanização (por exemplo betão e betume asfáltico);
- a falta de evapotranspiração, com a escassez de vegetação nas zonas urbanas, o que condiciona o arrefecimento;
- os edifícios altos, que proporcionam múltiplas superfícies para a reflexão e absorção da radiação solar, aumentando a eficiência do aquecimento das zonas urbanas. Os edifícios também bloqueiam o vento, inibindo o arrefecimento por convecção;
- o calor desperdiçado pelos automóveis, ar condicionado, indústria e outras fontes, conjugado com a poluição também emitida provocam alterações nas propriedades radiativas da atmosfera.

Deste modo, o balanço energético da área urbana é alterado, induzindo um frequente diferencial de temperaturas entre zonas urbanas e arredores.

As ilhas de calor têm como efeitos para a comunidade um aumento das necessidades de energia para arrefecimento no verão, com poluição atmosférica e a emissão de gases de efeito de estufa, assim como doenças relacionadas com o calor, aumentando a mortalidade e afectando a qualidade da água [22]. Por outro lado poder-se-á igualmente inferir que existirá poupança em aquecimento no inverno e diminuição de doenças relacionadas com o frio.

2.4.2.6. Poluição do Ar Interior

A poluição do ar interior⁸ também é responsável por problemas de saúde relacionados com partículas em suspensão e cancerígenas que não existem apenas nos materiais utilizados na construção do mundo moderno. Em áreas rurais de países pobres, onde a combustão de biomassa ineficiente ocorre em compartimentos mal ventilados, existem altos riscos de doenças respiratórias crónicas. A má qualidade do ar em edifícios modernos com sistemas de ventilação mecânica deficiente também é um fenómeno frequente [5, 7].

⁷ 85°F = 29,4 °C ; 92°F = 33,3° C.

⁸ Do Inglês, *indoor pollution*.

Os materiais de construção contribuem para a poluição radioactiva, quando durante o seu uso, podem emitir pequenas quantidades de radão. Materiais com boa condutibilidade fortalecem os campos magnéticos de baixa frequência nos edifícios, podendo aumentar os riscos de cancro nos humanos entre outras doenças [7]. O nível de toxicidade dos materiais pode diferir ao longo do seu ciclo de vida [2].

2.4.2.7. Alterações Climáticas

O problema das alterações climáticas e das consequências das mesmas são actualmente motivo de preocupação à escala mundial, tendo este tema sido abraçado pela comunidade internacional, tanto ao nível científico, como do poder político. Consequentemente, os cidadãos são alvo de campanhas de sensibilização em todo mundo, tanto por movimentos ambientalistas como pela comunicação social de massas.

Existe a noção de que na comunidade científica há um consenso em torno de uma actual tendência para o aquecimento global do planeta, sendo os financiamentos para a investigação nesta área elevados.

As alterações provocadas pela emissão de CO₂ e outros gases de efeito de estufa são apontados como responsáveis pelo aquecimento do planeta [5]. No entanto, o alegado consenso sobre a hipótese do aquecimento global antropogénico não existe [25]. Este tema tem sido debatido intensamente nos últimos tempos, com a realização de conferências e debates, existindo apesar de tudo pouca cobertura mediática e atenção do poder político nestes debates. Vários cientistas e outros cépticos da teoria do aquecimento global antropogénico queixam-se da polarização da questão [25].

Neste trabalho, procura-se expor as duas hipóteses/correntes que existem no mundo científico das ciências climáticas, dada a importância que este tema tem, especialmente para a possibilidade da alteração dos modos de vida das populações devido aos efeitos do clima e aos avultados investimentos por parte dos estados relacionados com esta matéria.

Sendo a indústria da construção um dos responsáveis por efeitos adversos sobre o clima e um instrumento fulcral na adaptação do ser humano às alterações do mesmo, entendeu-se ser importante expor sumariamente as duas teorias vigentes no mundo científico do clima a respeito do aquecimento global.

A pesquisa realizada conduziu à distinção de duas correntes de pensamento científico que mais têm sido objecto de discussão:

- a hipótese do aquecimento global antropogénico;
- a hipótese do aquecimento global por causas naturais.

I. Aquecimento Global Antropogénico

Segundo esta corrente, o aquecimento global é geralmente definido como um resultado das actividades humanas com impacto sobre o clima, que se deve à combustão de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) e desflorestação em grande escala. Estas actividades causam emissões de grandes quantidades de gases de efeito de estufa para a atmosfera, dos quais o mais importante é o CO₂ e provocam a redução dos repositórios de carbono [26].

Os gases de efeito de estufa amplificam o efeito de estufa natural, absorvendo a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, actuando como coberturas que a mantêm mais quente comparativamente a um cenário de ausência de emissões antropogénicas dos mesmos. Deste fenómeno advêm alterações no clima terrestre, que antes da actividade humana se ter tornado um distúrbio significativo tinha trocas entre reservatórios de carbono de modo constante. Alterações bruscas no clima, quer naturais quer provocadas pelo homem, são susceptíveis de criar conflitos especialmente devido a recursos escassos [26].

Entre as consequências apontadas pelos defensores desta teoria estão [24, 26]:

- ondas de calor mais frequentes;
- maior pluviosidade;
- aumento na intensidade e frequência de eventos climáticos extremos;
- aumento do nível das águas do mar (com as projecções mais extremas em 90 cm até 2100);
- mudança nos padrões das colheitas;
- perda de biodiversidade;
- deterioração da disponibilidade de água;
- proliferação de doenças devido a insectos;
- maior número de mortes por doenças relacionadas com o “calor”.

Os gases de efeito de estufa são o vapor de água, dióxido de carbono, ozono, metano e o óxido nítrico [26].



Figura 9 – Ilustração do efeito de estufa, adaptado de [27].

A quantidade de vapor de água na atmosfera não é directamente influenciada pela actividade humana. No entanto, o caso do dióxido de carbono e dos restantes gases é referido como diferente, sendo o CO₂ tido como o gás de efeito de estufa mais importante, tendo sofrido um aumento em cerca de 30% após a revolução industrial e devido à desflorestação intensiva. O aumento de concentração de CO₂ na atmosfera estará a aquecer a superfície terrestre devido à sua amplificação do efeito de estufa [26].

Esforços tem sido feitos com o objectivo de quantificar e controlar as emissões dos gases de efeito de estufa.

Devido ao diferente tempo de vida de cada gás na atmosfera, a previsão da sua influência no aquecimento global não é simples. Acresce ainda o facto das suas concentrações na atmosfera e capacidade de interferência na mesma não depender directamente da sua alta ou baixa concentração [26].

Neste sentido, foi definido um índice denominado de GWP⁹, potencial de aquecimento global, que representa a medida da contribuição de uma dada massa (normalmente 1 kg) de um gás de efeito de estufa para o aquecimento global durante um dado intervalo de tempo, através de uma escala comparativa. A comparação é feita em relação ao CO₂, sendo necessário especificar um horizonte temporal para o período durante o qual a integração é levada a cabo. Deste modo, a aplicação do GWP a uma mistura de gases de efeito de estufa permite que a mesma seja tomada em termos de uma quantidade equivalente de CO₂ [26].

Este índice é importante, pois poderá constituir um dos parâmetros de avaliação da sustentabilidade dos projectos de obras que será objecto deste trabalho.

A ONU criou um painel internacional no âmbito das alterações climáticas que realizou diversos estudos a suportar esta teoria, o IPCC¹⁰.

II. Aquecimento Global por causas naturais

Os apologistas desta hipótese afirmam que não existem provas de peso para uma inferência acerca do aquecimento global verificado nas últimas décadas ser potenciado por emissões antropogénicas, e que as provas mais evidentes são indicadores claros que as causas do aquecimento são naturais. [25, 28]

O actual aquecimento é referido como primordialmente de origem natural e não antropogénico, sendo que o século vinte não é a nível climático invulgar, tendo períodos de aquecimento de maior magnitude, fenómeno já ocorrido no passado sem consequências catastróficas [28].

São apontados à teoria antropogénica uma série de falhas, que se procurou resumir de seguida [28]:

- os modelos computacionais não são fiáveis nas previsões das condições climáticas futuras;
- o aumento do nível das águas do mar não é significativamente afectado pelo aumento dos gases de efeito de estufa, não existindo uma correlação entre este fenómeno e o aumento dos gases de efeito de estufa na atmosfera;
- os dados referentes às temperaturas no oceano têm sido mal utilizados para inferir um aquecimento antropogénico;
- concentrações mais elevadas de gases de efeito de estufa serão provavelmente benéficas para a vida humana, animal e vegetal do que concentrações mais baixas através de:
 - o redução da mortalidade e morbidez no Inverno várias vezes superior à mortalidade provocada por temperaturas mais elevadas no Verão;
 - o benefícios de estações de colheita mais longas em climas temperados favorecem a agricultura e indústria florestais, suplantando-se as perdas para a indústria energética ou danos a estruturas costeiras;
 - o facturas de aquecimento mais baixas e custos de construção mais baixos.

A nossa compreensão limitada das causas e consequências das alterações climáticas indicam-nos que a ciência das alterações climáticas está longe de estar definida. Assim sendo, chama-se a atenção para a

⁹ Do inglês, *Global Warming Potential*.

¹⁰ *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

possibilidade de os esforços para a mitigação das alterações climáticas pela redução das emissões de CO₂ serem prematuros e mal conduzidos. Afirma-se que qualquer tentativa de influenciar as temperaturas globais pelas reduções de emissões, serão fúteis e custosas, com consequências para a economia dos países desenvolvidos e especialmente dos países em desenvolvimento [28].

É defendido por esta corrente, que a actividade solar é responsável pelo aquecimento e arrefecimento do planeta ao longo das décadas, visto que interfere com a nebulosidade atmosférica [28].

A variação na radiação solar, da distância do Sol ao planeta Terra e do número de manchas solares¹¹, são os principais responsáveis pelas alterações da temperatura no planeta Terra e durante o último século, o número de manchas solares aumentou ao mesmo tempo que o clima terrestre se tornou mais quente [25, 28].

O número de manchas solares e duração dos ciclos solares é o fenómeno referido como principal indicador da actividade magnética do sol, e portanto da sua emissão de raios cósmicos, que influenciam o campo magnético terrestre e a formação de nuvens na terra, e consequentemente o aquecimento ou arrefecimento do planeta [28-30].

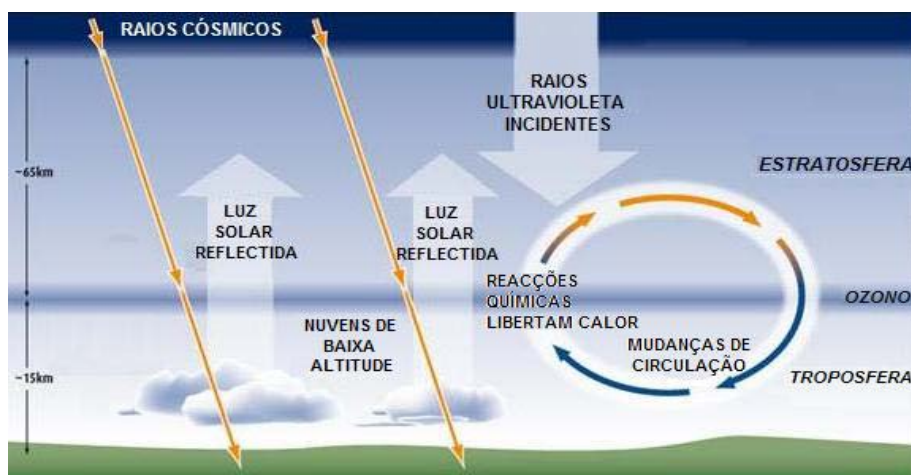


Figura 10 - Influência do sol no clima, adaptado de [31].

Estas questões das alterações climáticas, como se pode constatar pela sintética exposição feita neste trabalho, não são consensuais, existindo fortes interesses políticos e económicos relacionados com as mesmas, qualquer que seja a posição em análise. Devido a estes factos, a tarefa de discussão e debate é visivelmente mais complexa devida não só aos interesses já referidos, mas também à atitude fundamentalista de vários agentes pró e contra a teoria do aquecimento global antropogénico, existindo por isso quem afirme que:

“É uma vergonha para a ciência que o exagero publicitário tenha substituído a razão no debate global acerca de um assunto tão importante.”¹² [28]

¹¹ Região na superfície do sol caracterizada por uma intensa actividade magnética que inibe a convecção, formado zonas de temperatura superficial reduzida.

¹² “It is an embarrassment to science that hype has replaced reason in the global debate over so important an issue.” [28]

2.5. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

2.5.1. INTRODUÇÃO

As problemáticas expostas, desde os problemas de disponibilidade de recursos e impactes ambientais do Homem sobre o planeta, colocam o desafio de um desenvolvimento sustentável.

A definição de sustentabilidade é essencialmente filosófica e política, podendo de um modo simples este conceito ser entendido como um desenvolvimento em que a sociedade tem preocupações com as necessidades das gerações futuras [4].

Neste conceito predominam duas ideias principais que serão desenvolvidas e discutidas sucintamente neste trabalho [1]:

- a da preservação dos recursos existentes;
- a da necessidade de programar o rumo da sociedade, conciliando esse aspecto com uma abordagem integrada dos problemas.

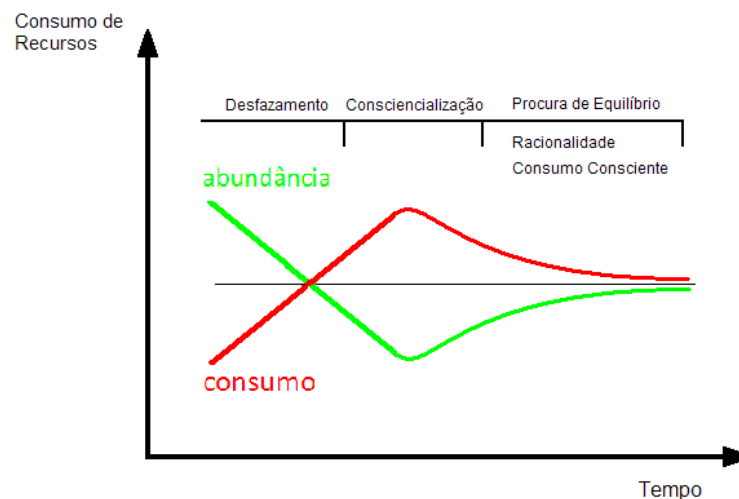


Figura 11 – Tendências de consumo, abundância, e a procura de equilíbrio no consumo de recursos.

O conceito de desenvolvimento sustentável assume as formas que actualmente conhecemos no final da década de 80, através do Relatório *Brundtland* (1987), que foca a importância de deixar condições de habitabilidade do planeta às próximas gerações, procurando-se portanto "um desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras darem resposta às suas" [1, 2, 32].

Enquanto o conceito de sustentabilidade dos finais dos anos 70 assentava essencialmente numa abordagem economicista de sustentação da sociedade, o relatório de *Brundtland* veio acrescentar o peso e importância das questões ambientais. Assim, um dos objectivos do desenvolvimento sustentável, é actualmente, a integração de medidas de defesa do ambiente na política económica [1].

Desde a percepção dos problemas ambientais de escala planetária nos anos 80, como a degradação da camada do ozono estratosférico e chuvas ácidas, tem existido uma maior preocupação e consciencialização da relação do homem com o planeta, tanto ao nível da repercussão dos actos como ao nível dos processos. Fruto desta consciencialização foram tomadas medidas internacionais e locais de combate à poluição tais como as preconizadas no protocolo de *Kyoto* (1977). O princípio do poluidor-pagador adoptado nas medidas existentes e as que estão correntemente a ser formuladas e

aplicadas como a taxaçoão do CO_2 *equivalentes*, têm implicaçoões económicás importantes [1] e são objecto de discussão na esfera política e científica, que não serão aqui discutidas dado o carácter deste trabalho.

A evoluçoão do conceito de sustentabilidade, cuja definição é ainda objecto de várias explicaçoões, visões e debate, tem importância na medida em que provocou na sociedade uma consciencializaçoão e auto análise do comportamento do ser humano, existindo a consciência de que os impactes de uma determinada actividade resultam de todo um processo produtivo que envolve [1]:

- materiais;
- resíduos;
- emissões;
- tecnologias utilizadas.

Procura-se deste modo compatibilizar estes aspectos com o conceito de desenvolvimento sustentável [1].

Na abordagem pretendida neste trabalho, não se pretende fazer uma descriçoão exaustiva das definiçoões de sustentabilidade, com as suas metamorfoses em diferentes eventos de cariz político internacional, mas sim focar os aspectos mais relevantes da sustentabilidade e o que deste conceito é extrapolável para a construção, apresentando os princípios gerais do desenvolvimento sustentável.

2.5.2. A TRIPLA DIMENSÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O desenvolvimento sustentável envolve o ambiente, a sociedade e a economia, sendo que no ano de 1987 se deu a aprovaçoão do Acto Único Europeu, donde se destacam os seguintes princípios [1]:

- preservação, protecçoão e melhoramento da qualidade do ambiente;
- contribuiçoão para a protecçoão da saúde das populaçoões;
- utilizaçoão prudente e racional dos recursos naturais.

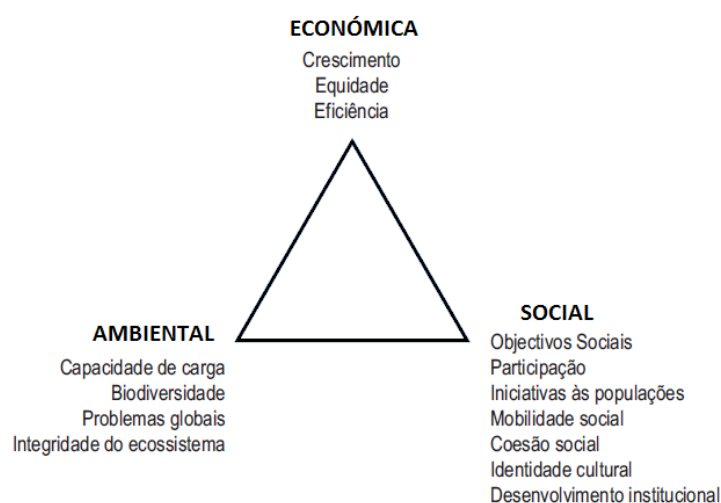


Figura 12 - Tripla dimensão da sustentabilidade, adaptado de [1].

Esta lógica assenta na convicção que todas as actividades humanas de produção têm impactes no ambiente, desde as primárias às altamente tecnológicas, preconizando o conceito de desenvolvimento sustentável uma visão para além do curto prazo, com a procura de um desenvolvimento com capacidade de se sustentar sem atingir pontos de ruptura, e portanto, com a consciência das implicações do modo como os recursos são usados no presente [1].

A motivação ambiental direcciona-se para a redução do consumo de recursos, da produção de resíduos e a preservação da função dos sistemas naturais e a sua biodiversidade. Um dos objectivos é que a taxa de consumo de energia, água e materiais seja passível de ser renovada, mantendo-se de forma indefinida e sem impactes ambientais significativos.

Uma base consiste em fomentar um esforço no sentido de evitar e reduzir os consumos de recursos materiais e energéticos e, subsequentemente, os seus efeitos. Reutilizar, reciclar e recuperar os componentes interessantes para outras utilizações, por uma hierarquia de preferências ambientais, é aconselhado [1].

Instituições internacionais subscrevem as ideias relatadas em publicações como *Limits to Growth* de Donella Meadows, entre as quais o Banco Mundial (financeira) e a ONU (política) que advogam que o uso dos recursos naturais é cada vez maior e mais agressivo, com a capacidade de regeneração do planeta a ser excedida.

Por outro lado existem publicações como *The Skeptical Environmentalist*, de Bjorn Lomborg, que chamam atenção para o facto do mundo em que vivemos ter conseguido no espaço de poucas gerações proporcionar condições de vida a mais pessoas do que em qualquer outra época da história e que o ritmo de consumo de recursos não será tão grande como é advogado. Este sublinha ainda necessidade da definição de prioridades em relação aos recursos, para enfrentar problemas reais, e não os imaginados¹³ [1, 33].

A discussão baseada em informação estatística tem originado vários litígios e não será abordada aqui.

Independentemente das discussões acerca do real estado da disponibilidade dos recursos, um ponto comum a destacar é que qualquer país tem todo o interesse em fazer uma gestão inteligente dos seus recursos e preservar o ambiente.

2.5.3. DIFERENTES PARADIGMAS, DIFERENTES PRIORIDADES

A viabilidade dos modos para atingir os fins preconizados do desenvolvimento sustentável, deve ser ponderada entre as diferentes comunidades e dependerá da situação de cada país.

Nesta linha de raciocínio, é interessante verificar que diferentes países definem prioridades distintas nas suas agendas de desenvolvimento sustentável, especialmente consoante o seu grau de desenvolvimento. Enquanto um país desenvolvido se pode concentrar na redução de emissões, um país em desenvolvimento concentrará mais esforço no sentido do desenvolvimento social e económico, sem dedicar tanta atenção a preocupações ambientais. Instituições como a ONU e o Banco Mundial possuem programas e estratégias para ajudar os últimos a integrar preocupações de sustentabilidade no seu desenvolvimento económico. Neste âmbito são feitas críticas da imposição de limites de emissão de GEE¹⁴, afirmando-se que países industrializados poderão ver o seu desenvolvimento truncado por

¹³ Lomborg critica a forma como muitas instituições usam evidências científicas de modo sectário e falacioso, alertando que alegadamente estão a tomar-se decisões erradas quanto ao uso de recursos limitados com base em informação incompleta e pouco exacta.

¹⁴ Gases de Efeito de Estufa.

leis internacionais de taxação da poluição, impedindo-os de usar os recursos naturais (especialmente os fósseis) que possuem e deste modo causando decréscimos significativos nos padrões de vida das populações destes países [1, 25].

2.5.4. REFLEXÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A definição de sustentabilidade, tendo o seu cariz filosófico e político, não deverá ser um indicador de bases inequívocas para a tomada de decisões, especialmente na compatibilidade de programas e tecnologias com os seus objectivos [1]. O bom senso deverá ser usado na medida em que os diferentes critérios são difíceis de atingir, devendo-se portanto adoptar uma atitude de obtenção de bons compromissos [11].

Deverá existir a consciência de que o desenvolvimento não é possível sem falhas, sendo que apenas repetindo o que funcionou no passado poderá não ser suficiente para que possamos evoluir [6].

Em [6], *Green* apresenta uma lista dos objectivos de uma análise económica que reflectem o que é necessário nas abordagens direccionadas para o desenvolvimento sustentável [6]:

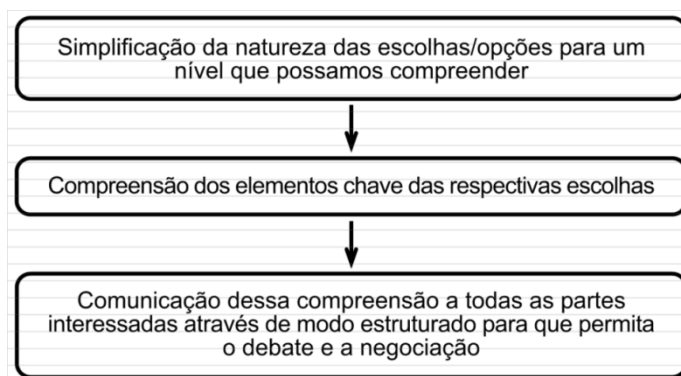


Figura 13 – Abordagem direccionada para o desenvolvimento sustentável, adaptado de [6].

As decisões tomadas relativamente ao ambiente e a eficácia da implementação das mesmas serão determinantes no alcance do objectivo do desenvolvimento sustentável.

O paradigma de desenvolvimento sustentável implica a realização de escolhas para o futuro, concomitantes com a consciência de que o futuro é incerto por natureza. Deste modo estão a tentar fazer-se escolhas acerca de riscos que envolvem incerteza [6].

A constante adição de novos objectivos e o reconhecimento das complexidades tornou o processo de tomada de decisão e identificação de alternativas apropriadas mais difícil, pois as opções só por si se tornaram mais complexas [6].

As pessoas e instituições têm muitas vezes que intervir quando os mecanismos de mercado são incapazes de ajustar o comportamento económico que tende a delapidar os recursos e a destruir os ecossistemas naturais. Tal comportamento pode ser um importante factor para atingir o desenvolvimento sustentável [1].

Conjugando alguns princípios apontados por *Green* em *Handbook of water economics*, da bióloga americana *Janine Benyus* em *Biomimicry* que refere a natureza é a melhor referência para inovar e implementar soluções (biomimetismo), e *Hegger et al* em “*Energy Manual*”, o alcance do

desenvolvimento sustentável requer deste modo a tomada de melhores decisões segundo os seguintes princípios [1, 6, 34] :

- evitar erros (com maior sucesso);
- uso mais eficiente dos recursos disponíveis incluindo a água;
- manter o ambiente como suporte necessário para a economia;
- considerar os resíduos como recursos;
- diversificar e cooperar para uma utilização total do habitat;
- utilizar a energia de forma eficiente;
- otimizar em vez de maximizar;
- usar parcimoniosamente os materiais;
- não poluir o respectivo habitat;
- não desperdiçar recursos;
- manter o balanço com a biosfera;
- basear as escolhas em informação fidedigna;
- utilizar ao máximo energias renováveis;
- comprar localmente.

2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A tecnologia afectando a forma como os recursos podem ser extraídos e utilizados, pode criar a oportunidade, quer para um uso mais eficiente dos mesmos, quer para a minimização dos impactos ambientais negativos [1].

Sem uma biosfera funcional, a sustentabilidade económica social e ambiental não é possível, pois as actividades humanas têm impactos directos sobre o funcionamento dos ecossistemas, cuja resiliência¹⁵, é importante monitorizar e preservar [2].

Deve existir a consciência que os efeitos decorrentes das actividades humanas não são exclusivamente negativos ou positivos. Citando o exemplo da construção, como objecto deste trabalho, a mesma é associada a impactos negativos como incomodidades para a população, mas por outro lado, gerador de emprego, o que constitui um impacto positivo.

Na gestão dos recursos e sua transformação em produtos e consequente circulação e utilização, a questão fundamental será saber (ainda que com limitações) qual a pressão a que se encontra o ambiente, aferindo sobre se é ou não sustentável [1, 2].

No entanto, a tomada de decisões é um processo delicado, devido à necessidade de trocas entre as esferas social, económica e ambiental. Dever-se-á evitar a tendência de simplificação dos problemas de modo a enquadrarem-se nos sistemas que criamos para os modelar, e estar conscientes da limitação dos nossos métodos [2].

¹⁵ Capacidade de um ecossistema se adaptar a mudanças sem se destruir.

Este novo paradigma de alcance do desenvolvimento sustentável passa portanto pelo desenvolvimento de sociedades organizadas nesse sentido, pela monitorização e gestão inteligente de recursos materiais e energéticos, estudando e ponderando as consequências positivas e negativas das decisões tomadas.

É igualmente necessária a consciência de que toda a informação é do momento actual, sendo as ciências que consideram as diferentes relações do ambiente relativamente novas, e em muitos casos apenas no seu início [7].

A pressão das actividades (resultantes do aumento da população, nível de vida e tecnologia) e suas consequências motivam a reflexão acerca da disponibilidade dos recursos e da capacidade do ambiente em suportar essa procura de forma equilibrada. Os impactes têm diferentes características e efeitos, consoante as suas tipologias e as sensibilidades ambientais da zona onde se insere cada actividade [1].

Pelas razões já expostas, a escala de impacto será dependente, em última instância, do consumo. Segundo Graham, os impactos do consumo de energia no ambiente são devidos principalmente a [2]:

- perturbações físicas causadas pela extracção de recursos energéticos;
- poluição devido aos processo de transformação;
- emissões de poluentes;
- tratamento de desperdícios.

3

INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, AMBIENTE E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

3.1. INTRODUÇÃO

A construção é uma actividade a que o homem sempre se dedicou, constituindo um componente fundamental no desenvolvimento das civilizações. Desde a construção de abrigos, a vias de comunicação, armazenamento de recursos e sua distribuição, a construção está patente no modo de vida das populações, estimando-se que no mundo ocidental as populações passem cerca de 90% do seu tempo de vida dentro de edifícios [1, 7].

Nos dias de hoje, a construção possui um carácter industrial. Esta actividade atravessou ao longo da história um processo de metamorfose, através do qual a componente exclusivamente artesanal e de abastecimento local de materiais e soluções construtivas deu lugar à globalização de soluções, materiais e à democratização do conhecimento. O seu grau de mecanização também sofreu uma evolução considerável, embora este último não tenha paralelo com o grau de automatização observado noutras indústrias transformadoras.

Os contributos da construção para a humanidade são indeléveis:

*“... The greatest advances in improving human health were the development of clean drinking water and sewage systems. So, we owe our health as much to civil engineering as we do biology.”*¹⁶ [35]

Lewis Thomas

O sector da construção é um dos maiores e mais significantes impulsionadores das economias emergentes [36].

É conhecida a importância do sector da construção para as economias dos países, pelo volume de dinheiro que movimenta e pelo emprego directo e indirecto que gera com significativo contributo para o PIB¹⁷ dos países e efeito de arrastamento da economia, fazendo desta indústria um dos maiores empregadores da União Europeia. Em 1995, cerca de 10% da economia global era dedicado à operação e construção de edifícios [1].

¹⁶ Em Português, “Os avanços mais significativos na melhoria da saúde humana foram o desenvolvimento de sistemas de abastecimento de água potável e de drenagem de esgotos. Assim, a nossa saúde deve tanto à engenharia civil como à biologia.”

¹⁷ Produto Interno Bruto.

A relação da actividade construtiva com o ambiente dá-se a vários níveis como está patente na Figura 14.



Figura 14 – Actividade construtiva e ambiente, baseado em [1].

O resultado final desta actividade, i.e., ambiente construído, envolve infra-estruturas, edifícios e afins, envolvendo a operação e manutenção do ambiente construído [1].

Para além das dimensões económica e social desta indústria, é importante compreender e analisar a dimensão ambiental. Esta inicia-se desde a ocupação e uso do solo, passando pelo consumo de recursos, aos resíduos e efluentes, até aos impactes sobre o ambiente natural e construído onde as construções se inserem.

Métodos de concepção e construção mal conduzidos podem ter efeitos negativos na saúde dos utilizadores e também originar manutenção, aquecimento e arrefecimento dispendiosos e pouco eficientes energeticamente. Assim, a escolha dos materiais e soluções, bem como a concepção e manutenção dos equipamentos de climatização são essenciais no objectivo de repensar a construção[1].

No âmbito da temática aqui em desenvolvimento é importante o entendimento da relação entre esta indústria e o ambiente, que é conhecida por ser uma indústria com bastante inércia à mudança de práticas [2].

3.2. RELAÇÃO ENTRE A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E O AMBIENTE

O ser Humano transforma o meio ambiente no acto da criação do ambiente construído, muitas das vezes sem consciência dos efeitos que advêm para a natureza [1, 2].

Nenhum outro sector da indústria usa mais materiais e energia, produz mais desperdícios e contribui menos para a reciclagem do que a industria da construção [4]. Esta indústria constitui uma fonte de poluição de peso tanto a nível local como global, nomeadamente através da produção de materiais de construção e uso de substâncias poluentes [7]. A extracção massiva e intensiva de recursos, assim como a alteração do uso do solo de rural para urbano e ainda extracção de água e sua poluição, constituem alguns exemplos dos impactes gerados pelos fluxos de materiais que se sabem ser superiores à capacidade regenerativa da natureza [1, 2, 7].

A construção é portanto uma actividade intimamente ligada aos ecossistemas, requerendo acesso a recursos para energia e materiais em todas as fases do seu ciclo de vida, contando com a resiliência dos mesmos para a assimilação dos desperdícios e reposição de recursos [1, 2].

Até há pouco tempo, os efeitos destes consumos de recursos, produção de desperdícios e poluição eram descurados, sendo que a poluição e desperdícios foram meramente exportados em vez de eliminados, reduzidos ou reciclados [2]. No sentido de mudar as más práticas é importante que exista um conhecimento de que o ambiente construído, especialmente o urbano, tem uma estreita ligação com a natureza:

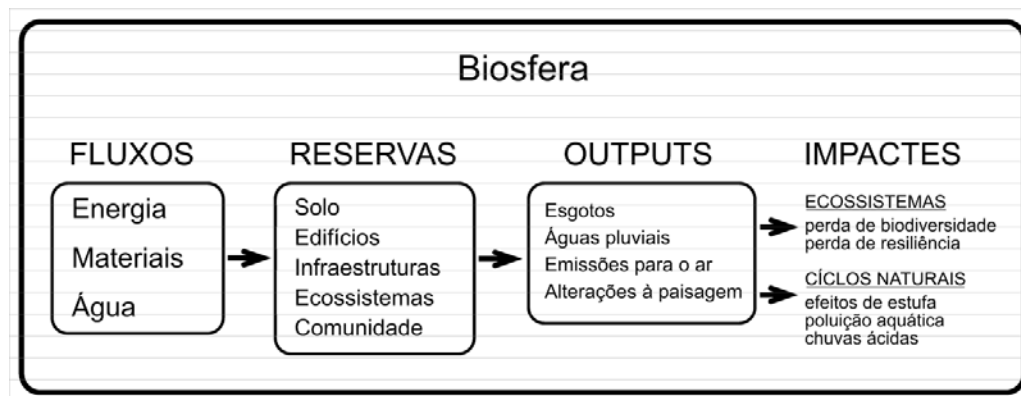


Figura 15 – Conceito de metabolismo urbano, adaptado de [2].

É necessário, subsequentemente, procurar modelos de sistematização dos impactes e suas causas. Ver Figura 16.

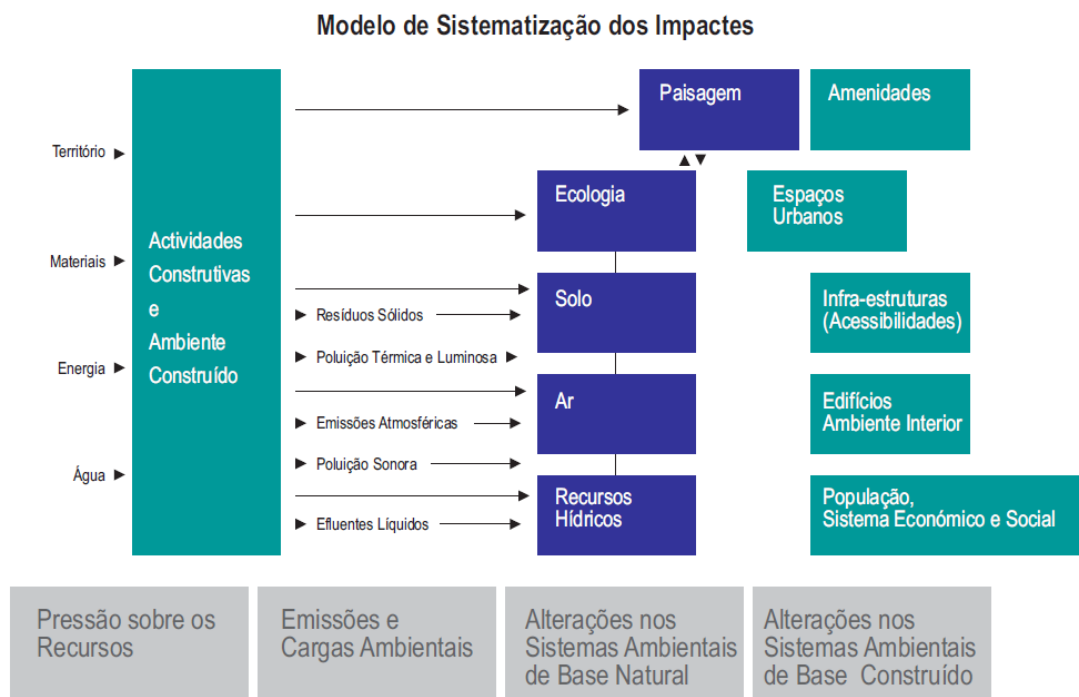


Figura 16 – Áreas de impacte ambiental [1].

De seguida apresenta-se uma síntese da relação entre a actividade da construção e o ambiente [2]:

a) Delapidação de recursos

Relaciona-se com os impactes causados pelo uso de recursos naturais na criação e operação de edifícios, sendo os recursos geralmente encarados como materiais primários, tais como combustíveis fósseis, minérios e madeira.

Graham [2] menciona que em 1995 a indústria da construção era responsável por cerca de 40% do consumo anual de pedra bruta, agregados, areia, aço e 25% de madeira virgem:

Quadro 1 – Proporção de materiais consumidos na construção, adaptado de [2, 37].

Material	% de consumo global
Pedra bruta, agregados, areia	40
Madeira virgem	25
Recursos energéticos	40
Água	16

b) Perturbações físicas

Relaciona-se com a interferência no ambiente causada pelo processo construtivo, incluindo a manutenção, remodelação ou demolição, causando:

- perda de solo produtivo;
- distúrbios devidos à construção;
- degradação e perda de biodiversidade.

c) Poluição local e efeitos socioculturais

Relaciona-se com a poluição causada pela produção de materiais assim como construção e operação de edifícios e respectivos impactes nos ambientes natural e construídos. Estes impactes podem também incluir a delapidação de recursos e poluição do ambiente interior, com riscos de saúde para a população, dado que existem materiais de construção comuns que possuem substâncias tóxicas. O ambiente social numa dada área sofre também impactes através do desenvolvimento urbano.

d) Impactes nos ciclos globais

A expressão “ciclos globais” refere-se aos ciclos bioquímicos do planeta, que são os processos cíclicos da matéria através da biosfera. Alegadamente, a acumulação destes impactes desde a revolução industrial tem tido um efeito desestabilizador nestes fluxos, causando alterações globais no clima e salubridade ecológica, que estarão a impor-se como factores limitativos à estabilidade e crescimento das economias.

Quadro 2 – Ciclos bioquímicos do planeta e causas principais de perturbação, adaptado de [7].

Ciclo	Causas de perturbação
Carbono	Produção de materiais, transporte, energia de operação
Hidrológico	Áreas de impermeabilização elevadas
Azoto	Consumo de combustíveis, fabrico de cimento
Fósforo	Poluição da água
Sulfato	Consumo de combustíveis fósseis, fabrico de materiais de construção

Os impactes dos fluxos de recursos da natureza para a construção e da construção para a natureza diferem em magnitude ao longo das diferentes fases do ciclo de vida das mesmas, sendo que alguns impactes ocorrem de uma só vez e outros emergem ao longo deste ciclo. Deste modo, nas construções modernas, o ambiente funciona tanto como fonte de recursos e repositório de emissões [1, 2].

Esta noção de que as estruturas construídas têm impactes, tem gradualmente contribuído para a consciencialização por parte dos agentes da construção de que estes efeitos merecem atenção, e que os seus modos de operar deverão ser revistos [1]. Esta consciencialização concretiza-se no conceito de construção sustentável, no qual a dimensão ambiental tem sido a mais destacada, por ser talvez a mais atingida por esta indústria, e que propõe uma mudança de atitude:

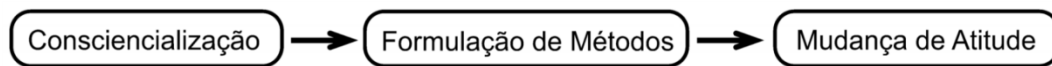


Figura 17 – Mudança de atitude em relação às práticas correntes.

Nesta, perspectiva é importante abordar e analisar a construção, desde o seu processo aos seus resultados.

Usualmente, a abordagem dos efeitos da construção é redutora ao associar apenas os efeitos negativos para a comunidade à fase de construção da obra e os benefícios à fase de operação. Tal percepção deve-se ao facto de na fase de construção se produzirem impactes elevados e concentrados num curto período de tempo (da ordem dos meses), enquanto a fase de operação está associada a períodos mais longos (da ordem dos anos). Deste modo, ao acumularem-se os consumos e efeitos das actividades, observa-se que a fase de operação revela um impacto muito superior ao da própria obra [1].

3.3. CICLO DE VIDA DAS CONSTRUÇÕES

O termo Ciclo de Vida é um indicador de que tanto os sistemas naturais como os artificiais estão envolvidos em ciclos de emergência e desvanecimento¹⁸. No âmbito dos edifícios, o seu ciclo de vida descreve o horizonte temporal entre a sua construção e demolição [4].

Uma análise integrada do ciclo de vida do edificado, em particular dos edifícios, que possuem uma importância peculiar no impacto ambiental, assume uma importância considerável, tanto pela sua complexidade, como pela predominância dos mesmos na civilização [1].

“A forma como as estruturas construídas são obtidas e erigidas, usadas, operadas, mantidas, reparadas, modernizadas, reabilitadas, e finalmente desmanteladas (e reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constitui o ciclo completo das actividades construtivas sustentáveis”.

¹⁸ Do Inglês, “*emerging and fading*”.

Como já foi referido, o ciclo de vida tem início na concepção, perpetuando-se até à sua desactivação.

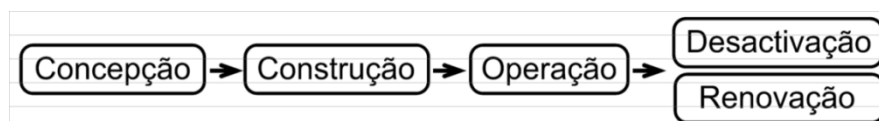


Figura 18 – Ciclo de vida sintetizado da construção, adaptado de [1].

O diagrama seguinte ilustra e sintetiza a dinâmica e impactes do ciclo de vida das construções nas diferentes fases do seu processo [1]:

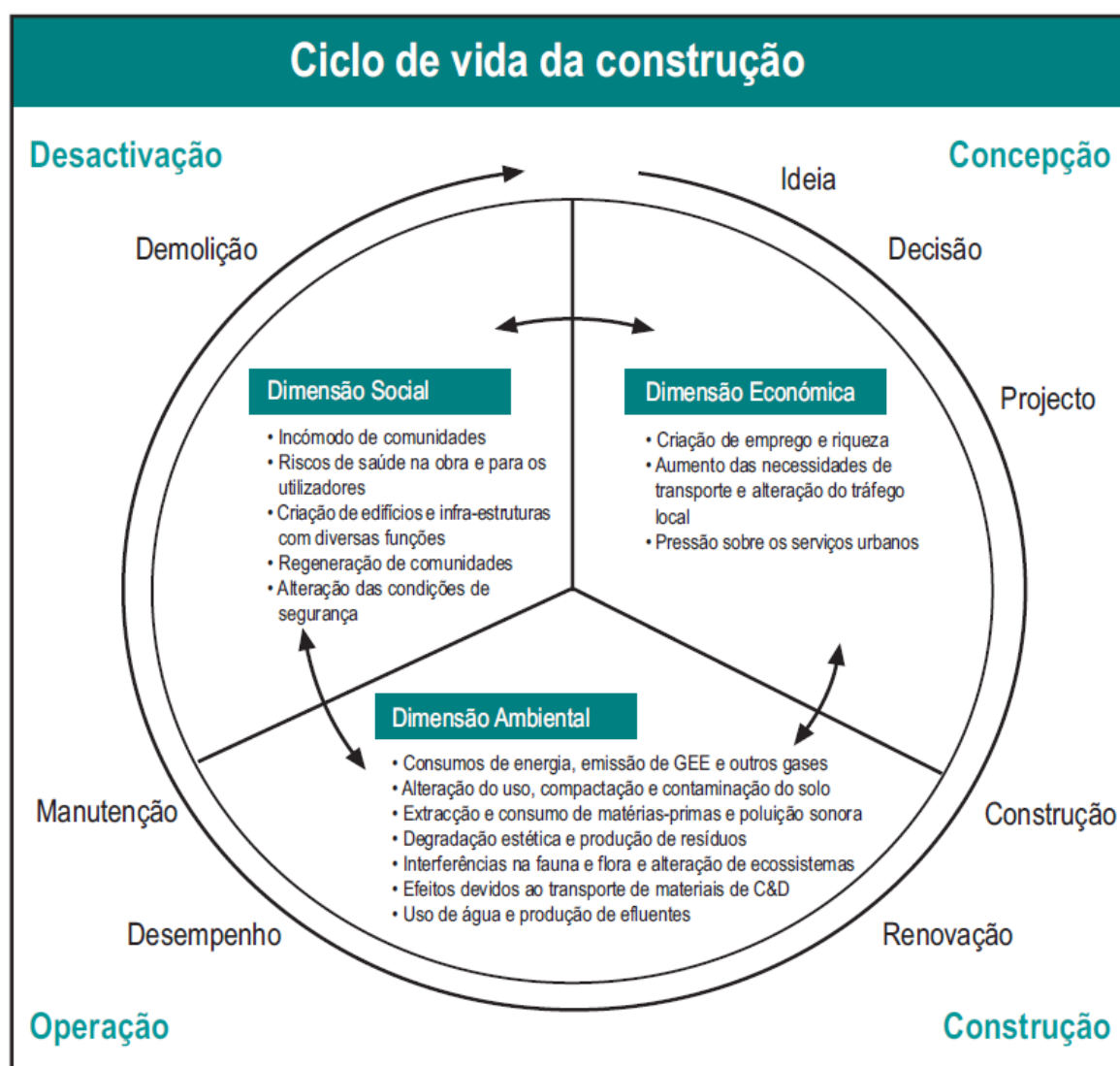


Figura 19 – Impactes ambientais no ciclo de actividades da construção [1].

A análise do ciclo de vida das construções e dos materiais incorporados nas mesmas constitui, deste modo, uma peça chave na concretização das preocupações de sustentabilidade aplicadas à construção. Na compreensão do impacto da construção em cada área ambiental, a avaliação do ciclo de vida é fulcral para uma intervenção fundamentada e tangível em cada fase do ciclo [1, 2].

3.4. PREOCUPAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

3.4.1. INTRODUÇÃO

Como já foi apresentado, a criação, operação e manutenção dos ambientes construídos pelo Homem e as actividades respectivas, têm impactes ambientais associados. As construções duram geralmente muito tempo, sendo que estes impactes se repercutem para além do ciclo de vida das mesmas [1, 2].

Em todo o mundo, os edifícios consomem cerca de 50% de todos os recursos na sua construção e operação, o que constitui um factor crítico na delapidação de recursos e de impactes no ambiente [4].

A abordagem da construção na perspectiva da sustentabilidade é evidenciada por Kibert como a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos (para evitar danos ambientais) e a utilização eficiente dos recursos” [1, 38]

O desafio de sustentabilidade colocado está intimamente ligado à gestão da pressão provocada sobre o território pelo consumo de materiais, energia, água, segundo as tipologias de impactes dos ambientes construídos e edifícios, durante as suas distintas fases de vida [1, 2]. Além do mais, é importante referir que a prosperidade da indústria da construção é dependente da relação existente com os habitats e as diversas formas de vida do planeta [2].



Figura 20 – Actividades humanas, ambiente construído e edificado, adaptado de [1].

Todo o esforço no sentido de repensar a construção, independentemente do prisma pelo qual se faz esta abordagem, seja ele tendencialmente mais focado nos aspectos económico, social, ambiental, ou outros, conduzirão invariavelmente a um campo comum de conclusões extrapoláveis para o novo paradigma denominado de Construção Sustentável, que pretende conciliá-los de um modo integrado e, espera-se, inteligente, sem que os fundamentalismos tomem o lugar da racionalidade característica da sociedade ocidental.

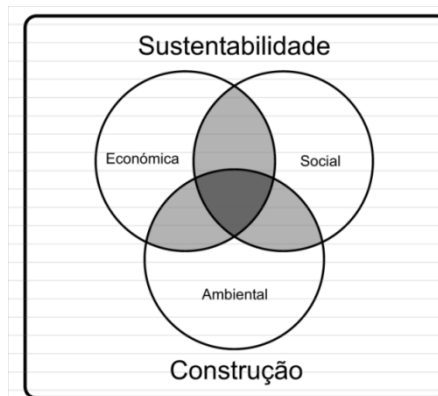


Figura 21 – A tripla dimensão da sustentabilidade e a construção.

A compreensão da necessidade de aplicar o conceito de desenvolvimento sustentável à construção passa pelo entendimento da relação que a construção tem com o homem e o planeta a todos os níveis, com a percepção que a construção, a operação e actividades relacionadas com os ambientes construídos originam emissões e cargas poluentes, entre os quais [1]:

- resíduos (sólidos e semi-sólidos);
- escoamentos e efluentes líquidos;
- emissões de poluentes atmosféricos;
- poluição sonora e vibrações;
- poluição térmica e/ou luminosa.

3.4.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A Construção Sustentável tem por objectivo desenvolver consciências que permitam mudar o estado actual do funcionamento desta actividade, através da seguinte dinâmica:

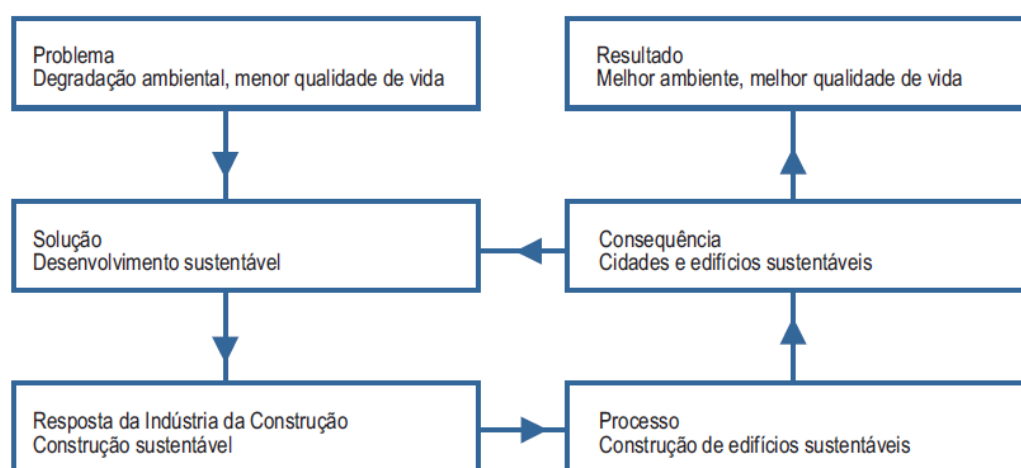


Figura 22 – Dinâmica da construção sustentável [1].

Destes valores resulta a necessidade de reequacionar a concepção, a construção, operação e a desconstrução/demolição daquilo que se constrói. Ao novo paradigma afigura-se como principal desafio para a qualidade de vida, o desenvolvimento económico e a equidade social[1][1]. Estes desafios, segundo a “Agenda 21¹⁹”, devem ser encarados por parte do sector da construção, através de [1]:

- i. identificação de estratégias e estabilizar o conceito de “construção sustentável”;
- ii. identificação dos principais tópicos de sustentabilidade que dizem respeito à indústria da construção;

¹⁹ Estratégia desenvolvida na Cimeira da Terra no Rio, em 1992, que define uma estratégia de acção global sobre desenvolvimento sustentável, com ênfase nas interações humanas com os problemas ambientais, sublinhando a importância da participação do público na tomada de decisões.

- iii. implementação de um programa de acção que disponha das recomendações para que se estabeleçam metas políticas claras, com indicadores adequados e trocas de informação sobre as melhores práticas do sector da construção civil, relativa ao desenvolvimento sustentável em geral e aos vários agentes da construção sustentável;

Sendo os assuntos relacionados com esta temática partes integrantes das agendas políticas internacionais ao nível da construção, no âmbito do Desenvolvimento Sustentável, surgiram a *Agenda 21* e a *Agenda Habitat*²⁰, que o CIB²¹ assumiu o compromisso de promover e desenvolver no âmbito da sua actividade.

O CIB foi estabelecido em 1953 como uma associação cujos objectivos se prendiam com o estímulo da cooperação internacional ao nível da construção, nomeadamente através da troca de informações entre os institutos de investigação governamental no sector, com especial ênfase nos institutos envolvidos em domínios técnicos de investigação [39].

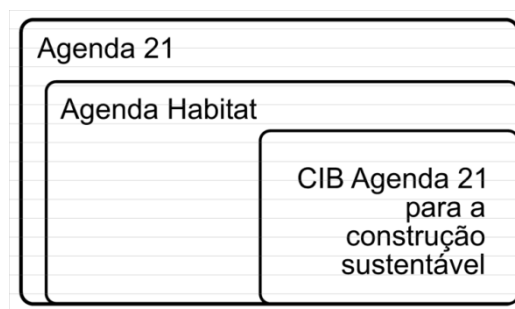


Figura 23 – Âmbito da Agenda 21 na construção.

A visão do CIB acerca da Construção Sustentável é que esta constitui um processo de ajuda à indústria no sentido da redução do consumo de recursos e consequentes cargas ambientais, destacando os seguintes alvos [2]:

- promoção de eficiência de recursos;
- redução do uso de água;
- selecção de materiais de acordo segundo a sua performance ambiental;
- contribuição para ambientes urbanos sustentáveis;

O CIB vê a construção sustentável como um elemento importante na criação de locais sustentáveis aos níveis ecológico, social e económico [2].

Estando estas questões presentes na actualidade das preocupações da opinião pública, incluindo a questão do desempenho energético e ambiental, tem sido progressivamente colocada na agenda da construção dos edifícios e na sua relação com o espaço envolvente [1].

I. Situação Portuguesa

²⁰ A Agenda Habitat está relacionada com a Agenda 21, advogando a necessidade de habitação para todos e um desenvolvimento social sustentável.

²¹ International Council for Research and Innovation in Building and Construction.

A nível nacional, no âmbito da aplicação dos princípios de Sustentabilidade da Construção, nomeadamente da *Agenda 21 local*, o governo Português desenvolveu o Programa Polis de modo a desenvolver planos de acção para o desenvolvimento sustentável das comunidades.

No âmbito da ratificação do protocolo de Quioto, o país assumiu o compromisso de promover a baixa de emissões dos GEE. Nesta linha política de actuação, foram promulgados decretos de lei nesse sentido, como o novo RCCTE (Decreto de Lei nº 80/06, de 4 de Abril) e o novo RSECE (Decreto de Lei nº79/06, de 4 de Abril). Estes decretos aparecem no seguimento das directivas da União Europeia para a implementação por parte dos estados membros de Sistemas de Certificação Energética, com o objectivo de fornecer aos utentes dados sobre o desempenho energético e qualidade térmica dos edifícios (Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Concelho, de 16 de Dezembro).

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE) reflecte as preocupações ao nível da optimização do consumo de energia numa perspectiva de minimização do mesmo. A certificação pretende assegurar a aplicação regulamentar do RCCTE e RSECE, propondo medidas correctivas de melhoria do desempenho.

A identidade gestora da Certificação Energética e Qualidade do ar interior é a ADENE²² [40].

²² Instituição de tipo associativo de utilidade pública sem fins lucrativos, participada maioritariamente (69,66%) por instituições do Ministério da Economia e Inovação. As empresas concessionárias dos serviços públicos de fornecimento de electricidade e gás (EDP e Galp Energia) detêm 22% do capital social, sendo ainda 5.74% partilhados pelo LNEC, ISQ, FEUP, AMP, CCDRN e CBE. [41]

3.4.2.1. Aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável à construção

A construção sustentável representa um novo modo de encarar a tradicional tríade de preocupações centradas apenas na qualidade do produto, tempo dispendido e custos associados, somando a estes itens as preocupações ambientais [1].

Ao acoplarem-se às anteriores prioridades as preocupações económicas, sociais e culturais relacionadas com o desenvolvimento sustentável aplicado à construção, gera-se um conjunto de itens novos a incorporar no modo tradicional de abordar a construção.

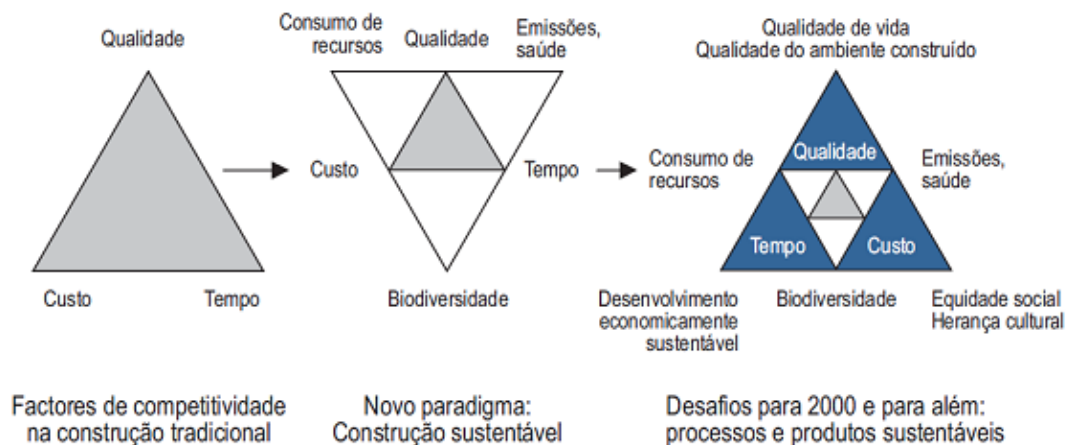


Figura 24 – Sustentabilidade e construção: Evolução das preocupações no sector da construção [1].

Esta ilustração evidencia a complexidade da evolução dos desafios colocados à construção, com o incremento de preocupações de sustentabilidade [6], onde o papel de todos os agentes é preponderante.

Tendo em conta estes constantes incrementos contribuírem para a mistificação do conceito de sustentabilidade, e consequente dificuldade de comunicação e compreensão destes princípios para os agentes que deles devem estar cientes, propõe-se, sem descurar a exposição acima apresentada, a abordagem da sustentabilidade como um novo item que transforma o velho triângulo 'custo, tempo, qualidade' numa pirâmide.

Deste modo, o vértice superior representa a sustentabilidade com os restantes vértices representados como parte integrante desta. Assim, qualquer que seja a actividade de cada agente, este deverá estar ciente do que representa a introdução de práticas sustentáveis no seu respectivo campo de actuação.

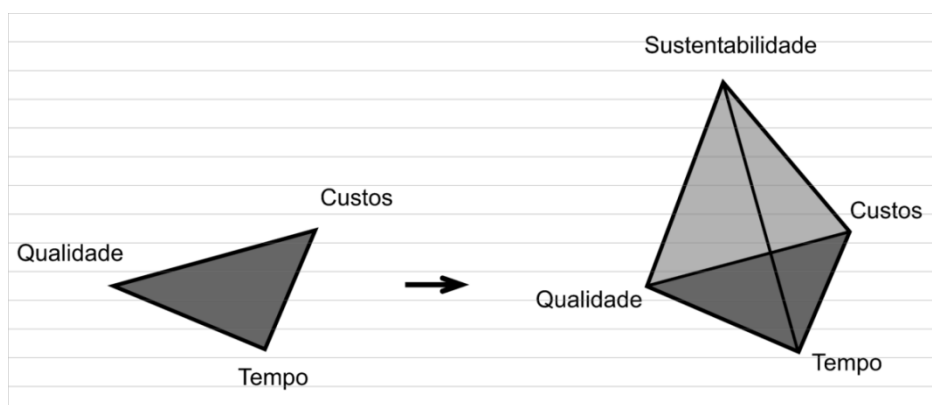


Figura 25 – Representação do novo paradigma de construção sustentável.

3.4.3. PRINCÍPIOS PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável deve ser integrado na dinâmica da construção para que daí resulte a construção sustentável. Os aspectos ambientais, sociais e económicos devem ser promovidos através da eficiência, da redução do consumo de materiais e energia desnecessários, e com valorização da dinâmica ambiental [1].

O papel dos vários agentes é decisivo, incluindo nomeadamente:

- o sector da extracção dos materiais;
- o sector da construção;
- os clientes das estruturas edificadas;
- os gestores;
- os responsáveis da manutenção.

As principais áreas de intervenção deverão ser as apresentadas na Figura 26.



Figura 26 - Principais áreas ambientais de intervenção para a construção sustentável no edificado [1].

De acordo com Duarte Pinheiro [1], o caminho da construção sustentável deverá passar pelas seguintes peças chave:

- redução da utilização das fontes energéticas e da delapidação dos recursos minerais;
- conservação das áreas naturais e da biodiversidade;
- manutenção da qualidade do ambiente construído;
- gestão da salubridade do ambiente interior.

Um aspecto fundamental que não deverá também ficar de parte, é o dever de assegurar condições de durabilidade e adaptabilidade do edificado. Estes são aspectos através dos quais se contribui para a

redução dos consumos de materiais e evita que estes se tornem obsoletos, o que é também vantajoso em termos económicos [1, 4].

As boas acessibilidades do edificado, o respeito pelos aspectos culturais e sociais, a perenidade das construções e a adopção de recursos renováveis tendo em consideração a sua taxa de renovabilidade, são contributos de peso para a melhoria do ambiente e da paisagem da zona onde se inserem [1].

No caminho para a sustentabilidade, a focagem no ciclo de vida das construções é fulcral. A utilização dos recursos nas diferentes fases do ciclo de vida merece atenção na medida em que contribuirá para a redução do consumo de materiais, energia e a água, com a possibilidade de procurar a eficiência não só na construção mas também na utilização.

É sobre este prisma de monitorização e pensamento integrado da construção como um produto em contínua transformação ao longo do seu ciclo de vida que este trabalho se focará.

Equacionar de modo consubstanciado a sustentabilidade e a construção prende-se essencialmente com materiais e energia.

Ao nível dos materiais:

- muitos estão a tornar-se mais escassos e portanto mais caros;
- provocam efeitos indesejáveis no ambiente especialmente na sua extracção e processamento na obtenção de produtos;

Ao nível energético:

- as fontes de energia tradicionais estão igualmente a tornar-se mais dispendiosas [4], embora o custo a curto e médio prazo das renováveis também seja substancialmente elevado.

O Quadro 3, pretende mostrar uma compilação de informação acerca dos factores que motivam a construção sustentável, enquanto que o Quadro 4 apresenta um quadro adaptado da publicação CIB [42], onde são apresentados os aspectos de maior relevância no âmbito da construção sustentável com categorização por áreas e respectivas implicações.

Quadro 3 - Tópicos evidenciando a necessidade de sustentabilidade no âmbito da construção [4]

Necessidades	Motivos
Protecção do Clima	Cerca de 40% dos gases de efeito de estufa resultam da construção e uso de edifícios. Cerca de 40% da energia consumida nas nações industrializadas é destinada à operação de edifícios, e 10% devido à produção e transporte de materiais e processos construtivos.
Poupança de Recursos	A indústria da construção consome cerca de 50% dos materiais extraídos da terra. Cerca de 60% dos desperdícios das indústrias devem-se à IC.
Salvaguarda das Fontes Energéticas	A economia implica um consumo muito intensivo de recursos materiais e energéticos. Na UE, cerca de 50% da energia primária é importada.
Redução dos Custos de Operação dos Imóveis	Num edifício típico de escritório, cerca de 30% dos custos de operação devem-se a gastos energéticos [41].
Manutenção do Parque Imobiliário e seu Valor	Os edifícios, em termos económicos, são o bem mais valioso de uma sociedade. Devido à inadequada consideração da eficiência energética, as medidas de remodelação correntemente atingem apenas 1/3 do potencial de poupança energético.
Incentivos para a Indústria da Construção	Muitos edifícios em diversos países necessitam de remodelação. No entanto, a reabilitação do edificado já existente é um mercado a explorar. A procura de obras públicas e residenciais está a diminuir drasticamente.
Saúde e Conforto	Cerca de 80% das pessoas na Europa vivem em cidades e passam entre 80% a 90% do tempo dentro de edifícios. O “síndrome de edifícios doentes” ²³ afecta cerca de 1/3 dos edifícios novos.

²³ Do inglês, *Sick Building Syndrome*, que se refere à contaminação do ar interior de edifícios relacionada com falhas nos sistemas de ventilação e climatização e alguns materiais de construção que libertam substâncias tóxicas.

Quadro 4 - Aspectos relevantes da construção sustentável segundo o CIB, citado por [1]²⁴.

Área	Questões Principais	Consequências
Ocupação do Solo	Uso eficiente do solo	• Edifícios multifuncionais
	Longevidade dos edifícios	• Projecto com vista à flexibilidade / adaptabilidade • Projecto com vista a um desempenho de elevada qualidade durante todo o ciclo de vida • Utilização dos instrumentos de Análise do Ciclo de Vida (<i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) e <i>Life Cycle Cost</i> (LCC) • Compreensão das necessidades e requisitos dos futuros utilizadores
	Escolha do local	• Consideração do contexto local (clima, topografia, impacte visual, ruído, economia local)
	Aproveitamento dos edifícios existentes	• Aumento das actividades de reabilitação e recuperação
	Protecção da natureza	• Protecção da flora e vida selvagem
	Minimizar as necessidades de utilização de transportes privados	• Educação dos ocupantes dos edifícios
Energia	Edifícios energeticamente eficientes	• Projecto integrado para a eficiência energética • Utilização de fontes de energia renovável • Garantia da qualidade do ambiente interior
	Optimização de aquecimento / arrefecimento / iluminação	• Iluminação natural/iluminação passiva • Aquecimento/arrefecimento passivo
	Locais de construção energeticamente eficientes	• Diminuição das necessidades do transporte para o local
	Optimização do consumo de energia	• Utilização de sistemas de gestão energética
Água	Poupança de água potável	• Reutilização das águas de lavagem
	Optimização do consumo de água	• Utilização de sistemas de gestão da água • Aproveitamento de água da chuva
Materiais	Gestão dos resíduos	• Sistemas integrados de recolha de resíduos • Gestão local dos resíduos de construção
	Materiais não tóxicos e controlo climático	• Maior consideração da toxicidade ambiental e ocupacional dos materiais
	Edifícios recicláveis e reutilizáveis	• Projecto e construção com consideração do destino final
	Utilização eficiente de matérias-primas	• Utilização de materiais locais e de métodos de construção tradicionais • Aumento da utilização de materiais renováveis • Utilização de técnicas de desconstrução apropriadas de forma a otimizar a reciclagem
	Aumento da vida útil dos edifícios	• Adaptação dos edifícios às necessidades futuras dos seus ocupantes
Outros	Optimização do processo do edifício	• Aumento das parcerias entre projectistas, fabricantes, construtores, etc.

²⁴ Neste quadro apenas se alterou a palavra 'desenho' que se supôs ser uma gralha de tradução, sendo que o termo correcto deverá ser 'projecto'.

3.4.3.1. Reflexões sobre Construção Sustentável

A dimensão económica da construção sustentável é incontornável, sendo que esta não pretenderá garantir um desempenho ambiental excepcional sob pena de geração de prejuízos para as empresas [1, 43].

Deverá existir a consciência de que apesar da divulgação dos conhecimentos sobre construção de edifícios sustentável, a maior parte dos novos edifícios não é construída com recurso a técnicas comprovadas. Em muitos casos constatou-se que os países que estavam a implementar projectos mais ecológicos e sustentáveis, não possuíam meios efectivos para verificar a efectiva dimensão ambiental dos mesmos, surgindo mesmo situações em que construções ditas ecológicas acabavam, na perspectiva de ciclo de vida, por ter maiores consumos energéticos do que as usuais [1, 43].

Além do mais, o ritmo de substituição do edificado existente (entre 0,5 e 2% por ano) é indicativo que seriam necessárias algumas dezenas de anos até que um impacto significativo pudesse ser observado. Deste modo, a identificação dos impactos potenciais e reais associados ao ambiente construído é fundamental, preferencialmente em fase de ante-projecto, no sentido de encontrar medidas para minimizá-los ou eliminá-los [1].

Para caminhar para a construção sustentável é necessário compreender que os diferentes contextos socioeconómicos dos diferentes países (tal como acontece com as prioridades que estes assumem face ao desenvolvimento sustentável) originam directrizes distintas, que devem ser adequadas à medida de cada um, independentemente do quadro global comum [1].

Uma explicação para as diferenças nas prioridades assumidas nos diversos países relativamente à construção sustentável, poderá reflectir o seu grau de desenvolvimento. Vários aspectos tais como densidade populacional, demografia, economia nacional, nível de vida, geografia, riscos naturais e humanos, disponibilidade de energia, água, alimentação, a estrutura do sector da construção ou a qualidade das construções existentes, compõe o quadro para a interpretação nacional de cada país que reflectir-se-á em diferentes paradigmas, e consequentemente, diferentes abordagens.

Neste paradigma, os Engenheiros e Arquitectos têm a oportunidade e dever de colocar a sua criatividade, capacidade técnica e liderança ao serviço da sociedade pois o desafio do desenvolvimento sustentável no sector da construção constitui para além de um 'problema' uma oportunidade num sector que apresenta tradicionalmente pouca abertura a novas práticas. Entre este novo leque de oportunidades e desafios estão [4]:

- inovações científicas, técnicas e de projecto;
- novas oportunidades de exportação;
- contribuição para um bem estar social durável;

Em suma, os desafios preponderantes para a Engenharia e Arquitectura neste contexto podem ser reduzidos a [4]:

- maximização da economia global do edificado, do conforto e da qualidade;
- minimização do consumo de energia e recursos especialmente através do incremento das medidas de eficiência;

Na perspectiva da intervenção, é necessária a adopção de instrumentos de apoio apoiar o desenvolvimento de projectos de edifícios sustentáveis, assegurando a sua avaliação e

reconhecimento. Tendo a construção sustentável como objectivo a adaptação desta indústria a um novo paradigma de desenvolvimento sustentável, a importância de tais instrumentos de avaliação e reconhecimento baseados em sistemas de avaliação e certificação constituirá um contributo importante para a sua concretização [1].

3.4.4. INSTRUMENTOS AMBIENTAIS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL [1]

Com o objectivo de avaliar, qualitativa e quantitativamente os impactes das construções e propor medidas para sua redução, têm surgido desde os anos 90 diversas abordagens e sistemas de avaliação do desempenho ambiental de edifícios, assim como de apoio à implementação de práticas, medidas e soluções mais sustentáveis. Estas medidas têm vindo a ser progressivamente adoptadas em diversos países.

A identificação dos principais aspectos da sustentabilidade é fulcral para a avaliação da construção sustentável. Deste modo será possível aplica-los no desenvolvimento de ferramentas para assegurar esses mesmos aspectos nos empreendimentos, através da avaliação, reconhecimento e certificação das práticas de construção sustentável.

Existem actualmente abordagens que identificam os seus aspectos-chave no edificado e infra-estruturas que se diferenciam consoante a fase de desenvolvimento da actividade. A fase de desenvolvimento das actividades percorre:

- desenvolvimento do projecto/empreendimento;
- planeamento;
- concepção;
- construção ;
- operação;
- desconstrução.

É de salientar a importância da fase inicial de planeamento e concepção, dado que nessa fase grande parte das medidas a adoptar são seleccionadas e dimensionadas.

As áreas abrangidas por este tipo de sistemas são as áreas ambientais, sociais e económicas, tendo as questões ambientais vindo a ser mais destacadas em virtude do actual paradigma.

No desenvolvimento destes métodos, são utilizadas escalas temporais e espaciais. As escalas espaciais podem ser muito diferenciadas, incluindo:

- escala global;
- escala nacional;
- escala regional;
- escala do espaço urbano (e/ou cidade);
- escala do empreendimento;
- escala do edifício;
- escala do material.

A abrangência envolve diferentes níveis e tipos, tais como ambientes construídos, infra-estruturas, edifícios e materiais/soluções.

No âmbito da construção sustentável de empreendimentos as principais abordagens têm assentado nos seguintes pilares:

- a avaliação ambiental estratégica (no que respeita aos planos);
- os estudos de impacte ambiental (no que respeita aos projectos);
- avaliação do ciclo de vida (no que respeita aos materiais).

3.4.4.1. Estudos de avaliação ambiental estratégica [1]

Estes estudos assentam numa lógica de definição da estratégia em causa e das possibilidades de decisão, assumindo como base de análise a diferenciação dos efeitos de cada uma destas (em muitos casos, através de indicadores chave), de modo a avaliar os efeitos ambientais de cada uma das alternativas (em sentido lato, incluindo as consequências económicas e sociais).

Com base nos efeitos ambientais estratégicos e na respectiva compatibilidade com planos ou programas, é possível contribuir para seleccionar ou melhorar a alternativa estratégica proposta, através da consideração de medidas específicas, bem como da definição de uma forma de medir o respectivo desempenho e os eventuais efeitos.

3.4.4.2. Estudos de impacte ambiental de empreendimentos [1]

Estes estudos constituem um mecanismo de avaliação dos impactes ambientais e de propostas operacionais de medidas para atenuação dos impactes ambientais negativos ou potenciar os impactes positivos.

As principais fases dos EIA são a caracterizações do projecto, do ambiente afectado sob as suas múltiplas vertentes, a avaliação de impactes e medidas, a monitorização, a gestão ambiental, a apresentação de lacunas técnicas ou do conhecimento inerente ao estudo e, finalmente, a apresentação e definição de conclusões.

3.4.4.3. Avaliação do ciclo de vida de materiais, soluções e edifícios

A análise de ciclo de vida, ACV²⁵ foi definida pela SETAC²⁶ como: "processo para avaliar as implicações ambientais de um produto, processo ou actividade, através da identificação e quantificação dos usos de energia e matéria e das emissões ambientais; avaliar o impacte ambiental desses usos de energia e matéria e das emissões; e identificar e avaliar oportunidades de realizar melhorias ambientais" [1, 2, 44].

Este método de avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou actividade, abrangendo [1, 2]

- extracção;
- processamento de matérias-primas;

²⁵ Do inglês, *LCA - Life Cycle Assessment*.

²⁶ Do inglês, *Society for Environmental Toxicology and Chemistry*.

- transformação;
- transporte e distribuição;
- uso;
- reutilização;
- manutenção;
- reciclagem;
- deposição final.

Na Europa, a legislação Europeia materializa os critérios derogatórios, formulando a direcção a tomar, que é subsequentemente implementada em termos concretos via legislação nacional dos estados membros [4].

A série de normas ISO 14 000 consolida o conceito de análise de ciclo de vida, particularmente com a ISO 14 040 (1997) e a ISO 14 043 (2000) [1], e actualmente nas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006).

Partindo da premissa que todos os estágios da vida de um produto geram impacte ambiental, a ACV é um procedimento de análise formal da complexa interacção de um sistema (material, componente ou conjunto de componentes) com o ambiente, ao longo de todo o seu ciclo de vida, i.e., do ‘berço ao túmulo’²⁷[1]. Este conceito será melhor explorado nos capítulos subsequentes.

3.4.5. AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL [1]

Durante a última década tem-se assistido a um aumento dos esforços na definição integrada de parâmetros de reconhecimento do desempenho ambiental das construções através de sistemas de avaliação ambiental. Têm igualmente surgido nos últimos anos diversos guias para melhorar o desempenho ambiental da construção. Estes acontecimentos devem-se à existência de uma melhor compreensão do funcionamento das cidades, dos ambientes construídos e do metabolismo da matéria e energia.

A panóplia de conceitos de construção sustentável e orientações para a sua implementação, têm constituído incentivos no sentido da certificação voluntária da construção.

A avaliação de projectos em ambientes construídos, tem vindo a ser efectuada através de múltiplos processos, que abrangem:

- a avaliação de impacte ambiental;
- sistemas de indicadores ambientais;
- avaliação de desempenho ambiental (ISO 14031);
- recentemente, sistemas de avaliação integrados para projectos de construção civil, dispondo de requisitos, orientações e formas de avaliação;

Existem diversos guias para a construção sustentável, realizados para diferentes regiões e tipos de usos do edificado. Estes propõem áreas de intervenção e apresentam, em alguns casos, listas de produtos a serem adoptados. Muitos países elaboraram sistemas nacionais de avaliação da sustentabilidade com base em sistemas de outros países.

²⁷ Do inglês, *cradle-to-grave*.

A categorização dos diferentes sistemas e âmbitos, pode ser entendida da seguinte modo:

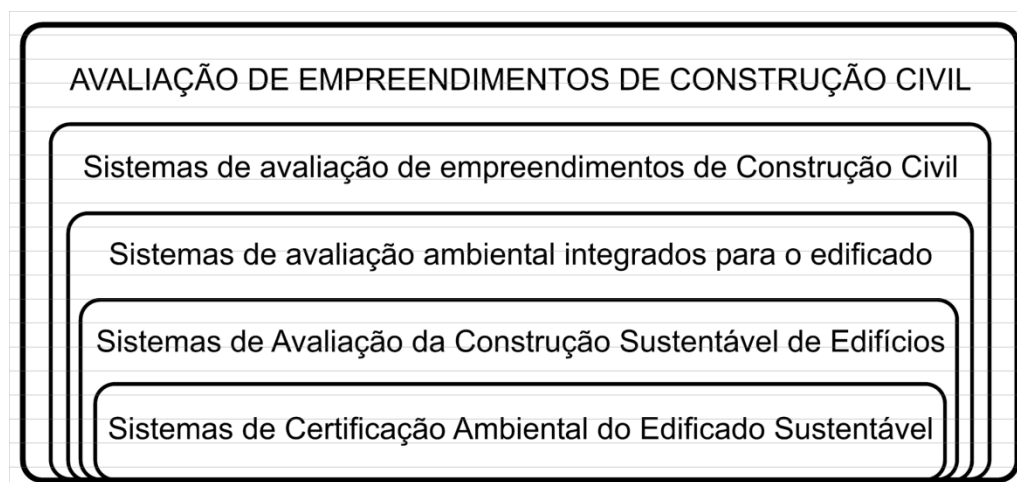


Figura 27– Avaliação da sustentabilidade na construção [1].

Em relação aos sistemas de avaliação existentes, são de referir os trabalhos de sistematização levados a cabo pela comissão da CIB W10015 para a Agência Internacional de Energia, conhecidos por anexo 3116, identificando como instrumentos nos diferentes países e principais métodos de apoio e avaliação à construção sustentável as quatro seguintes vertentes:

- ACV Ambiental para os edifícios e produtos de edifícios (*Environmental LCA Tool for Building or Building Product*);
- Declaração ambiental do produto, rotulagem, informação de referência (*Environmental Product Declaration, Catalogue, Reference Information, Certification, Label*).
- Guias Ambientais ou Listas de Verificação para Projecto e Gestão dos Edifícios (*Environmental Guideline or Checklist for Building Design / Management*);
- Avaliação Ambiental integrada, Sistema de Ponderação de todo edifício ou partes do mesmo (*Environmental Assessment Framework, Rating System (Whole Buildings or Building Stocks)*);

A preocupação da avaliação das características dos produtos e materiais fomentou a utilização de abordagens de ciclo de vida para estes componentes e materiais. Deste modo, pretende-se possibilitar escolhas ambientalmente mais adequadas, com a possibilidade de integração deste critério em avaliações da sustentabilidade do edificado. Os sistemas de avaliação ambiental integrados podem integrar soluções propostas nos guias ou nas análises de ciclo de vida, com sugestão do emprego de produtos com rótulo ecológico ou declaração ambiental, assim como a adopção de sistemas de gestão ambiental.

De seguida apresentar-se-ão de forma sucinta instrumentos existentes em todo mundo, com distinção entre tipos, incluindo o sistema português, acompanhados de uma breve descrição dos sistemas mais importantes.

3.4.5.1. Ferramentas e Sistemas de Avaliação de Empreendimentos

Ao nível dos edifícios, as questões da sustentabilidade têm-se colocado de forma mais substanciada, existindo a nível internacional diversos instrumentos e abordagens de avaliação com um nível de desenvolvimento considerável [1, 2].

Desde os anos 90 têm surgido diversos métodos de avaliação de desempenho ambiental de edifícios, tendo diversos países tentado desenvolver os seus próprios métodos de avaliação ou adaptar à sua realidade métodos já existentes. Igualmente, a normalização internacional está a desenvolver-se nesse sentido na tentativa de assegurar uma estrutura comum [45] .

Assim, ferramentas de avaliação do ciclo de vida e avaliação ambiental dos edifícios em termos de projecto, bem como sistemas de classificação para o desempenho ambiental dos edifícios concluídos são agora comuns [1, 2].

Este tipo de ferramentas possibilita à equipa de planeamento e projecto identificar os efeitos e relações interactivas de dimensões sociais, económicas e ecológicas, lidando com estes factores tanto nos processos de planeamento como de construção e de utilização preconizada [4, 45, 46].

As ferramentas de avaliação disponíveis cobrem uma vasta gama, desde ferramentas simples de análise qualitativa, até ferramentas com maior precisão no que respeita à quantificação de dados [4], com o objectivo de avaliar o seu desempenho face a um conjunto de critérios explícitos. Tipicamente, existem três grandes tipos de componentes [1]:

- definição dos critérios;
- escala de desempenho;
- ponderação.

Deste modo transforma-se o desempenho num valor ou classificação final.

Numerosas ferramentas e auxiliares neste campo da sustentabilidade dos empreendimentos existem sob a forma de [4]:

- *checklists*;
- programas de computador software;
- etiquetas e construção²⁸;

Os sistemas de avaliação de empreendimentos podem ser distinguidos entre regionais ou locais, e quanto à sua amplitude, os que se aplicam a qualquer tipo de construção e os aplicados apenas a edifícios [1].

Quanto aos âmbitos de aplicação, destacam-se os sistemas abaixo expostos.

Âmbito Nacional [1]:

- CEEQUAL (*Civil Engineering Environmental Quality and Assessment Scheme*) – Reino Unido;
- BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) - Reino Unido;

²⁸ Do inglês, *building labels*.

- LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) - Estados Unidos da América;
- NABERS (*National Australian Buildings Environmental Rating System*) – Austrália;
- BEPAC (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*) – Canadá;
- HQE (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*) – França ;
- CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) – Japão;
- LiderA – Portugal;

Ambito Internacional [1]:

- GB Tool (*Green Building Tool*);

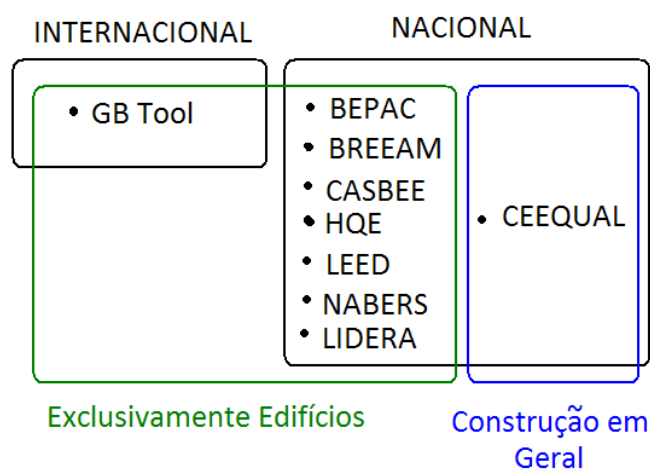


Figura 28 – Alguns sistemas de avaliação de empreendimentos e seus âmbitos.

Para além dos guias para a construção sustentável, existem, em alguns países, programas, como sistemas de apoio aos programas de iniciativa local, como o Vikki (na Noruega), e as versões regionais de sistemas existentes, como por exemplo, do LEED. [1]

Sistemas de avaliação como o GB Tool, o BREEAM e o LEED, produzem resultados através de uma ponderação, apresentando um output de um valor correspondente à classificação do desempenho, que poderá ser implícita ou explícita.

A maioria dos sistemas referidos destina-se à utilização no país de origem, uma vez que foram concebidos com base nas práticas e condições existentes nessa região, sendo limitada a sua perspectiva de adaptabilidade a outras situações ambientais.

Em fases iniciais do trabalho, estas ferramentas fornecem aos projectistas, gestores e clientes uma avaliação de projecto, com indicadores para melhoria das características de sustentabilidade dos mesmos [4].

No caso de projectos acabados, os certificados dos edifícios providenciam aos utentes e outros agentes um documento compreensível a respeito da qualidade e sustentabilidade do edifício.

A selecção de uma ferramenta adequada deve sempre ser levada a cabo com a ponderação entre o objectivo e estudo elaborado no âmbito deste, e a fiabilidade das análises que têm um determinado nível de subjectividade.

De seguida será feita uma sucinta descrição de algumas ferramentas mais divulgadas.

I. BREEAM

O BREEAM²⁹ foi desenvolvido no Reino Unido no início dos anos 90 como o primeiro método de análise para edifícios de escritórios. Actualmente está disponível em diferentes versões para outros tipos de edifícios como lojas, supermercados, escolas, edifícios industriais, casas particulares, entre outros, e para diferentes continentes: Europa, Ásia, América do norte [4].

O sistema atribui créditos a um edifício consoante este verifique que determinados requisitos, organizados por categorias são cumpridos. Às categorias são atribuídos pesos, estando cada uma destas, dividida em subcategorias, às quais serão atribuídos créditos, representando o que o edifício deverá cumprir para obter esses mesmos créditos. A soma de todos os créditos nas diversas categorias produz a classificação final do edifício [40].

Quadro 5 - Modo de classificação EcoHomes de edifícios, adaptado de [40].

Nível de Classificação	Condição
Certificado (<i>Pass</i>)	se atingiu 36% dos critérios
Bom (<i>Good</i>)	se atingiu 48% dos critérios
Muito Bom (<i>Very Good</i>)	se atingiu 60% dos critérios
Excelente (<i>Excellent</i>)	se atingiu 70% dos critérios

Os indicadores estão divididos em oito áreas [4]:

- gestão; saúde e bem estar; energia; transporte; água; materiais e desperdícios; uso do solo e ecologia; poluição.

O método é especialmente projectado para uso pelos arquitectos e gestores, sendo actualmente dos mais utilizados na ‘rotulagem’ dos edifícios [4].

II. LEED

Foi inicialmente introduzido em 1995 pelo *US Green Building Council* para o *American Property Market*, e à semelhança do BREEAM, existem versões específicas para diferentes tipos de uso como escritórios, edifícios comerciais, de habitação, entre outros [4].

Este sistema é constituído por um guia e uma lista de verificação de projecto, representada por seis áreas gerais, requerendo a verificação um conjunto de 69 sub-itens de pré-requisitos de desempenho, pontuáveis e alguns pré-requisitos cujo cumprimento é obrigatório [40].

Deste modo, a atribuição dos rótulos é baseada na capacidade do edifício alcançar um dado número de pontos de acordo com critérios catalogados [4]. Ver Quadro 6.

²⁹ Do inglês, *building research establishment assessment method*.

Quadro 6 - Modo de classificação de edifícios pelo LEED [40].

Nível de certificação pelo LEED	Condição
"Certificado"	26 a 32 pontos
"Prata"	33 a 38 pontos
"Ouro"	39 a 51 pontos
"Platina"	52 a 69 pontos

Os indicadores estão divididos em 6 áreas [4]:

- locais sustentáveis; eficiência no uso da água; energia e atmosfera; materiais e recursos; qualidade do ar interior; inovação; processo de projecto;

Actualmente, esta ferramenta está a ser usada cada vez mais na Europa e especialmente no continente Asiático [4].

III. GB TOOL

Iniciado em 1996, este sistema foi desenvolvido com a participação de vários países. O seu objectivo é a avaliação do desempenho ambiental de edifícios a nível internacional através de um sistema de medida preciso, comum e aplicável universalmente. Deste modo, foi pensado e realizado de modo a ser aplicado a um vasto leque de edifícios de regiões diferentes, envolvendo [40]:

- práticas de construção;
- custos de energia;
- escolhas de materiais;
- expectativas de desempenho diversas.

O sistema possui uma estrutura global, com adaptações feitas para as dimensões nacionais e regionais. A avaliação da sustentabilidade da construção de um determinado edifício é feita por comparação do edifício em análise, com um edifício do mesmo tipo tomado como edifício de referência relativamente às práticas típicas da região[1, 40].

A comparação é levada a cabo através de dezassete folhas de cálculo interligadas entre si, com a obtenção do desempenho do edifício e o seu impacte ambiental absoluto através de indicadores de sustentabilidade ambiental.

A avaliação ambiental e desempenho do edifício são realizados através de sete questões gerais consideradas de desempenho global [40] como se pode observar no Quadro 7.

Quadro 7 - Descrição de cada nível de desempenho no GBTool [40]

Valor	Nível de Desempenho	Descrição
-2	Medíocre	Desempenho que está claramente abaixo das normas aceites. Não é uma situação agradável de ocorrer em casos em que a comparação representa um requisito, mas pode ocorrer em áreas não abrangidas pela legislação.
-1	Insatisfatório	Desempenho que embora já seja de acordo com algumas práticas em vigor pela legislação, ainda não é considerado como mínimo aceitável, mesmo sendo ligeiramente melhor quando comparado com o anterior.
0	Mínimo aceitável	Representa o mínimo aceitável para a região envolvente, de acordo com a legislação em vigor(ou quando não há legislação aplicável, com consenso das indústrias), ou seja, consiste naquilo que são práticas típicas na região.
1 a 4	Intermédio	Representam vários níveis de desempenho entre comparações primárias: um registo de 1 representa uma ligeira melhoria (uma boa prática face à região), o registo 3 representa uma significativa melhoria do desempenho e é entendido como uma melhor prática na região.
5	Excelente	Representa uma prática de desempenho que está acima das práticas habituais (uso das melhores tecnologias disponíveis, baseadas na extrapolação das práticas correntes, tendo em conta os seus usos).

O tipo de prática deste sistema é baseado em critérios de comparação.

IV. LiderA

O sistema LiderA apresenta-se como um sistema de certificação voluntária da construção [1], que abrange várias escalas de análise, desde zonas de intervenção, tipologias de intervenção e materiais utilizados na construção. Este sistema efectua a avaliação da sustentabilidade de um empreendimento através de comparação com diferentes valores de referência de desempenho global de edifícios, atribuindo uma etiqueta de desempenho ambiental do edifício, permitindo também concluir quais as práticas a adoptar durante a construção para melhorar o seu desempenho [1, 40].

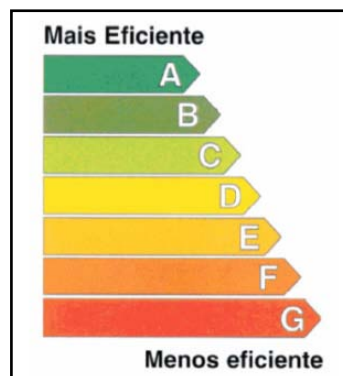


Figura 29 - Níveis de desempenho Global no Sistema LiderA [40].



Figura 30 - Principais vertentes e respectivas áreas ambientais de Intervenção consideradas pelo sistema LiderA, em edifícios de habitação [40].

Como se pode constatar, muitas das ferramentas possuem um carácter de uso para um espaço geográfico limitado, dado que diferentes realidades ambientais de cada país e prioridades assumidas tornam a prática da tentativa da homogeneização de métodos "perigosa", pois sistemas de avaliação homogeneizados poderão invariavelmente conduzir a uma perda de sensibilidade apesar das vantagens na partilha de conhecimentos. Nesse âmbito, é imperioso o conhecimento desses sistemas para definir correctamente quais as características que na prática podem ser utilizadas para cada caso e em cada realidade nacional. [1]

Quadro 8 - Principais objectivos a alcançar dos diferentes sistemas de avaliação ambiental [40].

BREEAM	LEED	GBTool	LiderA
Estabelecer critérios e padrões que vão além do imposto na legislação;	Desenvolver um padrão que melhore o desempenho ambiental e económico dos edifícios;	Permitir a avaliação de qualquer tipo de edifício (residencial, comercial, etc.), em qualquer fase (projecto, construção, renovação);	Definir critérios que se encontrem para lá da legislação, numa lógica de eficiência.
Encorajar a utilização das melhores práticas ambientais em todas as fases dos edifícios;			Aplicável a vários tipos de edifício, novo ou em renovação
Distinguir edifícios com reduzido impacte ambiental no mercado;	Funcionar como um guia para "projecto verde" sustentável dos edifícios;	Funciona como um guia para saber em que áreas é possível actuar no sentido de tornar o edifício "mais verde";	Funciona como um guia de forma a saber em que áreas se deve actuar para tornar os edifícios mais sustentáveis.

V. CEEQUAL [1]

O CEEQUAL, *Civil Engineering Environmental Quality and Assessment Scheme* é um sistema de avaliação e prémio da qualidade ambiental dos empreendimentos, sendo aplicável a qualquer projecto de construção como estradas, caminhos-de-ferro, aeroportos, trabalhos marítimos, costeiros ou fluviais, abastecimento e tratamento de água, centrais térmicas, comércio e parques de negócios).

O sistema baseia-se nos guias actuais, assim como nas boas práticas ambientais na construção, através da avaliação, do benchmarking, e da rotulagem da qualidade ambiental dos projectos de construção sustentável, sendo consideradas áreas ambientais chave para lá das normas mínimas legais e industriais.

O CEEQUAL baseia-se num esquema de auto-avaliação, efectuado por um especialista formado pelo CEEQUAL e verificado por um verificador independente, nomeado pelo CEEQUAL. O Dono da Obra, o projectista e/ou o empreiteiro apresentam uma candidatura com a sua auto-avaliação e elementos comprovativos do mesmo, que serão depois verificados, existindo um manual explicativo do sistema que apresenta os critérios e a lista de verificação. O manual referido é constituído por 12 áreas e 180 questões em aspectos ambientais tais como: o uso da água, a energia, o solo, a ecologia, a paisagem, o ruído, as poeiras, a arqueologia, a minimização e gestão de resíduos e as amenidades.

Quadro 9 – Categorias de apresentação de candidatura e elementos envolvidos em cada uma segundo o CEEQUAL.

Categoria	Intervenientes
Projecto Global	Candidatam-se conjuntamente, ou em nome do Dono da Obra, o projectista, ou o empreiteiro principal.
Dono da Obra e Projecto	Candidatam-se conjuntamente o Dono da Obra e o projectista.
Projecto	Candidatura apresentada pelo projectista.
Construção	A ser candidata pelo empreiteiro principal.
Concepção e Construção	Para equipas de projectos, que não incluem o Dono da Obra.

Para cada uma das questões aplicáveis (dono da obra, projectista, empreiteiro) é avaliada e verificada a pontuação. Aos projectos que, passando os níveis legais exigidos, evidenciem boas práticas com melhores desempenhos, são atribuídas as classificações apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Níveis de certificação pelo CEEQUAL e condições para alcance dos mesmos.

Nível de certificação pelo CEEQUAL	Pontuação
“Aprovado”	Atinge 25%
“Bom”	Ultrapassa 40%
“Muito Bom”	Superior a 60%
“Excelente”	Superior a 75%

Não é possível atingir 100% visto que existem aspectos em conflito entre si, levando a que um elevado desempenho numa dada área implique a perda de pontos noutra.

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A construção é uma actividade que contribui para a degradação do meio ambiente, i.e., para o agravamento dos problemas ambientais já abordados no capítulo anterior, desde os impactes locais, a regionais, e globais. O modo como as construções têm vindo a ser projectadas e materializadas tem um peso muito significativo na salubridade ecológica do planeta.

A compreensão das diferentes fases da construção e dos impactes de cada uma, tanto na realização, como os que prevalecem durante todo o seu ciclo de vida, permite-nos perspectivar e pensar modos de agir no sentido de mitigar, e mais importante ainda, evitar muitos dos impactes [1, 2].

Uma actividade construtiva ecologicamente sustentável depende da natureza para obter os recursos que são necessários para a manter, e que esta seja ecologicamente robusta para assimilar os desperdícios que um edifício produz aquando do seu ciclo de vida [2].

A Construção Sustentável, como novo modo de conceber a construção, pretende satisfazer as necessidades humanas, protegendo e preservando simultaneamente a qualidade ambiental e os recursos naturais [1], colocando o desafio à engenharia civil, arquitectura e construtores, de uma adaptação ao novo paradigma.

Cabe à Engenharia e Arquitectura, no domínio da construção, tirar partido do seu potencial no contributo para uma sociedade mais sustentável, nomeadamente a nível ambiental.

Os esforços deverão concentrar-se no aumento de eficiência de todos os processos, com ênfase no projecto e planeamento inteligentes, nas preocupações pela perenidade dos edifícios, e redução dos seus impactes ambientais [4]. Deverá procurar-se planeamentos e projectos inteligentes, mobilizando meios e recursos para os aspectos com maior peso e cujos efeitos induzidos de poupança e minimização de impactes seja significativo e tenha escala.

A existência de sistemas integrados de apoio e avaliação da construção na perspectiva da sustentabilidade, como elementos-chave na concepção, certificação e reconhecimento de empreendimentos sustentáveis constitui a materialização e aplicação dos princípios da mesma [1].

4

EDIFÍCIOS: ENERGIA, MATERIAIS E COMPONENTES

4.1. INTRODUÇÃO

Os edifícios são um bem abundante, sendo da responsabilidade de quem os projecta, constrói, usa e mantém assegurar as suas funções primordiais como a manutenção da utilidade, a segurança estrutural e no uso, o conforto, a durabilidade e também a sua eficiência energética [4].

Em cada fase da sua vida, os edifícios consomem energia e outros recursos, desde o projecto e construção, passando pela operação, até à sua demolição final. Em cada uma dessas fases, consomem-se diferentes quantidades de energia e emitem-se diferentes quantidades de poluentes, nomeadamente devido à combustão de combustíveis fósseis. Durante todo o seu período de vida, um edifício é também sujeito a manutenção, remodelações, ampliações e é finalmente demolido, sendo o uso de energia durante as diferentes fases significativamente influenciado pelo modo como o edifício foi concebido, construído, e pela sua eficiência energética [47].

Ao nível dos materiais, num edifício, é importante a compreensão que para a construção foi necessária energia para produzir os materiais e produtos utilizados, o equipamento de construção e a infraestrutura de transporte e armazenamento. Deste modo, o impacto ambiental é muito influenciado pela quantidade de energia incorporada e operacional que consome no seu ciclo de vida [2].

A análise do desempenho energético e emissões implicadas é mais ou menos importante em cada fase, podendo estas análises ser usadas na avaliação do projecto e uma base para definição de critérios de avaliação [47].

Existe a possibilidade de os custos de gestão e manutenção de um edifício serem superiores aos custos de construção, à medida que o seu tempo de vida se prolonga, existindo um potencial de poupança energética e económica, se esta for estudada a par com o estudo do ciclo de vida [4].

Neste capítulo pretende-se promover uma análise estruturada das questões materiais e energéticas dos edifícios. As questões energéticas serão mais focadas no âmbito dos materiais e componentes, por ser parte integrante do objectivo deste trabalho, e também pelo facto de os meios de eficiência energética de edifícios estarem já amplamente abordados em diversa literatura e artigos nos domínios da engenharia e arquitectura com preocupações de sustentabilidade. [4]

Para uma análise estruturada, dever-se-á conhecer todo o processo da concepção ao fim de vida de um edifício. Será para isso necessário um conhecimento dos pesos e significância do desempenho dos diversos componentes do edifício para estudar medidas de sustentabilidade que tenham impacto, especialmente ao darem-se os primeiros passos nesta matéria, nomeadamente ao nível da normalização internacional e europeia [4].

A construção consome energia em dois modos principais [47]:

- através da construção de edifícios e instalações, sendo a energia geralmente utilizada na produção de materiais de construção e sua subsequente montagem e incorporação *in situ*;
- durante o uso dos edifícios e instalações com eles relacionada, sob a forma de aquecimento, ventilação, arrefecimento, iluminação, aquecimento de água e equipamentos.

A avaliação do impacto dos edifícios no ambiente é baseada na análise ao longo do seu ciclo de vida e envolve muitas variáveis, como energia proveniente de combustíveis fósseis e outros recursos não renováveis, emissões para o solo, ar e água [47, 48]

Tendo em consideração a necessidade advogada de uma gestão eficaz de preservação dos recursos, entre os quais os energéticos, o estudo da utilização da energia durante todo o ciclo de vida de um edifício é necessário. Muita da investigação existente é focada principalmente, e bem, na energia utilizada durante a ocupação [47], isto é, energia de operação, que se revela geralmente como maior parcela [4].

Este trabalho pretende focar a atenção num raciocínio de estudo da energia incorporada nos edifícios, nomeadamente nos materiais que o constituem dado que é importante aferir a sustentabilidade do edificado.

O historial de um edifício ou material com acumulação de impacte ambiental é denominado de desempenho ambiental de ciclo de vida³⁰ [2].

Deste modo, é importante desmembrar a abordagem aos diferentes níveis do edificado, desde o edifício como um todo, aos materiais como peças constituintes dos componentes, que exercem uma determinada função, como pode ser observado na Figura 31 e Figura 32.

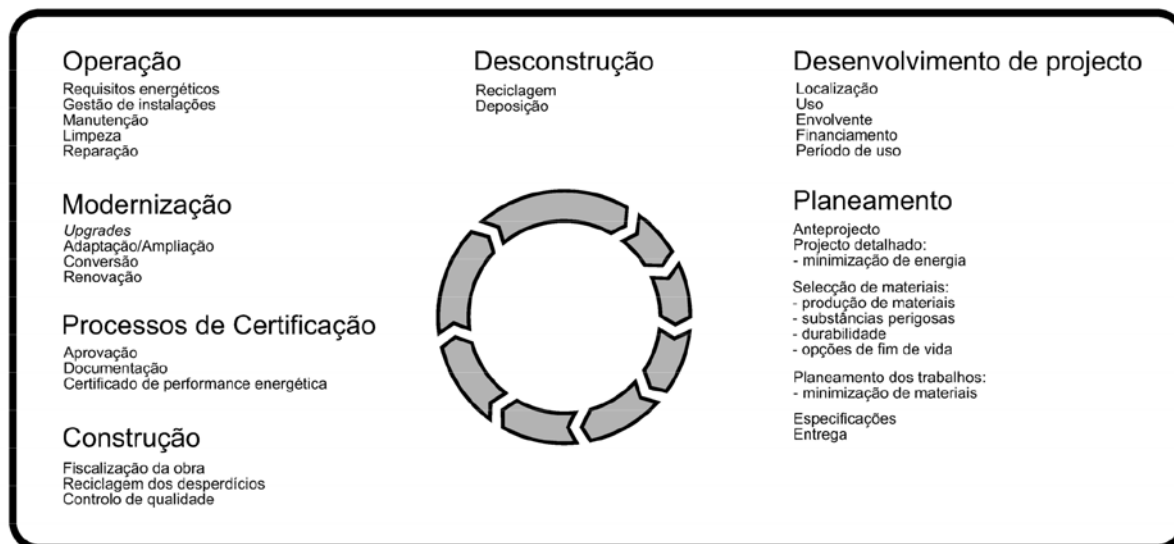


Figura 31 – Ciclo de vida de um edifício e as actividades a este associadas, adaptado de [4].

³⁰ Do inglês, *Life Cycle Environmental Performance*.

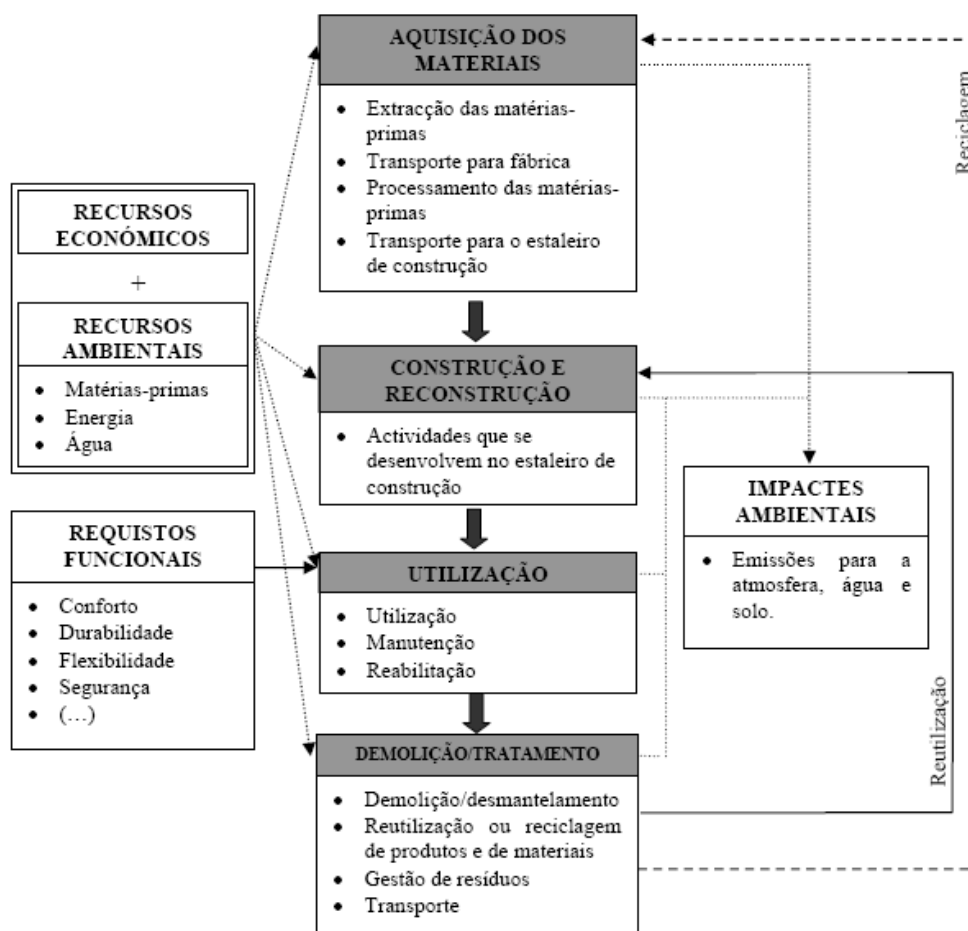


Figura 32 – Abordagem integrada ao ciclo de vida de um edifício [40], citando [49].

4.2. CATEGORIAS DE USO DA ENERGIA NOS EDIFÍCIOS

4.2.1. INTRODUÇÃO

Uma análise energética ao longo do ciclo de vida de um edifício envolve um estudo das necessidades energéticas do mesmo, assim como o seu respectivo impacto ambiental. A análise inclui tanto a energia requerida para a sua construção, como a energia utilizada durante a ocupação, manutenção, renovação e eventual demolição [47].

Podem distinguir-se duas categorias principais do uso de energia num edifício [2, 47], adiante explicadas:

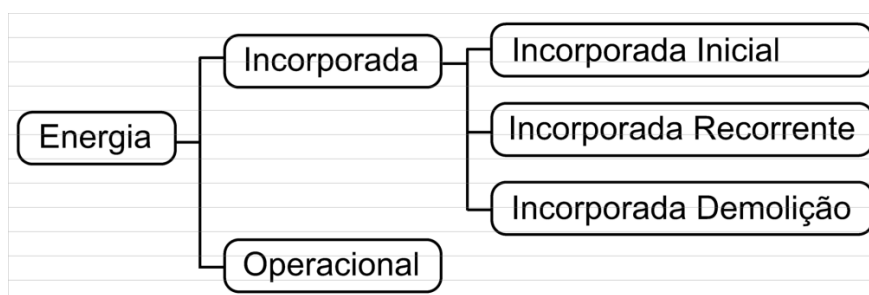


Figura 33 – Categorias de uso de energia em edifícios.

4.2.2. ENERGIA INCORPORADA

A energia incorporada compreende a energia consumida durante a extracção e o processamento de matérias-primas, de transporte das mesmas, da fabricação dos materiais de construção e componentes, do uso de energia para vários processos durante a construção e da demolição/deposição dos constituintes de um edifício [4, 47].

No passado, a visão comum era que a energia incorporada seria pouco significativa comparada com a energia operacional durante a vida de um edifício. Entretanto esta visão tem vindo a mudar, devido à melhoria da eficiência operacional dos edifícios [4, 47].

Em [4], é referido que na Alemanha, a energia incorporada num edifício pode representar cerca de vinte vezes a energia requerida anualmente para a operação do mesmo [4].

A energia incorporada pode ser dividida em energia incorporada inicial, energia incorporada recorrente e energia incorporada de demolição [2] [47], tal como já foi exposto.

A importância de considerar não só os impactes ambientais causados pelo consumo de energia operacional dos edifícios, mas também os impactos associados com a energia incorporada nos materiais e sistemas em edifícios [2], tem vindo portanto a ganhar protagonismo.

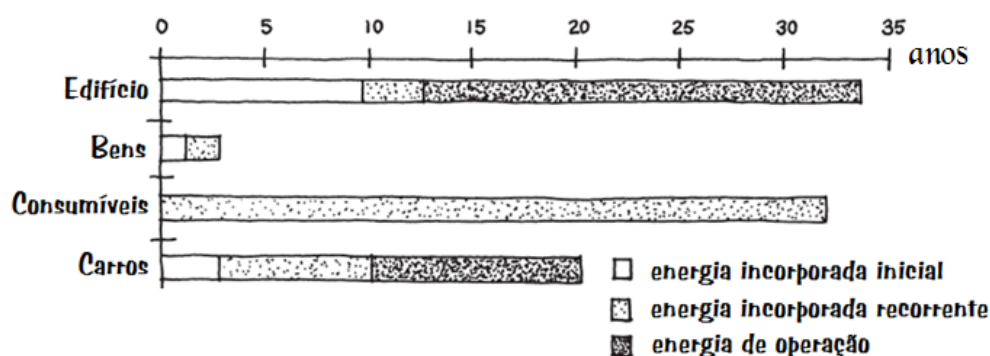


Figura 34 – Exemplos de energia incorporada no ciclo de vida, adaptado de [2].

4.2.2.1. Energia Incorporada Inicial

A energia incorporada inicial engloba a energia utilizada para produzir materiais de construção e componentes assim como energia utilizada na construção [47].

A quantidade de energia usada no local de construção tem aumentado consideravelmente nos últimos anos como resultado da crescente mecanização [7], mas por outro lado este *input* também pode ser mais reduzido devido à crescente utilização de elementos pré-fabricados.

O transporte de produtos e materiais pode ter um papel decisivo no panorama de avaliação energético, dado que actualmente os materiais de construção percorrem caminhos cada vez mais longos com a vulgarização do seu uso em todos os pontos do planeta [2, 7].

A energia requerida para transporte de materiais é normalmente incluída na energia incorporada e é frequentemente vista como uma percentagem pequena de toda a energia incorporada de um material. No entanto, quanto mais baixa a energia de processamento de um material, ou quanto mais leve este for, maior é a influência da energia de transporte no total da energia incorporada. Assim, a percentagem da contribuição da energia de transporte para a energia incorporada de um material pode

aumentar com o aumento da distância e ineficiência do transporte à medida que o peso e processamento de um material diminuem [2].

A construção (em obra) requer também energia eléctrica e combustível para operação dos equipamentos. Estas parcelas contribuem para um impacto indirecto de energia incorporada associado aos inputs de energia necessários para a produção destes mesmos equipamentos, para o transporte dos mesmos para o local da obra e para os manter em funcionamento. No entanto, esta última parcela de consumo de energia é frequentemente ignorada devido à dificuldade ou indisponibilidade de informação fidedigna, sendo o seu contributo considerado pequeno comparado com a energia incorporada usada no fabrico aos materiais de construção [47], para além do facto de cada obra ter as suas características próprias por variados motivos.

4.2.2.2. Energia Incorporada Recorrente

A energia incorporada pode ser recorrente ao longo da vida de um edifício, devido à manutenção periódica e renovação de materiais [2, 7].

Sendo medida durante a ocupação do mesmo, a energia incorporada recorrente inclui o consumo energético de materiais de construção usados durante a manutenção de edifícios e reparações ao longo do seu ciclo de vida útil, incluindo [47]:

- energia da produção de materiais consumidos (lâmpadas, fluidos de limpeza, tinta, materiais de substituição e materiais novos);
- parcela de energia devido ao fabrico de ferramentas de manutenção, escadas, etc;

Deste modo, quanto maior a vida útil de um edifício, maior expressão adquire a parcela de energia incorporada recorrente, sendo o efeito da energia incorporada inicial atenuado [47].

O cálculo da energia incorporada deverá incluir o fornecimento de materiais de construção e componentes para manutenção e substituição durante toda a vida útil do edifício [47], embora a previsão deste tipo de cenários seja uma tarefa difícil para casos gerais, afigurando-se mais plausível de ser aplicada a casos específicos de edifícios com funções muito restritas e programadas, como por exemplo, edifícios industriais ou de escritórios.

4.2.2.3. Energia Incorporada de Demolição e Deposição

No final do período de vida útil de um edifício é usada energia para a demolição e subsequente transporte dos detritos. Esta energia é outra parcela integrante da análise de ciclo de vida energética. As actividades de demolição correntes são grandes consumidoras de energia e originam grande quantidade de resíduos. No entanto, é difícil estimar a energia usada para a demolição, assim como a vida útil de um edifício [47], e saber quando, como e que processos são utilizados na demolição.

Deste modo, devido ao elevado grau de incerteza respeitante à energia dos processos de demolição e a quantidade desconhecida de variáveis, a energia de demolição não é considerada em grande parte dos estudos acerca da energia incorporada [47].

4.2.3. ENERGIA DE OPERAÇÃO

O uso operacional da energia tem início aquando do princípio da sua utilização, continuando até que o edifício seja finalmente demolido [47].

Também conhecida como consumo energético durante o uso, esta parcela corresponde à energia usada para a operação dos edifícios como a energia necessária para climatização, ventilação e alimentação de aparelhos e equipamentos, sendo o destino principal deste tipo de energia o conforto dos ocupantes dos edifícios ao longo da sua vida útil.

O peso da parcela de energia de operação reflecte-se no consumo de energia ao longo da vida do edifício dado que quanto mais longa a esperança de vida de um edifício, maior quantidade de energia é exigida para o seu uso. Além do mais, o consumo de energia operacional poderá aumentar à medida que o edifício fica mais velho devido aos sistemas que se tornam ineficientes.

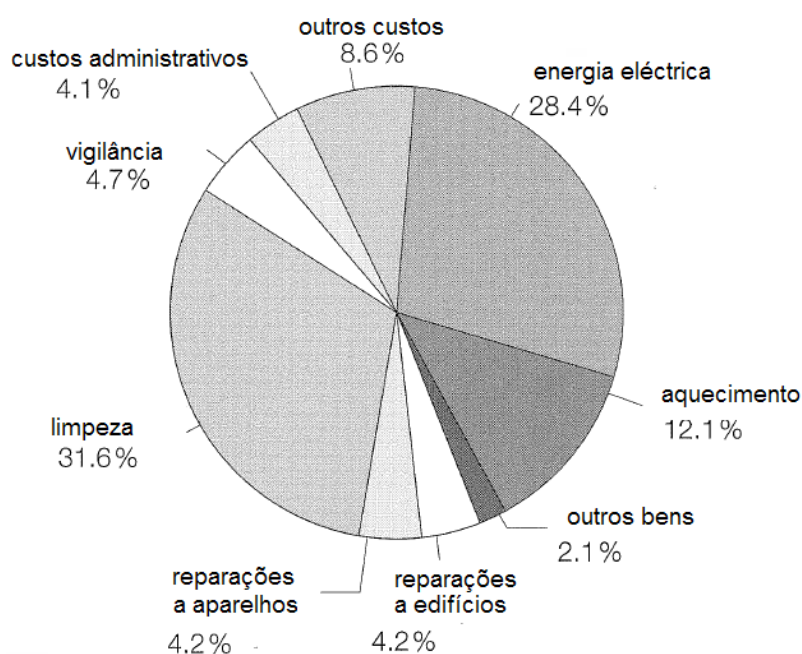


Figura 35 – Distribuição típica de custos de operação de um edifício de escritórios, adaptado de [4].

O uso da energia operacional varia consideravelmente consoante[47]:

- os padrões de uso dos edifícios;
- o tipo de clima e estação do ano vigentes;
- a eficiência energética do edifício ;
- os seus sistemas e o modo como o edifício é usado e gerido.

A variação do clima de região para região ao longo do ano será um factor diferenciador no uso de energia para aquecimento e arrefecimento em diferentes edifícios. As rotinas de manutenção e reparação também afectarão esta energia [47].

A energia operacional é normalmente expressa em termos de energia por unidade de área de pavimento por ano (MJ/m²/ano) e é calculada multiplicando o uso de energia anual pela vida útil de um edifício (por exemplo 50 anos) para estimar o total de energia operacional [47].

Um edifício é tipicamente construído para ser utilizado durante um período longo de tempo. Assumindo que será usado entre 15 a 50 anos, a quantidade de energia consumida na operação do edifício pode ser até 5 vezes a quantidade de energia requerida para o construir [2], razão pela qual poucas dúvidas existem a respeito do facto da energia operacional ser de longe a parcela de energia mais estudada quanto à eficiência energética de edifícios [47].

4.3. MATERIAIS E COMPONENTES

4.3.1. INTRODUÇÃO

Tal como um edifício tem um ciclo de vida, implicando consumo de energia e recursos, também os materiais o têm como partes constituintes do todo. Os materiais são muitas vezes compostos por diferentes tipos de matérias-primas, repartindo-se os seus impactes a nível de *input* energético, de desempenho, de consumo de recursos materiais e de emissões de poluentes [2].

Sendo o ambiente construído um ambiente material, este agrega uma larga proporção de recursos renováveis e não renováveis que são extraídos da Terra para o consumo humano, estimando-se que um m³ de espaço fechado de um edifício consome cerca de 450-650 kg de materiais, o que constitui um indicador do consumo intensivo de materiais pela indústria da construção [4].

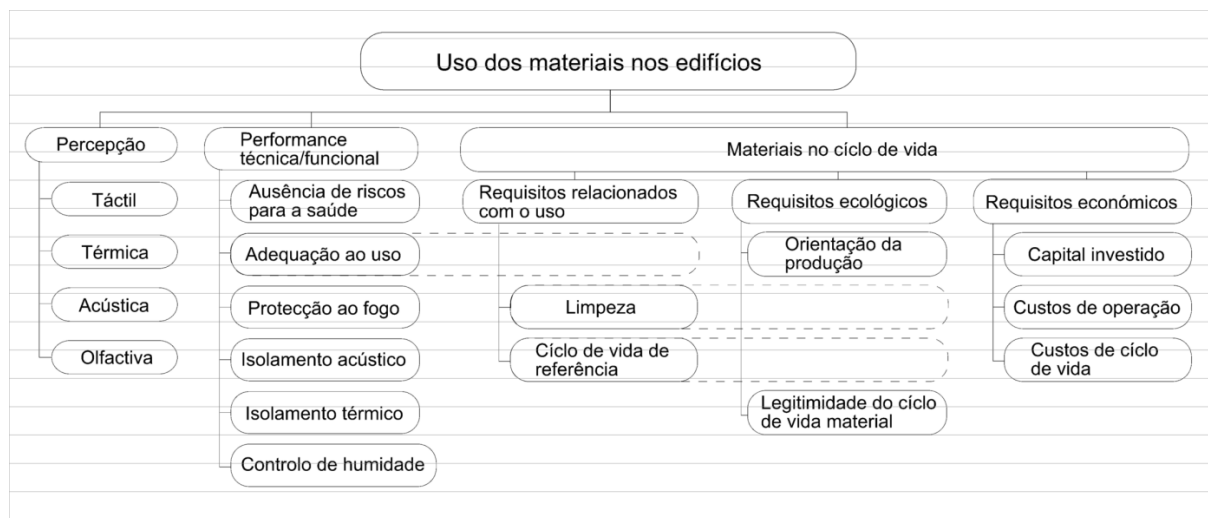


Figura 36 – Aspectos relativos à selecção de materiais, adaptado de [4].

A decisão da incorporação de determinados materiais na construção é governada por aspectos como [4]:

- propriedades físicas e químicas;
- dimensão;
- custo;
- informação técnica;
- informação funcional;

Estes aspectos indicam se um dado material ou componente satisfaz as exigências a que se propõe como as suas exigências funcionais, nomeadamente a segurança no uso e durabilidade derivadas da física das construções [4] que são factores a ponderar na escolha dos mesmos.

4.3.2. MATERIAIS, COMPONENTES E ENERGIA

Um material, através de processos físicos, exerce influência na performance energética de um edifício, especialmente na sua função como parte de um dado componente. Os materiais minimizam o fluxo de calor dado que podem reduzir o consumo energético e contribuir para a poupança de energia operacional, ou contribuir para o efeito contrário consoante as suas propriedades e colocação [4].

A produção, manutenção e demolição, acarretam energia incorporada, podendo os materiais despoletar energia secundária (recorrente) durante o seu uso, especialmente durante a sua manutenção e reabilitação, processos estes que envolvem efeitos relacionados com a energia, ecológicos e económicos durante o seu ciclo de vida [4].

Segundo *Berge*, em [7], pode ser feita uma distinção entre recursos materiais que representam os constituintes de um recurso e recursos energéticos, o tipo e quantidade de energia necessários para produzir o material, podendo os problemas serem abordados em termos de poluição energética e poluição material. A poluição energética estará fortemente relacionada com o consumo de energia primária (PEI) e fonte de energia utilizada.

A poluição material encontra-se principalmente relacionada com os poluentes no ar, Terra e recursos aquáticos, com os constituintes do material ao serem processados, com o uso e sua deterioração. O cenário torna-se mais complexo tendo em linha de conta que a indústria da construção utiliza cerca de 80 000 químicos diferentes, e que o número de químicos que afectam a saúde alegadamente quadruplicou desde 1971.

A poluição energética é também causada pelo transporte de materiais. Os factores decisivos relacionados com o transporte são [7]:

- tipo de material;
- peso;
- método de transporte;
- distância transportada.

Perante este cenário é necessário avaliar os efeitos da aplicação de um material tendo em mente os seguintes critérios [4]:

- energia;
- ambiente;
- durabilidade³¹.

Segundo *Graham*, em [2], o maior *input* de materiais no processo construtivo é durante a construção. No entanto, continuam a ser adicionados e removidos materiais ao longo do ciclo de vida do edifício, existindo 5 factores principais que influenciam as implicações ecológicas da sua utilização em edifícios:

³¹ Na referência utilizada, o termo empregue era *sustainability* (sustentabilidade). No entanto, optou-se pela tradução por durabilidade por se entender ser um termo mais objectivo à escala do material.

- a magnitude e taxa de consumo de materiais;
- a sua renovabilidade ou não renovabilidade;
- a toxicidade dos materiais e seu modo de fabrico;
- a sensibilidade da fonte de materiais e a distância de transporte;
- os desperdícios produzidos durante a extracção de materiais.

4.3.2.1. Reciclagem, reutilização, Recuperação de energia

a) Reciclagem

Todos os materiais contribuem para efeitos de consumo de recursos e emissão de poluentes, particularmente no seu processo produtivo. Através da reciclagem de produtos, existe potencial para prevenção de impactes ambientais. Um produto que possa ser facilmente reciclável poderá ter vantagem sobre um produto ambientalmente amigável, mas que não seja reciclável. Na indústria da construção, muitos materiais têm baixa durabilidade e baixo potencial de reciclagem, existindo também produtos que podem ser reciclados várias vezes. No entanto, este potencial não é muito explorado [7], estimando-se que cerca de 50% a 70% da energia consumida na produção de materiais pode ser evitada com o uso da tecnologia da reciclagem [48].

b) Níveis de reciclagem

Existe um modelo hierárquico de níveis de reciclagem [7]:

- **reutilização:** depende do tempo de vida útil de um componente e diz respeito à reutilização da totalidade do componente, com a mesma função que anteriormente desempenhava.
- **reciclagem:** principalmente dependente do grau de pureza do material e é efectuada por fundição ou esmagamento do componente, que entra num novo processo de fabrico, o que é muito eficiente para metais. Os materiais compósitos, por seu turno, não são adequados para reciclar.
- **recuperação de energia:** envolve a combustão de um produto para a produção de energia, sendo vantajoso se um material puder ser queimado numa central local e se os gases libertados não requererem tratamento especial, de modo a que possam ser utilizadas fornalhas simples.

4.3.2.2. Energia Incorporada nos Materiais

A produção de materiais de construção e componentes e a própria montagem em obra, têm associado uma dada proporção de energia [4].

A energia incorporada de um material é a energia necessária para [2]:

- extracção;
- processamento;
- fabrico;
- transporte de materiais de construção e produtos e sua entrega à obra;

A quantidade de energia utilizada na produção de materiais de construção representa, alegadamente, entre 6 a 20% do total de consumo de energia durante um ciclo de vida de 50 anos, variando consoante o método de construção, clima, entre outros factores [7].

A quantidade absoluta de energia incorporada em diferentes materiais de construção pode variar dependendo de onde e como diferentes materiais de construção são fabricados. Os impactes

ambientais da produção dessa mesma energia variam consoante o tipo de combustível e método de geração de energia [2].

A energia incorporada é um indicador conveniente do impacto ambiental de um material devido a emissões e desperdícios associados com os recursos energéticos usados na indústria.

Perante o cenário exposto, levantam-se portanto as questões da escolha dos materiais mais adequados, tanto do ponto de vista estético como funcional. Estas escolhas, segundo os princípios que tem vindo a ser expostos, deverão estar associadas a preocupações no sentido de redução dos fluxos de matéria no processo construtivo, tanto ao nível de energia como material [4].

O conhecimento da energia incorporada nos materiais de construção será um auxiliar aos projectistas para a escolha mais consciente de materiais tendo em conta o seu desempenho ambiental, desempenhando neste âmbito a fase de projecto um papel crucial, com o estudo de alternativas de materiais antes da tomada definitiva de decisões [47].

I. Input de Energia Primária nos Materiais de Construção

O input primário de energia, PEI³², descreve a energia incorporada num material de construção, sendo a energia necessária para o fabrico de um produto de construção e é responsável por cerca de 80% do input de energia num material. O PEI pode ser dividido da seguinte forma [7]:

- consumo de energia directo na extracção de matérias primas e processo produtivo;
- consumo secundário no processo de fabrico;
- energia no transporte de materiais primas e processadas;

Este índice utiliza várias unidades de referência, normalmente o m³ e o kg, podendo fazer a distinção entre consumo energético renovável e não renovável. A unidade de medida é o Mega Joule, MJ e são também usados factores de conversão³³ [4].

Os materiais podem ser separados consoante a sua categoria de consumo de energia, entre materiais de alto consumo energético, por exemplo os metais, vidro e plásticos, e de baixo consumo energético como o gesso e barro.

Com os dados do PEI, os projectistas podem escolher diferentes materiais, particularmente no que respeita à procura de inputs energéticos mais baixos. O transporte de produtos contribui também para o consumo de energia primária, que pode ser muito variável, mas não deve ser subestimada quando a sua quantificação é possível.

II. A necessidade de um funcional equivalente

No que respeita ao PEI como parâmetro de comparação de materiais diferentes, é importante destacar que os materiais de construção apresentam diferentes eficiências e características. Deste modo, um material com um grande input energético pode ser tão 'bom' ou 'melhor' do ponto de vista de energia,

³² Do inglês, *Primary Energy Input*.

³³ 100 MJ = 2,8 l de petróleo; 3,6 MJ = 1 kWh.

quanto um que consome menos na sua produção, mas requer uma menor quantidade para exercer a mesma função.

A definição do funcional equivalente facilita a comparação entre diferentes materiais de construção ao especificar, por exemplo, a espessura de material necessária para a mesma performance.

III. Entropia

A entropia representa a interface entre o consumo de recursos e energia. Assim, esta acontece quando matérias-primas, componentes e fluxos materiais se fundem³⁴ durante o processo produtivo de fabrico e só podem ser separados de novo com um input de energia muito elevado [4].

No sentido da minimização da entropia, procurar-se-á uma menor geração de fluxos materiais e mantê-los tão separados quanto possível. No entanto, este princípio pode conduzir a maus resultados quando aplicado cegamente.

A título de exemplo, o alumínio, é dos materiais com maiores inputs energéticos, consumindo muita água, tendo a água desperdiçada uma grande quantidade de metais pesados. Apesar disso, este material tem uma durabilidade muito elevada e pode ser facilmente reciclável [4], o que prova que cada caso deverá ser analisado tendo em conta não só os factores gerais, mas sim pensado no contexto de cada produto.

Como princípios gerais, a redução da entropia deverá assentar nos seguintes princípios [4]:

- extracção e processamento locais;
- reutilização de sucata e desperdícios da produção;
- separação clara de cadeias produtivas através de, por exemplo, produção de subprodutos recicláveis e classificados³⁵;
- minimização das embalagens;
- minimização das distancias de transporte,
- produção de materiais que permitam a separação dos seus constituintes sem grande input energético.

Em suma, este conceito permite concluir que materiais mais facilmente decomponíveis e facilmente dissociáveis tanto mecanicamente, como por processos industriais químicos e físicos, serão mais valiosos na perspectiva da reutilização e reciclagem ambientalmente correctas.

IV. Declaração ambiental de produto – EPD

Os dados acerca do input de energia primária de um produto são especificados no âmbito normativo internacional, como parte das declarações ambientais de produto do tipo III (*type III environmental product declarations*), sendo esta informação providenciada pelos fabricantes [4].

4.3.2.3. Energia Incorporada em Componentes de Edifícios

A consideração dos materiais no seu contexto funcional conduz-nos aos componentes, com os distintos modos de junção, ligação, montagem e conexão. Os componentes são portanto formados por

³⁴ Do inglês, *merge*.

³⁵ Do inglês, *sorted*.

conjuntos de peças materiais e formam camadas³⁶ funcionais que podem ser comparadas umas com as outras [4].

Os grupos de componentes de um edifício acarretam determinadas quantidades de energia primária, sendo que na maior parte dos edifícios, a maior parte da energia incorporada se deve à estrutura resistente, seguindo-se as fachadas e interiores.

A necessidade de manutenção de um edifício durante o seu ciclo de vida depende de [47]:

- tipo de materiais;
- condições climáticas;
- localização de componentes;
- antecipação do tempo de vida dos materiais e componentes;
- frequência da manutenção;
- tipo de construção;
- padrão do consumo de energia dos ocupantes.

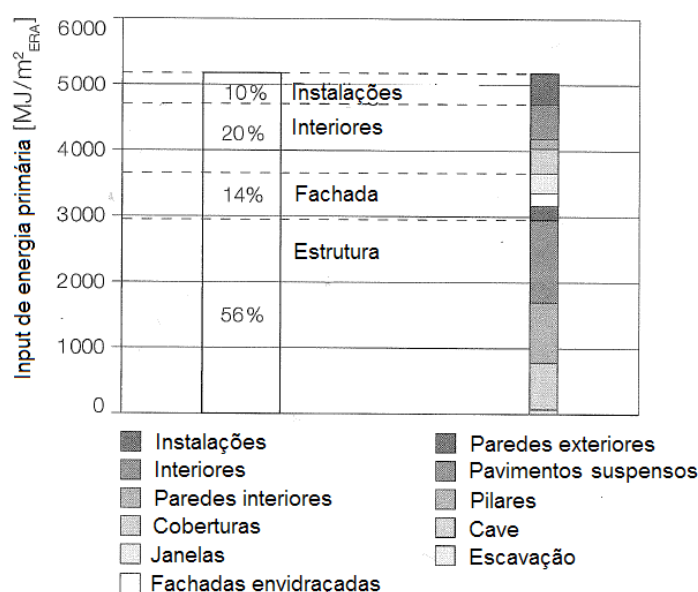


Figura 37 – Input de energia primária de acordo com os grupos de componentes de edifícios de um estudo referido em [4], adaptado de [4].

Por princípio, as camadas funcionais podem ser divididas em 2 grupos [4]:

- componentes invisíveis – requeridas para satisfazer requisitos específicos no edifício;
- componentes visíveis – têm que satisfazer funções estéticas e de valor percebido da estrutura para além dos requisitos funcionais.

As camadas invisíveis podem ser optimizadas comparando a sua energia incorporada sem preocupações de nível estético.

³⁶ Do inglês, *layers*.

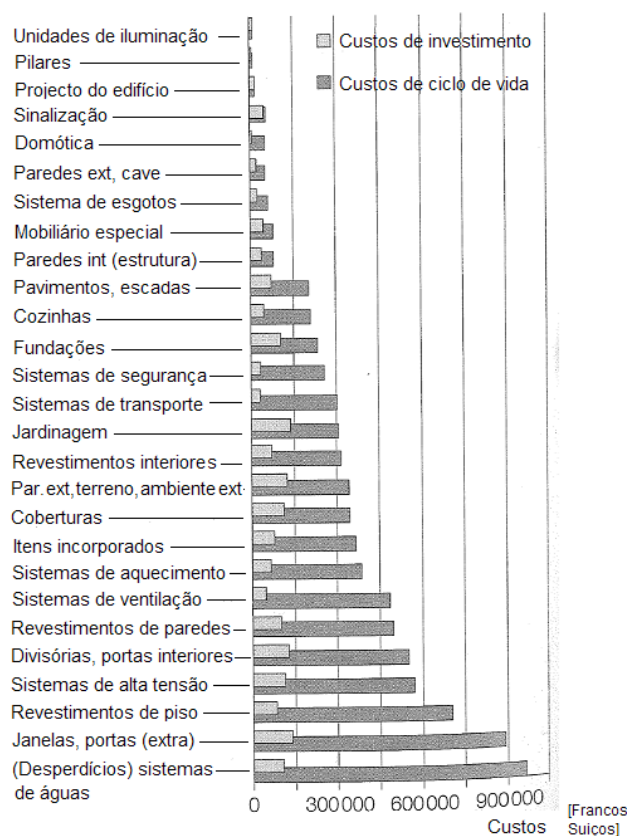


Figura 38 – Custos de ciclo de vida e investimento anuais por componente de construção, adaptado de [4].

4.3.2.4. Energia incorporada ao longo do ciclo de vida do edifício [4]

A análise de componentes de edifícios no que respeita aos requisitos energéticos é um processo de mudança ao longo do ciclo de vida, dado que os diferentes componentes permanecerão no edifício durante períodos distintos de tempo, envolvendo o processo de renovação *inputs* energéticos durante o uso o edifício. A maior fatia da energia incorporada num edifício é, regra geral, devido à estrutura resistente, mas pode ser invertida com a renovação constante de determinados componentes, se um edifício durar por exemplos 100 anos.

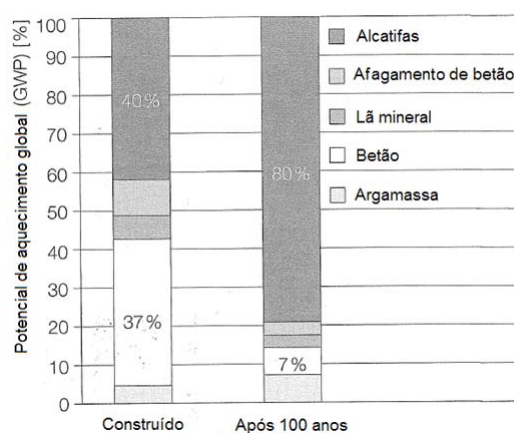


Figura 39 – GWP de um pavimento flutuante desde construído e após 100 anos³⁷, adaptado de [4].

³⁷ Usou-se o gráfico de GWP pois era o único disponível, partindo-se do princípio que existe proporcionalidade entre o GWP e o consumo energético. Os autores não especificam as condições sob as quais a projecção a 100 anos é feita.

Quanto mais um componente de um edifício é renovado, maior será o seu contributo para a parcela da energia incorporada total.

Em termos de optimização da escolha de materiais, a natureza e progresso no ciclo de vida dos materiais e componentes têm um papel chave, em conjunto com as propriedades dos materiais, quer a nível funcional, de custo e de performance ambiental.

O objectivo de um projecto inteligente é a conjugação da escolha dos materiais com a construção no que respeita ao tempo de vida estimado, e tipo e intensidades de uso, acrescentando ainda o facto de que a optimização ao nível energético está de mãos dadas com a poupança financeira.

4.3.2.5. Optimização dos ciclos de manutenção [4, 47, 48]

As acções de operação e manutenção de um edifício representam uma percentagem muito significativa do investimento inicial.

A utilidade e valor de mercado de um edifício são influenciados pela estratégia de manutenção e exibem um comportamento cíclico. Deste modo, quanto mais elevado o período de uso esperado de um edifício, mais importante é considerar a fase de utilização.

Na definição das estratégias de manutenção dos edifícios há que ter em mente que a fase de investimento é seguida por uma fase de degradação lenta que também é reflectida no valor do edifício ou tipo de ocupação.

Na optimização dos ciclos de manutenção podem adoptar-se duas estratégias:

- ciclos longos com medidas únicas extensivas³⁸; Por exemplo, os ciclos de substituição de juntas englobando apenas componentes envolvem um alto investimento e *inputs* energéticos previstos em tempos bem definidos.
- ciclos curtos com medidas de pequena dimensão frequentes.

Uma estratégia de manutenção frequente pode ajudar no aumento da eficiência económica de um edifício ao longo do seu ciclo de vida, podendo a durabilidade de alguns materiais, como acabamentos interiores, ser mantida intencionalmente baixa, de modo a que a adaptação possa ser feita de acordo com as necessidades de mercado.

Pode ser referido que:

- se existir um requisito de longo prazo para um certo tipo de espaço interior, como é o caso de edifícios residenciais, alta durabilidade em conjunto com pequenos pacotes de medidas são geralmente a melhor solução.
- em casos de edifícios com requisitos variáveis, o uso de componentes muito duráveis não deve ser explorado; nesse caso, o planeamento deverá ter em conta os processos de renovação e, se aplicável, usos secundários para componentes e materiais.
- medidas de modernização abrangentes, devidamente pensadas, também asseguram a utilização a longo termo de um edifício, podendo adaptar-se mais facilmente a mudanças de uso.

³⁸ Do inglês, *extensive one off measures*.

Apesar de tudo, a obtenção de dados relevantes acerca dos ciclos de substituição de componentes de edifícios é difícil, e ainda que exista alguma informação a este respeito, a fiabilidade dessa mesma informação requer alguma investigação antes da utilização da mesma.

4.3.3. DURABILIDADE

Em teoria, a durabilidade descreve o potencial de um material de construção manter as funções a que se destina durante um determinado período de tempo [4].

A duração média de vida dos materiais ou componentes varia de acordo com os tipos de produto e sua expectativa de durabilidade [47], sendo os tempos de vida de serviço dos materiais fortemente dependentes das condições que causam [50]:

- degradações de tipo físico;
- degradações de tipo químico;
- degradações de tipo mecânico.

Na determinação da durabilidade, são comparados os períodos de tempo que os materiais ‘sobrevivem’ sem danos para um determinado cenário de uso [4].

A previsão do tempo de vida útil de um material apenas pode ser feita com fiabilidade quando os dados sobre as propriedades dos materiais poderem ser obtidos, assim como das condições ambientais e suas influencias nas variações das suas propriedades ao longo do tempo [50].

A estimação da durabilidade depende, por exemplo, dos riscos potenciais e contexto da própria construção. Na estimação da durabilidade de um componente, o resultado é uma curva de distribuição normal que descreve os limites superiores e inferiores de um uso típico para probabilidades desde 50% a 90%, dividido em períodos de tempo. O valor mais baixo descreve a durabilidade para um padrão *standard* de planeamento e uso. O valor mais elevado está relacionado com contextos de projecto e uso optimizados [4].

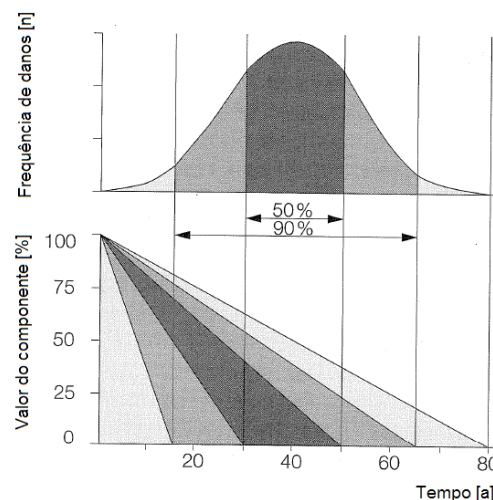


Figura 40 – Cálculo de durabilidade baseado na probabilidade de danos para um material, adaptado de [4].

Ligações facilmente destacáveis e separação clara entre camadas funcionais são necessárias, de modo a garantir renovação e substituição, com um dano mínimo aos restantes componentes.

4.3.3.1. Modelo 'Dente de Serra'³⁹ [4]

O modelo 'dente de serra' constitui um modo de ilustrar graficamente a durabilidade de materiais de construção e componentes, mostrando as suas diferentes durabilidades. O modelo assume que os componentes são usados até ao limite da sua durabilidade antes de serem substituídos, sendo o custo acumulado também evidenciado na representação:

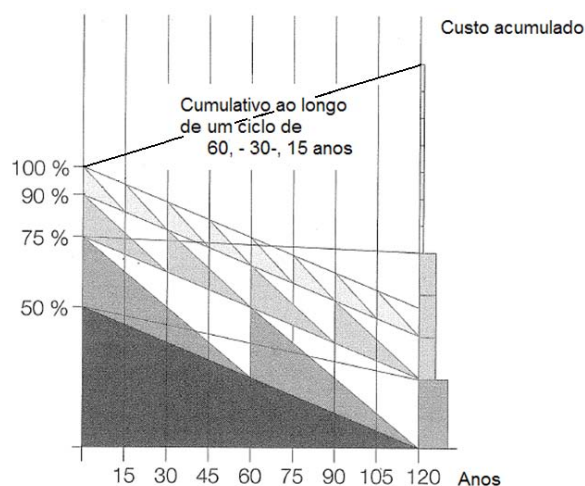


Figura 41 – Durabilidades de várias camadas funcionais sob a forma de um modelo 'dente de serra'a, adaptado [4].

Os diagramas apresentados nas Figuras 41-43, representam os custos acumulados de componentes com diferentes durabilidades ao longo de um determinado horizonte temporal, apresentando no eixo da direita os custos associados ao número de substituições de cada um. Nesta representação admite-se que o custo do componente se amortiza no seu período de vida.

Caso os componentes tenham durabilidade mais elevada, podendo portanto permanecer por mais tempo no edifício, o custo acumulado será mais reduzido, Figura 42.

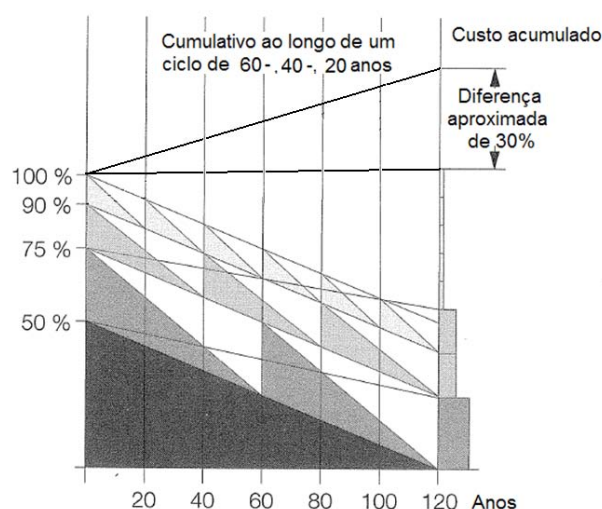


Figura 42- Durabilidades de várias camadas funcionais sob a forma de um modelo 'dente de serra'b, adaptado de [4].

³⁹ Do inglês, *Sawtooth*

Ao utilizar uma variedade mais pequena de componentes de construção, obtém-se um melhor equilíbrio geral pois as substituições relacionadas com ciclos de materiais são mais coincidentes [4] como se pode observar na Figura 43.

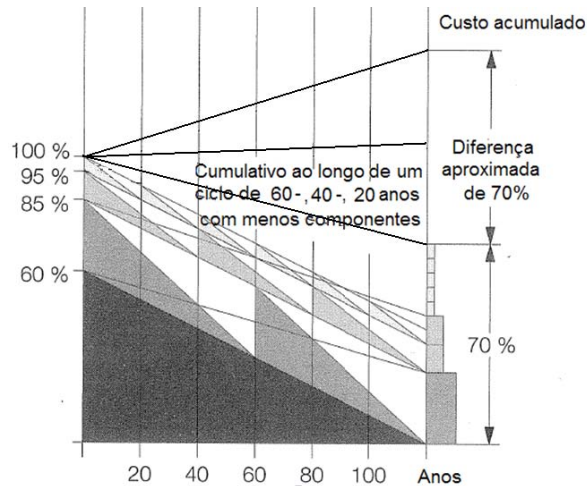


Figura 43- durabilidades de várias camadas funcionais sob a forma de um modelo 'dente de serra', adaptado de [4].

Este modelo revela assim a eficiência de energia e potencial económico da optimização de materiais no que respeita à durabilidade.

O modelo 'dente de serra' ilustra, como modelo teórico, o processo de substituição de materiais de construção e componentes, mas fornece apenas uma informação mínima a respeito de uma manutenção e reparação sensatos.

O modelo parte da premissa que os materiais estão no edifício até deixarem de ter condições de desempenhar a sua função, mas a observação da prática mostra que:

- um processo de renovação nem sempre é despoletado por questões técnicas ou relacionadas com o desempenho funcional dos materiais, sendo frequentemente questões funcionais, questões de segurança e factores estéticos, ou mudança de função que tornam a substituição de certos materiais ou componentes necessária;
- mudanças nos aspectos legais, normativos e regulamentares e o progresso técnico não são facilmente previsíveis;
- a intensidade do uso não pode ser sempre definida de antemão durante a fase de planeamento, podendo esta ser mais ou menos intensa do que o previsto;
- os materiais são mais frequentemente mudados por questões de obsolescência estética do que desgaste⁴⁰;

Em suma, na prática, constata-se que a modernização se prende menos com razões de durabilidade, mas sim com remodelações, mudança de utilização e *marketing*.

⁴⁰ Em *Energy Manual*, é exposto um exemplo respeitante aos ciclos de substituição de casas de banho, revelando que o número de substituições de WC's se dão geralmente ao fim de 25 anos, embora por razões técnicas estes só fossem necessários ao fim de cerca de 55 a 70 anos.

4.3.3.2. Princípios de construção e projecto [4]

Componentes de edifícios com diferentes durabilidades de serviço deverão ser acoplados de modo a que possam ser renovados sem prejudicar ou danificar componentes adjacentes. A construção, segundo estes princípios normalmente diminui a quantidade de energia incorporada.

Não existem valores de durabilidade fiáveis para muitos materiais. Ao nível da montagem, os materiais ligados por ligadores destacáveis facilitam a inspecção e se necessário a substituição.

Os componentes de edifícios podem em alguns casos satisfazer não só os próprios requisitos, mas também os de outras camadas funcionais, pelo que será interessante ponderar este factor no projecto, caso se afigure viável, pois permitiria uma redução do número de camadas.

Componentes de construção, especialmente elementos de serviços de edifícios, devem ser facilmente acessíveis.

Os tempos de vida dos serviços de edifícios são frequentemente sobrestimados e o facto de precisarem de actualizações e revisões tecnológicas⁴¹ é frequentemente negligenciado.

4.4. CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS

4.4.1. INTRODUÇÃO [2, 4]

Para além do consumo energético, o uso de materiais desencadeia impactes ambientais devido ao fluxo de recursos envolvidos. A partir do momento em que há necessidade da existência de um edifício, tais fluxos apenas podem ser reduzidos, não eliminados.

A consideração do ciclo de vida dos materiais representa uma nova e até certo ponto uma abordagem ainda pouco explorada, que conjuga conhecimento de vários sectores sociais e económicos.

A análise de ciclo de vida, envolve todo o período de vida de um material de construção, componente ou totalidade do edifício. Deste modo, em princípio, serão tomados em conta as fases da Figura 44.

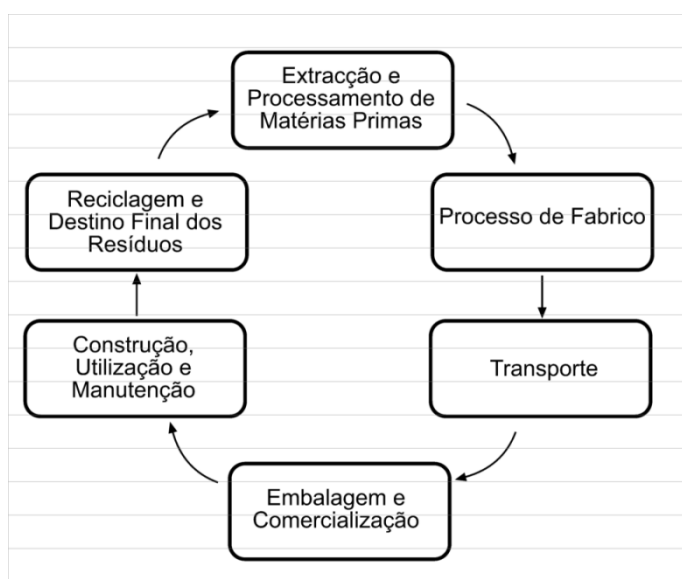


Figura 44 - Fases de uma Análise de Ciclo de Vida, adaptado de [40].

⁴¹ Do inglês, *technological overalls*.

4.4.2. A ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS

Podem apontar-se dois modos distintos de abordar o ciclo de vida de um material [4]:

- enfoque em todos os inputs materiais necessários – MFA, Análise ao Fluxo dos Materiais⁴²;
- enfoque nos efeitos ambientais resultantes – ACV – Análise de ciclo de vida⁴³;

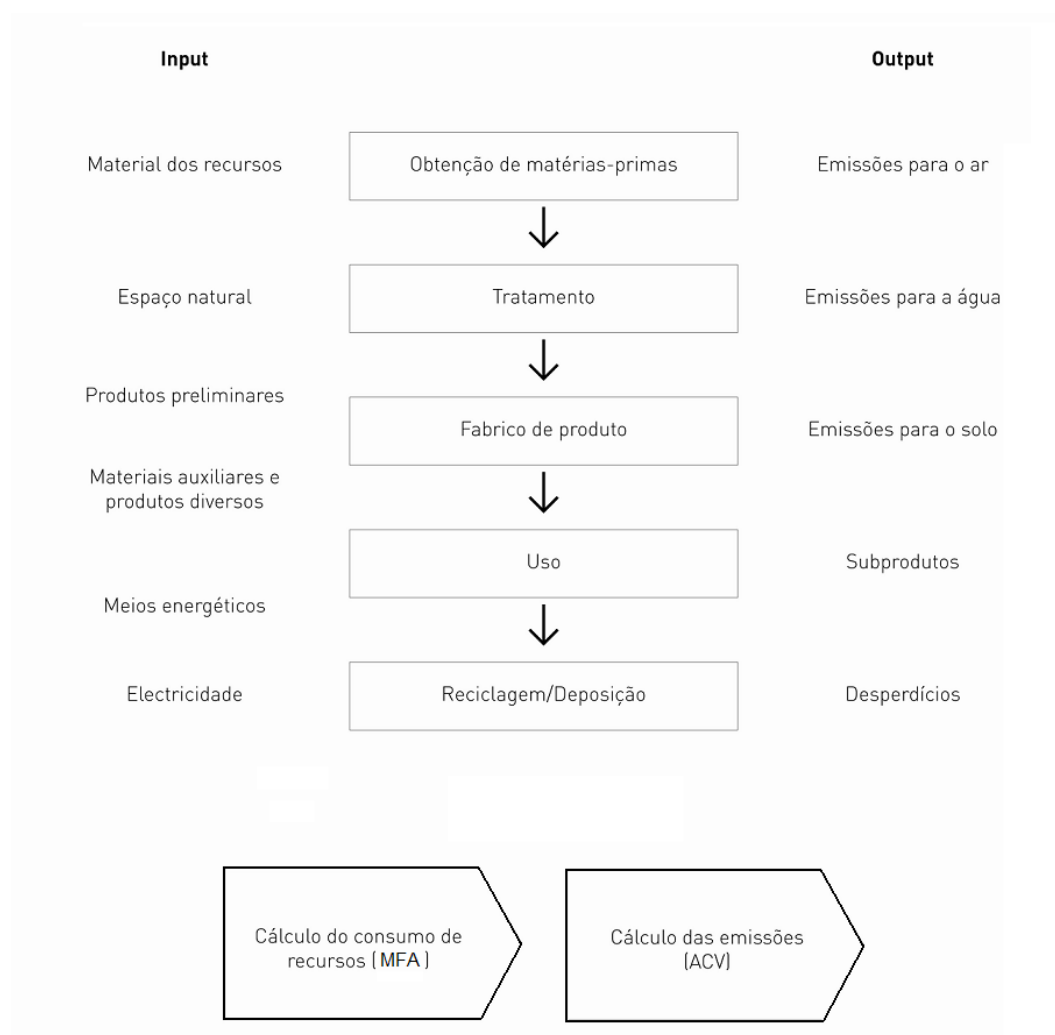


Figura 45 – Relação *input/output* na cadeia produtiva de um material de construção, adaptado de [4].

4.4.2.1. Análise ao Fluxo dos Materiais - MFA [4]

O MFA⁴⁴, *input* material por unidade de serviço, representa a soma dos *inputs* materiais necessários para a produção e uso de um produto de construção ou componente. Os materiais requeridos para a produção são ordenados como intensidades materiais, formando o *input* material relacionado com o peso próprio do material medido em '*input* de kg' por '*output* de kg'. A unidade de medida usada é 'kg/MJ'.

⁴² Do inglês, *Materials Flow Analysis*.

⁴³ Do inglês, LCA, *Life Cycle Assessment*.

⁴⁴ Do inglês, *Material Input Per Service Unit*.

As intensidades materiais são distinguidas de acordo com fontes de recursos tais como:

- recursos abióticos;
- recursos bióticos;
- solo;
- água;
- ar.

O *input* total de um material, também conhecido como mochila ecológica⁴⁵, é a soma do peso próprio do produto e suas necessidades materiais. Este processo revela os fluxos materiais e identifica os principais recursos usados por unidade de massa. O conceito MFA tem em consideração todos os passos de conversão necessários para a produção e oferece aos técnicos a oportunidade de agregar os fluxos materiais existentes.

No entanto, aponta-se como falha deste método a limitação em identificar os efeitos ambientais negativos dos processos individuais, não podendo a análise ser repartida de acordo com os diferentes efeitos como alterações climáticas, perda de biodiversidade, toxicidade, entre outros.

Este método tem a vantagem de produzir um resultado final da sua aplicação, o que não é possível de forma rigorosa com o ACV, como será descrito de seguida.

4.4.2.2. Análise de Ciclo de Vida - ACV⁴⁶

A análise de ciclo de vida ACV é uma metodologia usada na avaliação do impacto ambiental ao longo da vida de um produto, processo ou actividade [47], sendo um processo iterativo com o objectivo de permitir a selecção de materiais tendo em conta o seu perfil ambiental [2].

A metodologia ACV toma os fluxos materiais como ponto de partida, convertendo-os em efeitos e pode ser aplicado não só a produtos de construção, mas também a todos os processos de serviços, procedimentos de produção, empresas, entre outros [4].

A análise de ciclo de vida considera todo o ciclo de vida de um produto, desde a extracção e obtenção de matérias-primas, passando pela produção e fabrico de materiais e energia, utilização, tratamento e fim de vida [51].

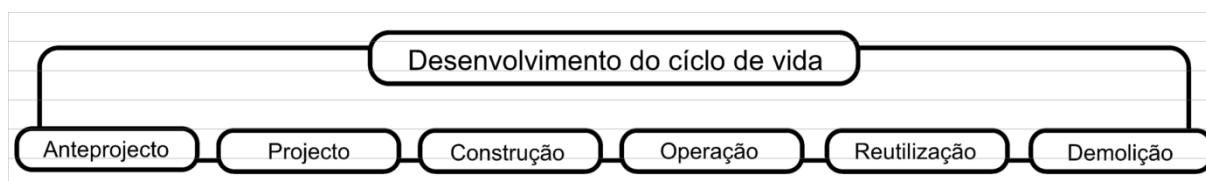


Figura 46 – Desenvolvimento da análise de ciclo de vida, adaptado de [2].

A análise de ciclo de vida é também conhecida como a análise de berço ao túmulo⁴⁷, desde a extracção inicial ao processamento de matérias-primas até a deposição final [47], embora esta possa ser feita entre etapas que se deseje como será exposto de seguida.

⁴⁵ Do inglês, *Ecological Rucksack*.

⁴⁶ Do inglês, LCA, *Life Cycle Assessment*.

A norma ISO 14044 estipula que a ACV poderá ser utilizada numa vasta gama de aplicações, podendo, com a devida justificação, ser usada em outros estudos que não estudos de ACV ou de ICV. Exemplos disso são [52]:

- estudos do berço-ao-portão⁴⁸;
- estudos do portão-ao-portão⁴⁹;
- partes específicas do ciclo de vida (por exemplo, gestão de resíduos, componentes de um produto).

Este método tem vindo a ser largamente usado na Europa e nos Estados Unidos como comparação de produtos, tendo sido estendido para a inclusão de políticas governativas, planeamento estratégico, e design de produtos, permitindo uma avaliação de como os impactes são gerados e distribuídos ao longo de vários processos durante o ciclo de vida [47].

Nos edifícios, a aplicação mais sistemática que tem sido efectuada no âmbito da ACV é conceptual, embora, crescentemente nos materiais e, pontualmente, nos edifícios, cada vez mais existam abordagens simplificadas e até detalhadas [1].

Esta metodologia é preconizada na série de normas ISO 14000 [4], nomeadamente nas ISO 14040 e ISO 14044, estando as normas europeias a ser adoptadas nesse sentido (ISO 14042, ISO 14043, ISO 14049, entre outras).

I. ALGUNS PRINCÍPIOS GERAIS DA ACV SEGUNDO A NORMA NP ISO 14040 [52]:

- Ênfase ambiental:** a abordagem é feita apenas relativamente a aspectos ambientais, estando fora do seu âmbito aspectos de índole económica e social.
- Abordagem relativa e unidade funcional:** A abordagem é relativa, estando estruturada em torno de uma unidade funcional, que define o que está a ser estudado.
- Abordagem iterativa:** As fases individuais utilizam resultados de outras fases.
- Transparência:** importante no sentido de assegurar uma correcta interpretação dos resultados devido à complexidade inerente à ACV.
- Compreensão:** São tomados em conta todos os atributos ou aspectos do ambiente natural, saúde humana e dos recursos, de modo a serem identificados e avaliados os compromissos possíveis com base numa perspectiva transversal.
- Prioridade da abordagem científica:** dá-se prioridade à abordagem científica natural, admitindo-se porém, na impossibilidade de aplicação estrita da mesma, a recorrência a outras abordagens científicas como por exemplo ciências sociais ou económicas, ou até mesmo convenções internacionais.

⁴⁷ Do inglês, *cradle-to-grave*.

⁴⁸ Do inglês, *cradle-to-gate*.

⁴⁹ Do inglês, *gate-to-gate*.

II. TERMOS E DEFINIÇÕES RELEVANTES SEGUNDO A NORMA NP ISO 14040 [52]

Apresentam-se aqui alguns dos termos e definições constantes da norma ISO 14040 considerados mais importantes.

i. **Produto:** Qualquer bem ou produto.

ii. **Fluxo elementar:** Material ou energia que entra no sistema em estudo que tenha sido extraído do ambiente sem transformação prévia humana, ou material, ou energia que sai do sistema em estudo que é libertado para o ambiente sem subsequente transformação humana. Estes fluxos incluem portanto a utilização de recursos e as emissões e descargas para o ar, água e solo associadas ao sistema.

iii. **Processo:** Conjunto de actividades inter-relacionadas ou que interagem entre si, que transforma entradas em saídas.

iv. **Sistema de produto:** Conjunto de processos unitários com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas, e que modelam o ciclo de vida de um produto.

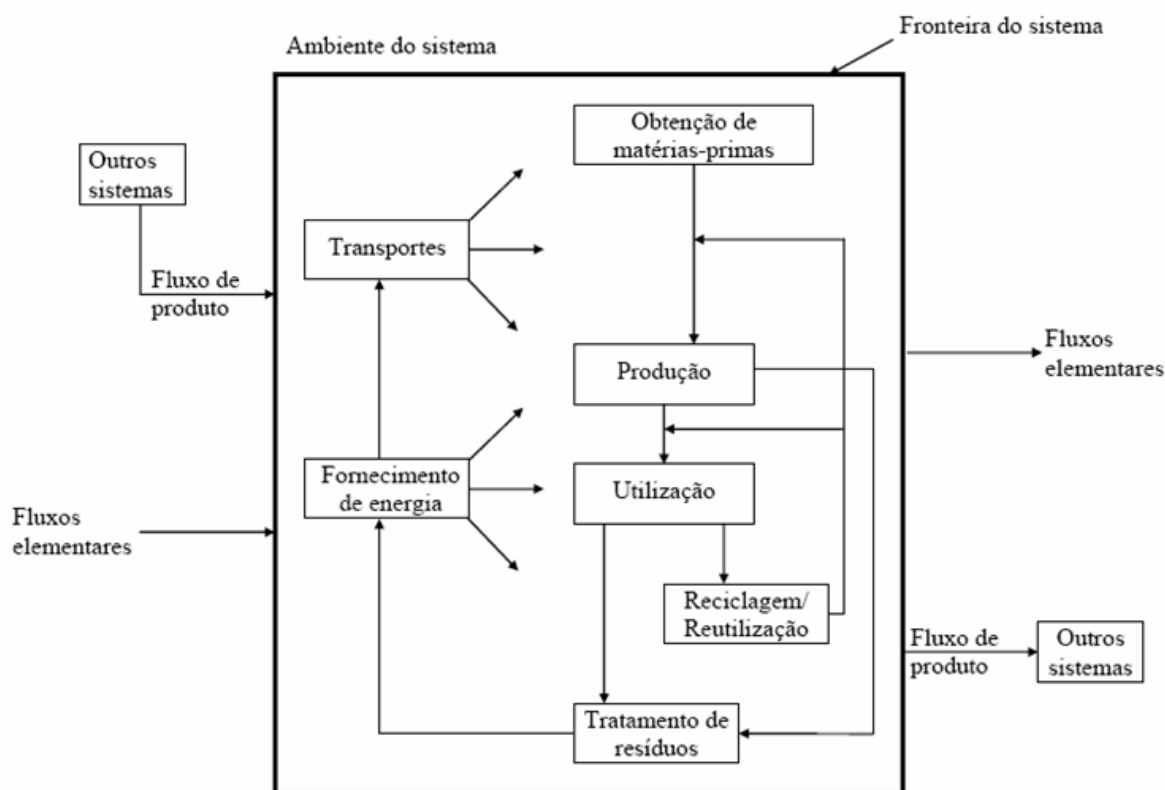


Figura 47 - Exemplo de um sistema de produto para a ACV [52].

v. **Fluxo de produto:** Produtos que entram ou saem para outro sistema de produto.

vi. **Processo unitário:** O menor elemento considerado no inventário do ciclo de vida para o qual os dados de entrada e saída são quantificados.

vii. **Unidade funcional:** Desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência.

“O objectivo principal de uma **unidade funcional** é fornecer uma referência à qual as entradas e saídas sejam relacionadas”, de modo a “assegurar a comparabilidade dos resultados da ACV, “que é particularmente crítica quando se avaliam sistemas diferentes”, constituindo portanto uma base comum [52].

- viii. **Fluxo de referência:** Medida das saídas de processos de um dado sistema de produto necessária para cumprir a função expressa pela unidade funcional.
- ix. **Fronteira do sistema:** Conjunto de critérios que especificam que processos unitários são parte de um sistema de produto.
- x. **Fluxo de referência:** reflecte a quantidade de produtos necessária ao cumprimento da função.
- xi. **Crítérios de exclusão:** especificação da quantidade de fluxo de material ou energia ou do nível de significância ambiental associado aos processos unitários ou sistema de produto a serem excluídos de um estudo.
- xii. **Alocação:** imputação dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto entre o sistema de produto em estudo e um ou mais outros sistemas de produto.

É feita uma divisão dos sistemas de produto num conjunto de processos unitários, facilitando-se assim a identificação das entradas e saídas do sistema de produto. Os processos unitários, por sua vez, “estão interligados por fluxos de produtos intermédios e/ou resíduos para tratamento, a outros sistemas de produto por fluxos de produto, e ao ambiente por fluxos elementares”. “O nível de detalhe da modelação requerido para satisfazer o objectivo do estudo, determina a fronteira do processo unitário [52].

À luz da bibliografia consultada e seguindo a estrutura e nomenclatura constantes das normas ISO 14040 e ISO 14044, serão expostas, resumidamente, as fases do processo ACV.

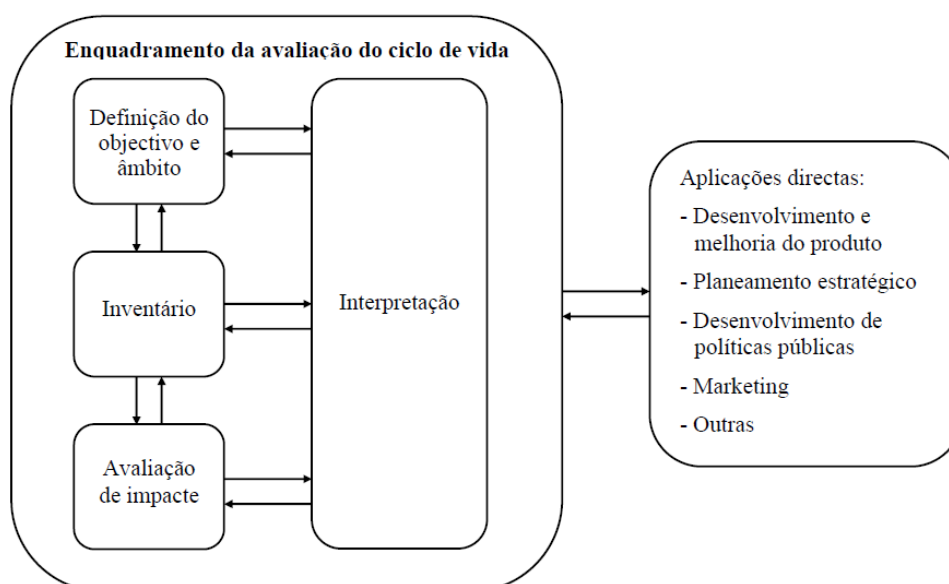


Figura 48 – Fases de uma ACV [52].

III. DESCRIÇÃO DAS FASES DA ACV

Uma ACV compreende 4 fases interligadas por ciclos iterativos definidos [2, 4, 47, 52]⁵⁰:

1. **Definição do objectivo e do âmbito:** depende do objecto do estudo e da utilização pretendida. Nesta fase são definidos os objectivos do estudo, os produtos e suas alternativas, a fronteira do sistema, os parâmetros ambientais e a estratégia de recolha de dados.
2. **Fase de inventário:** envolve a compilação e quantificação de *inputs* e *outputs* para um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida, assim como a recolha de dados e seu tratamento, a quantificação de materiais, de *inputs* de energia, emissões de desperdícios e a preparação das tabelas de inventário onde o balanço material e energético de um sistema é calculado.

Os estudos de inventário de ciclo de vida, ICV⁵¹ envolvem 3 fases:

- a. definição do objectivo e do âmbito;
- b. inventário;
- c. análise de inventário.

Determina-se nesta fase que processos de conversão de energia e materiais são necessários para um produto e sua produção. Os limites para o balanço, também denominados de critérios de exclusão são também definidos. O critério de exclusão deve ser verificado em caso de materiais que se saibam ser causadores de problemas ambientais ainda que em pequenas concentrações.

3. **Fase de avaliação do impacto de ciclo de vida (AICV):** tem o objectivo de compreender e avaliar a magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais para um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Compila as emissões de todos os passos de conversão de materiais e energia.

Para esta análise, as várias emissões são colocadas em grupos com os mesmos efeitos ambientais e expressos como o equivalente de uma substância perigosa que se saiba ser grande responsável por esse efeito pernicioso.

A tabela de inventário é classificada por categorias de impacto.

4. **Fase de interpretação:** os resultados quer do ICV quer da AICV, ou ambas, são avaliados de acordo com o objectivo e âmbito definidos, com vista a obter conclusões e recomendações.

A análise é dividida em passos para determinar os princípios base⁵² assim como a avaliação e apresentação dos resultados.

A informação relevante para a análise, mas não incluída no balanço como por exemplo emissões durante o uso ou durabilidade, podem também ser apresentadas. Recomendações para o uso do produto podem também ser concluídas a partir daí.

⁵⁰ A estrutura apresentada é a que está patente nas normas ISO que abordam o método ACV.

⁵¹ Do inglês LCI, *Life Cycle Inventory*.

⁵² Do inglês, *core statements*.

Além disso, uma ACV auxilia a tomada de decisões em relação às formas de construção e tipos de materiais [4].

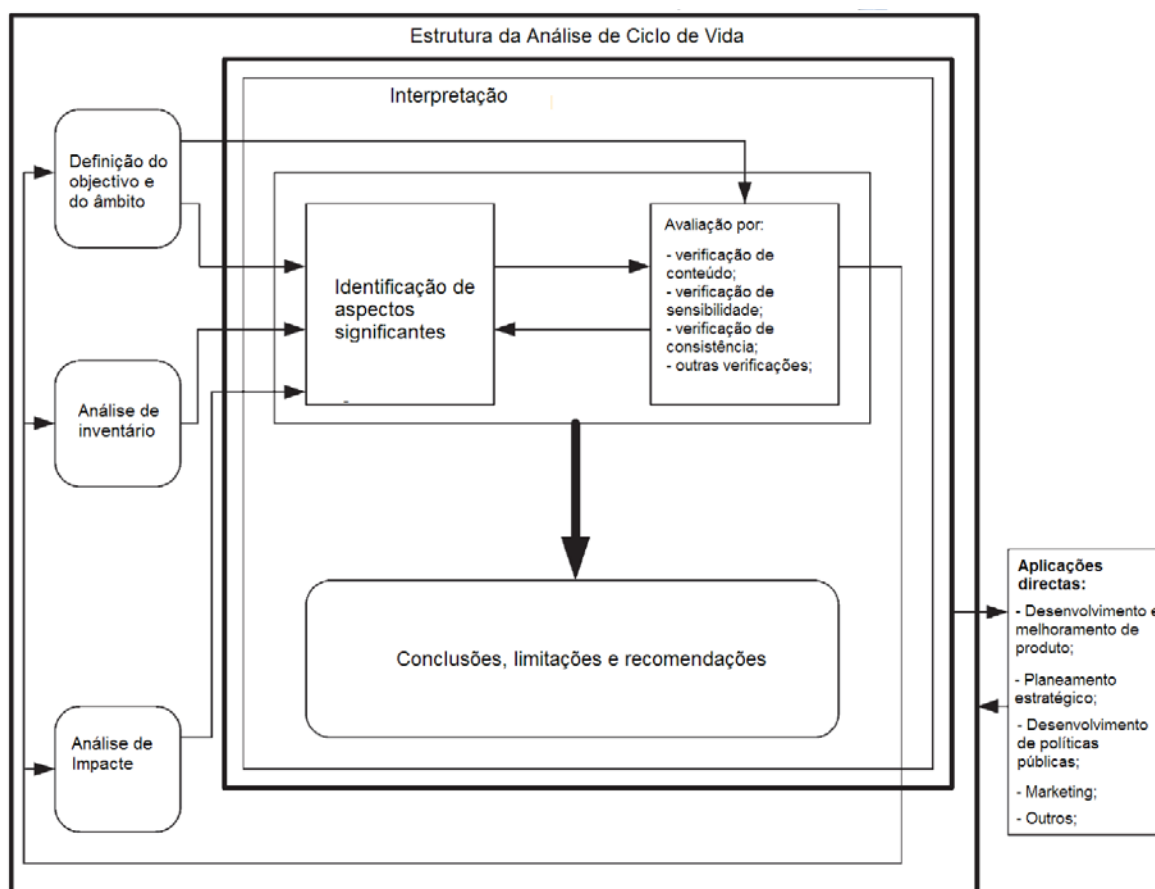


Figura 49 – Relações dos elementos dentro dos limites da fase de interpretação com outras fases da ACV, traduzido de [53].

Em [54], os autores referem que uma análise ACV pode parecer complexa, mas no entanto é fácil de usar por utilizadores experientes e o processo de standardização pela ISO⁵³ têm auxiliado nesse sentido.

Os resultados do ACV de um material de construção deverão ser fornecidos nas declarações ambientais europeias do Tipo III, (*type III European product declarations*) em conformidade com as respectivas normas.

Na Alemanha, a Agência Federal do Ambiente concebeu um método para a classificação e priorização das categorias de impactes. Neste método, as partes da avaliação envolvem [4]:

- amplitude do impacto : global - local; permanente - temporário;
- 'status ambiental' corrente para a categoria de impacto: pernicioso - não pernicioso;
- contribuição da categoria de impacto para a carga total na Alemanha (grande - pequeno);

⁵³ Acrónimo de *International Organization for Standardization*.

Os resultados de um ACV e as conclusões que podem ser tiradas de uma análise deste tipo podem variar dependendo dos limites escolhidos para o balanço. A energia incorporada já descrita é um elemento central num ACV, podendo ser distinguida à luz do que tem vindo a ser exposto, em três níveis [4]:

- materiais de construção;
- camadas funcionais;
- elementos de construção.

Ao sumarizar as declarações de um ACV, concluímos quais os componentes de um edifício que causam as maiores emissões, sendo identificadas as áreas em que se deverão focar mais as actividades de planeamento para uma maior eficiência. As metodologias ACV têm processos de análise complicados e sofisticados, existindo *software* desenvolvido como auxiliar. Produtos como *LISA* e *SimaPro* são usados para a aplicação de ACV [2, 4, 47, 52].

	Fase do CV	1	2	3	4a	4b	5
		Briefing com o cliente	Concepção	Construção	Operação	Renovação	Fim de vida
Ferramenta							
1	Ferramentas de ACV detalhadas – análise de materiais e produtos			sim		sim	sim
2	Ferramentas de design ACV – agregação de eco-pontos			sim		sim	sim
3	Ferramentas ACV baseadas em CAD			sim			
4	Esquemas de avaliação e classificação de edifícios			sim	sim		
5	Listas de verificação e linhas orientadoras	sim	sim	sim	sim		sim
6	Input / output	sim	sim				

Figura 50 – Fases do ciclo de vida e relevância dos sistemas de ACV [1].

No entanto, as ferramentas correntemente disponíveis são ainda pouco utilizadas [55].

IV. LIMITAÇÕES DA ACV

Em contraste com os MIPS, os efeitos das categorias individuais não podem ser somados em conjunto para formar um valor total aplicável na generalidade. Esta é a razão pela qual existe um problema com a ponderação dos parâmetros individuais, sendo uma interpretação global difícil [4].

Alguns países europeus têm desenvolvido normas que possibilitam que uma análise ACV seja expressa como um parâmetro global. Para tal, a modelação e ponderação dos parâmetros foram especificados em legislação e são consequentemente não necessariamente cientificamente rigorosos ou correctos [4].

No entanto, a ACV, consoante a sua profundidade, abrangência e a quantificação dos impactes envolvidos num sistema, pode facilmente tornar-se complexa, cara e muito extensa, o que constitui a principal limitação do emprego dessa metodologia na sua forma mais pura [1, 43].

Um entrave apontado em [54] à ACV é o problema das bases de dados com a informação para a mesma ser efectuada. Esta dificuldade no entanto tenderá a ser ultrapassada devido ao

desenvolvimento de bases de dados nacionais e de âmbito privado. Daqui surge a questão do facto de diferenças entre as bases de dados utilizadas conduzirem a resultados diferentes, podendo comprometer a comparabilidade de resultados de estudos ACV relativos a produtos semelhantes [43, 54] .

Têm vindo a ser desenvolvidos modelos de ACV abreviados e modelos de ACV de rastreio⁵⁴ como tentativas de simplificação [54].

Podem apontar-se aos estudos ACV algumas limitações ou problemas, sejam estes [12]:

- definição de fronteiras;
- aquisição de dados;
- incerteza;
- interpretação de resultados.

Várias análises do mesmo material podem fornecer diferentes resultados baseados em diferentes suposições acerca do âmbito, limites do sistema e fontes de dados, pelo que a normalização terá um papel fulcral neste contexto.

As normas ISO apenas apresentam os componentes que um estudo ACV deverá conter, mas o modo como a análise é conduzida depende do objectivo e âmbito da análise, o que significa que só é possível comparar estudos deste tipo com os mesmos objectivos e âmbito [56].

Os ACV para edifícios completos são ainda escassos, havendo dificuldade em ter disponíveis princípios gerais dos mesmos, especialmente entre regiões ou países [12].

4.4.2.3. LCC – Análise de Custo de Ciclo de Vida⁵⁵ [4, 57]

Na perspectiva do ciclo de vida dos edifícios como um agregado de materiais e componentes, abordar-se-á neste ponto o LCC.

Os custos com planeamento, construção, manutenção, gestão, manutenção de valor, demolição, deposição são compilados num cálculo de custo total, estando o LCC para uma abordagem holística ao planeamento de custo optimizado de um edifício.

O LCC é tipicamente levado a cabo sob a forma de um cálculo do custo de investimento dinâmico, embora os parâmetros, como preço futuros e desenvolvimento da taxa de juro sejam difíceis de prever.

Apesar das suas limitações, não se deverá ‘renunciar’ a este método dado que é uma ferramenta eficiente na medida em que permite a comparação de pacotes de soluções abrangentes.

O LCC apenas se refere aos componentes individuais de um edifício, existindo *softwares* para a sua aplicação que atribuem um determinado tempo de serviço, de acordo com as características dos componentes, a partir das quais custos futuros para o edifício podem ser deduzidos.

A especificação técnica [57] apresenta duas categorias de custos de ciclo de vida:

- valor actual liquido;
- custos anuais.

⁵⁴ Do inglês, *screening*.

⁵⁵ Do inglês, *life cycle costing*.

Estes custos devem ser descriminados desagregadamente:

- custos antes do uso do edifício;
- custos de manutenção;
- custos de operação;
- custos após uso do edifício;
- custos totais.

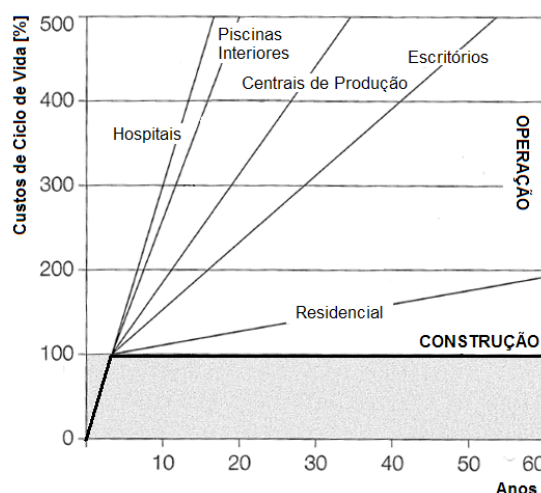


Figura 51 – Exemplos de custos de ciclo de vida para diferentes tipos de utilização, adaptado de [4].

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO [2, 4, 11, 47, 55]

As preocupações relacionadas com a energia têm um papel crucial na procura da sustentabilidade ambiental dos edifícios, incluindo os seus componentes. Sabe-se que a maior parcela do ciclo de vida de um edifício se deve à energia consumida durante a sua utilização (energia operacional). No entanto, à medida que os edifícios se tornam mais eficientes no consumo energético, o peso da energia incorporada aumenta, o que motiva a procura da diminuição desta parcela, através dos materiais e componentes. Existe ainda a preocupação de minimizar também os impactes ambientais do edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida, do qual os materiais e componentes são uma parcela fundamental.

Cabe aos fabricantes a missão de incorporar as preocupações de sustentabilidade, especialmente ao nível energético e ambiental no fabrico dos seus produtos, assim como cabe aos projectistas a missão de selecção dos mesmos com base em informação funcional, de custo ao longo da vida, e de impacte energético e ambiental, tendo em mente que as escolhas efectuadas terão implicações futuras. Deste modo, deverá existir a noção de que os tempos de vida de serviço dos materiais e componentes são frequentemente sujeitos a determinados ciclos que reflectem modas ou gostos, sendo que a ponderação ao nível da durabilidade deve ser estudada.

É importante ter em consideração o facto de que a totalidade do ciclo de vida de um edifício ou material/componente não pode ser completamente prevista e planeada. Assim, todos os princípios, métodos e ferramentas abordados, mais do que instrumentos rigorosos, deverão ser vistos como auxiliares na garantia de opções para quem toma decisões.

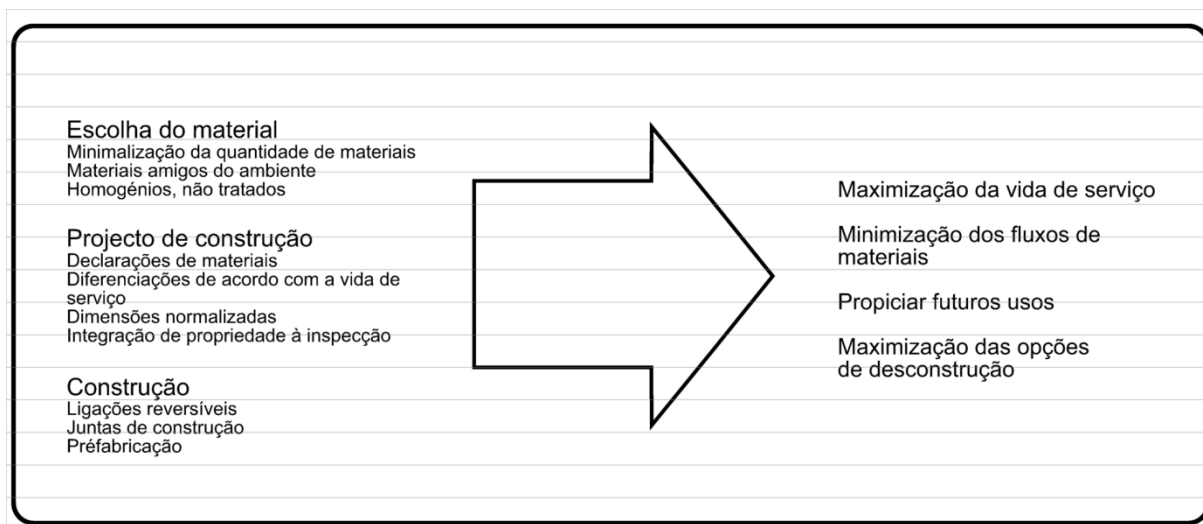


Figura 52 – Recomendações para projecto de acordo com o ciclo de vida para a redução da energia incorporada, adaptado de [4].

A exploração abrangente das capacidades dos materiais, desde os mais simples aos mais avançados, mostra que é vantajoso procurar a simplificação dos sistemas de montagem (sempre que possível), a adaptação da durabilidade às situações particulares, e o uso de materiais renováveis.

Pode dizer-se que a Engenharia tem um papel crucial na procura da melhoria das soluções ao nível energético, com o desenvolvimento de novas tecnologias, e procurando um maior respeito pelo ambiente.

5

DO ACV À DECLARAÇÃO AMBIENTAL DO TIPO III

5.1. INTRODUÇÃO

Uma crescente procura de um ecoproduto, i.e., um produto que cause menos *stress* no ambiente do que um modelo de produto anterior ou produto concorrente durante o seu ciclo de vida, constitui o principal incentivo ao uso da informação contida numa declaração ambiental de produto na sua cadeia de abastecimento [54]. Sendo os produtos geralmente constituídos por vários materiais e componentes, estes deverão assegurar que o conjunto é ambientalmente o menos nocivo quanto possível.

Pretende-se, neste capítulo, à luz do que foi apresentado acerca da ACV e no seguimento das preocupações de desenvolvimento sustentável aplicado à construção previamente descritas, apresentar de que modo pode a informação de uma análise ACV ser extrapolada para a elaboração de uma ‘etiqueta ambiental de produto’. Neste caso as Declarações Ambientais do tipo III, que são objecto da normalização ISO a nível mundial e europeu também.

Para tal, baseado num artigo de Lee [54], apresentar-se-á inicialmente um estudo de caso de uma ACV feito para placas de circuito impresso. Recorreu-se a este caso pelos seguintes motivos principais:

- os exemplos práticos de estudos de caso são escassos, complexos, e pouco claros;
- no artigo utilizado realiza é apresentado um caso de estudo de uma ACV assim como também o estudo de alguns formatos de declarações ambientais de tipo III (para esse mesmo caso). Por uma questão de síntese só será exposto o modelo de declaração recomendado pelos autores;
- entendeu-se que o artigo expõe os assuntos de modo sintético, compreensível e bem organizado.

O capítulo encontra-se redigido um modo um pouco distinto dos restantes, sendo que o intuito expositivo do mesmo levou a uma linguagem mais directa, com apresentação de quadros resumo e esquemas elucidativos, pretendendo-se que o capítulo constitua uma ponte entre o final do Capítulo 4 e o início do Capítulo 6.

5.2. AS ETIQUETAS/RÓTULOS AMBIENTAIS DE CONSTRUÇÃO

5.2.1. INTRODUÇÃO

As etiquetas e declarações ambientais⁵⁶ são ferramentas de comunicação dos aspectos ambientais de um produto ou serviço ao mercado [54].

⁵⁶ Do inglês, *Environmental Labels*.

Existem neste âmbito, as EPD⁵⁷, Declarações Ambientais de Produto, que constituem uma ferramenta voluntária estandardizada de comunicação da performance ambiental de um sistema de produto, aplicável mundialmente para todas as empresas e organizações interessadas [58].

De acordo com as normas ISO, existem três tipos de Etiquetas Ambientais em uso corrente, ver Quadro 11.

Todas estas etiquetas têm o objectivo comum de encorajar o mercado à procura e fornecimento de produtos que causem o mínimo impacte ambiental possível, evidenciando essa intenção através de fichas de produto em que as empresas tenham também oportunidade de realçar as qualidades do seu produto (fins de *marketing*) [59]. A diferença entre estas reside no facto de terem como alvo diferentes segmentos de mercado.

Quadro 11 – Tipos de etiquetas, normas ISO aplicáveis e segmentos de mercado alvo.

Etiquetas	Norma ISO	Segmento de mercado alvo
tipo I	ISO 14024	Consumidores ao nível do retalho
tipo II	ISO 14024	Consumidores ao nível do retalho
tipo III	ISO 14025	Consumidores ao nível do retalho e indústria

As declarações Ambientais do Tipo III, ao contrário das restantes, envolvem uma vasta informação ambiental ao consumidor sob a forma de uma ficha de dados vindos da ACV [54].

O uso da ACV é um atributo único das declarações ambientais do tipo III [54], que é aplicável aos produtos da construção, como materiais e componentes.

5.2.2. ETIQUETAS AMBIENTAIS DO TIPO III

Um programa de EPD do tipo III é definido como um processo voluntário pelo qual um organismo independente desenvolve o programa, seleccionando as categorias pré-definidas e definindo o formato das comunicações externas⁵⁸ [60].

Estas etiquetas constituem um agregado de informação para comunicação da carga ambiental de um produto, segundo categorias pré-definidas de parâmetros baseadas num estudo ACV, podendo ainda as fichas incluir informação adicional. Os resultados de um ACV devem ser apresentados num EPD de modo conciso, usando um formato estandardizado [54].

A norma internacional ISO/DIS 21930⁵⁹ apresenta uma proposta de módulos de informação para as declarações ambientais de tipo III de produtos de construção como se pode observar na Figura 53.

⁵⁷ Do inglês, *Environmental Product Declarations*.

⁵⁸ Do inglês, *External communications*.

⁵⁹ 'Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products'

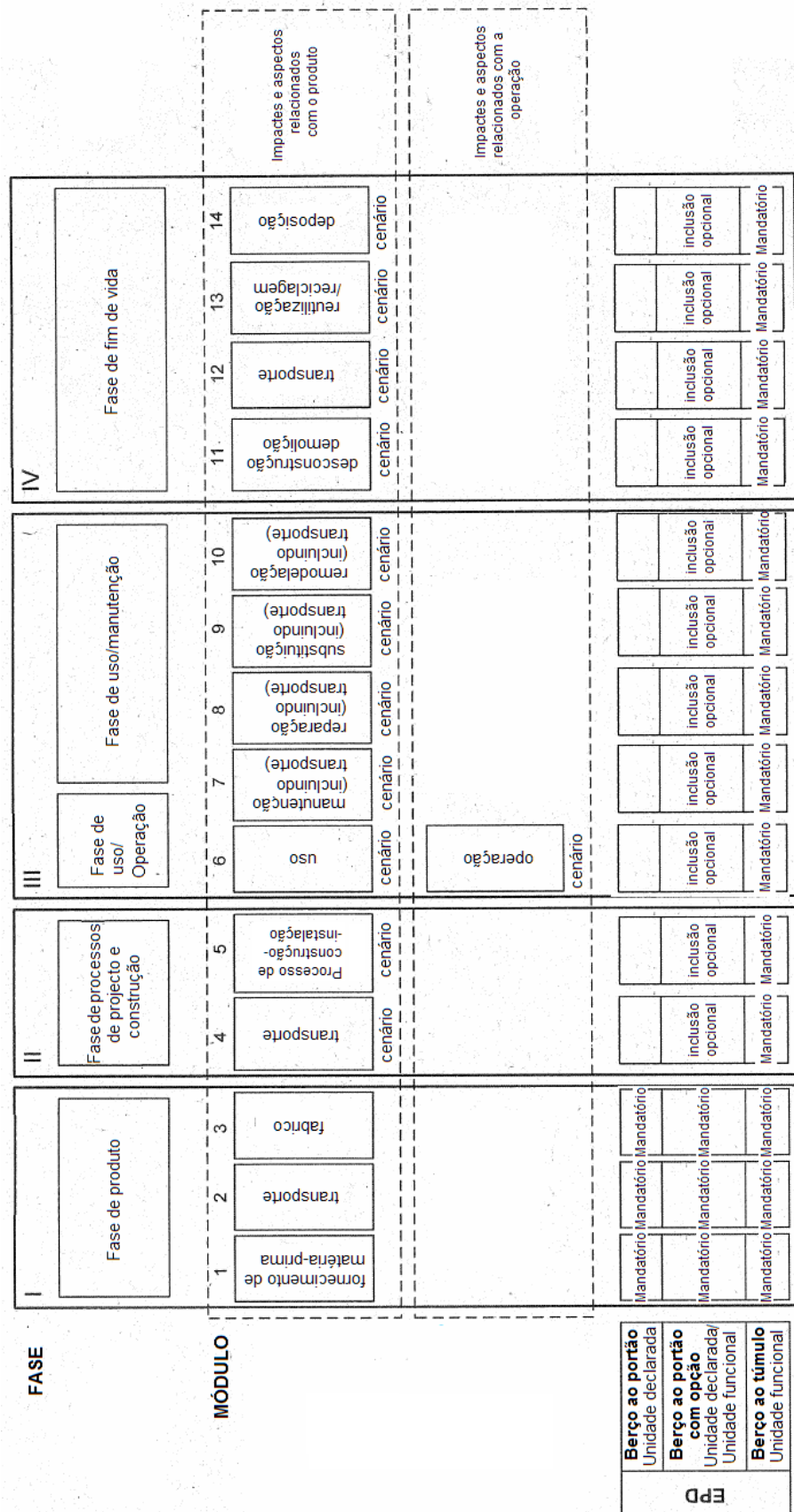


Figura 53 – Módulos de informação de EPD Tipo III de materiais de construção, traduzido de [57].

5.2.2.1. Regras de Categorias de Produtos – PCR⁶⁰

Para a comparação entre produtos deverão existir várias categorias, de modo a que existam bases de comparação fiáveis para garantir a verosimilitude do processo.

As regras para definição de categorias de produto prendem-se com a agregação de produtos que tenham a mesma função, devido à semelhança do seu *design*, componentes e composição, como por exemplo, frigoríficos [54, 59]. Os requisitos para todos os produtos de construção são especificados em concordância com as normas internacionais ISO 21930 e ISO 14025 [61].

A norma CEN TC 350, ainda não publicada, apoia a aplicação das EPD para a avaliação do desempenho ambiental dos edifícios e para a avaliação do desempenho ao nível da saúde e conforto. Nesta norma, serão definidos para a ACV os métodos de cálculo, as fronteiras de sistema, a qualidade dos dados, assim como efeito desta última nos resultados dos estudos ACV [61]. Pretende-se assim ‘fazer a ponte’ entre os estudos de ACV e a rotulagem ambiental preconizada pelos EPD’s.

5.2.2.2. Estrutura de uma EPD do Tipo III⁶¹

Uma declaração ambiental de tipo III consiste em dois princípios base [54]:

- categorias pré-definidas⁶²;
- parâmetros.

I. CATEGORIAS PRÉ-DEFINIDAS

São categorias de preocupações ambientais de um sistema de produto, por exemplo [54]:

- aquecimento global;
- acidificação;
- resíduos sólidos;
- substâncias tóxicas.

Estas categorias podem ser vistas como um aspecto geral de um formato de declaração ambiental, devendo ser as mesmas para a mesma categoria de produto [54, 60].

II. PARÂMETROS [54]

Os parâmetros dos itens do inventário, indicam a informação ambiental para a sua categoria pré-definida, como está exemplificado no Quadro 12.

Quadro 12 – Exemplos de parâmetros de categorias pré-definidas [54].

Categorias pré-definidas (exemplos)	Parâmetros (exemplos)
GWP	CO ₂ ; CH ₄
Acidificação	SO _x ; NO _x

⁶⁰ Do inglês, *Product Category Rules*.

⁶¹ Do inglês, *Type III Environmental Product Declaration*.

⁶² Do inglês, *Preset Categories*.

Podem existir diferenças entre parâmetros nos diferentes produtos de uma dada categoria, o que pode ser devido a diferenças no *design*, materiais e composição de cada produto. No entanto, na maior parte dos casos, estes parâmetros serão semelhantes ou mesmo iguais, devido aos atributos inerentes à categoria de produto.

No caso da apresentação de um resultado de inventário sem consideração do seu impacto caracterizado, pode ser aplicado um critério de exclusão, constituindo este critério, uma prática da ACV, que permite a inclusão de materiais e processos na fronteira de um sistema de produto para análise. A utilização de um critério de exclusão na ACV pode servir para limitar o número de parâmetros na Declaração Ambiental do tipo III.

5.3. CONSIDERAÇÕES E CRÍTICA AO EPD [54]

Os formatos existentes de EPD do mercado podem induzir os consumidores em erro ao apresentar diferentes segmentos dos resultados da ACV, como por exemplo, estudos com diferentes fronteiras do sistema de produto.

Estas insuficiências podem derivar do facto de que existe uma falta de ligação sólida entre os resultados das ACV e as EPD do tipo III de um dado produto. A ligação ACV-EPD pode ser interpretada como o método de processamento dos resultados da ACV e a sua apresentação sob o formato de uma EPD do tipo III.

As EPD do tipo III apresentam os resultados da ACV de modo conciso usando uma forma estandardizada, e podem ser um instrumento útil na comunicação da informação ambiental de materiais e componentes numa cadeia de fornecimento dos mesmos, constituindo este tipo de comunicação um pré-requisito para o fabrico de um ecoproduto.

O desenvolvimento de etiquetas de construção representa um processo significativo na avaliação da sustentabilidade do mesmo, permitindo uma análise abrangente da qualidade de um material.

5.4. EXPOSIÇÃO DE UM ESTUDO DE CASO DE UMA ACV

5.4.1. INTRODUÇÃO

O caso de estudo exposto neste ponto é uma ACV de Placas de Circuito Impresso, que mesmo não sendo um material de construção, pelas razões já mencionadas na introdução do capítulo, e ainda pelo facto da analogia poder ser efectuada sem diferenças conceptuais, constitui um exemplo prático da aplicação da metodologia ACV.

O objectivo prendeu-se com o alcance de um formato aceitável de apresentação da informação das EPD, o que é feito em categorias de impacto de um sistema de produto a partir da ACV, sendo a informação apresentada de modo conciso, num formato estandardizado [54].

A apresentação do estudo foi efectuada de acordo com a divisão de etapas da ACV apresentada no artigo, que é um pouco variante à preconizada na norma ISO 14044, pelo menos em alguma nomenclatura e divisão de etapas. As etapas propostas foram as seguintes:

- Definição do objectivo e do âmbito
- Fase de análise de inventário;
- Fase de avaliação de impacto de ciclo de vida;
- Fase de interpretação;

5.4.2. DEFINIÇÃO DO OBJECTIVO E DO ÂMBITO [54]

Quadro 13 – Síntese da definição do objectivo e do âmbito

Definição do Objectivo e Âmbito	
Unidade funcional	1 m ² de placa
Fluxo de referência	2,638 kg
Razão da escolha da unidade funcional	As placas são vendidas por unidade de área (m ²)
Fronteira do sistema de produto	Desde aquisição de matéria-prima até ao fabrico (berço ao portão)
Critério de exclusão	99% do peso acumulado de todos os <i>inputs</i> ao fabrico das placas
Fronteira geográfica	Coreia (placas)
Fronteira tecnológica	Tecnologia de uso corrente
Fronteira temporal	Fabrico das placas durante o ano de 1998
Categorias para o ICV	• energia; • recursos naturais; • emissões para o ar e água; • desperdícios; • afluências(<i>inflows</i>) não rastreadas ao berço (<i>not traced to the cradle</i>);
Dados relativos ao fabrico	Dados recolhidos no local entre 01/01/98 e 31/12/98
Dados dos processos a montante da produção	• aquisição de matéria-prima; • processamento de materiais; • transporte; • combustível e energia; Obtidos a partir de: • bases de dados; • literatura; • processos semelhantes; Os tipos de dados (medidos, calculados, estimados) e fontes dos mesmos foram registados para todos os dados do inventário.
Método para o ICV	Segundo ISO 14040 e ISO 14041
Critério de alocação	Determinado com base em relações físicas ou químicas, incluindo custo e massa de produção
Software para o ICV	LCAit3.0
Informação acerca da AICV	Quatro passos consecutivos: • classificação; • caracterização; • normalização; • ponderação; Foram usados modelos de equivalência e referências normativas Coreanas para o cálculo do impacte ponderado.
Interpretação de ciclo de vida	Dos resultados da ACV foi conduzida uma análise de dominância para identificar questões ambientais chave, e a sensibilidade das questões identificadas nos resultados foi analisada

Quadro 14 – Suposições e limitações do estudo.

Ciclo de vida	Composição (peso %)
Produção de materiais	Dados do fabrico dos componentes de placas de circuito impresso excepto laminado de cobre e folha de ligação foram tratados como informação não existente. O consumo de recursos para a produção de materiais foi calculado com base na composição do produto.
Fabrico de placas impressas	O critério de alocação para materiais auxiliares foi o custo. O consumo de electricidade incluiu a electricidade consumida nos escritórios e anexos.
Outros	As cargas ambientais de transporte entre processos não foram consideradas. Não foram estimados impactes devido aos resíduos sólidos e radioactivos devido à falta de factores de equivalência.

5.4.3. FASE DE ANÁLISE DE INVENTÁRIO [54]

Descrição do produto:

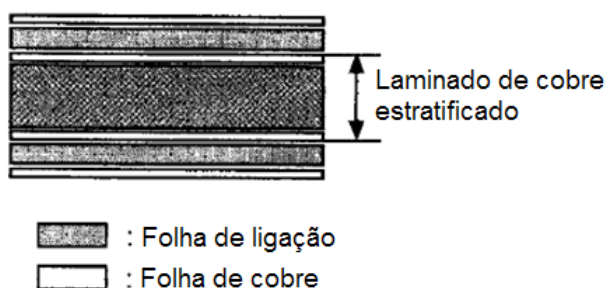


Figura 54 - Corte transversal da placa de circuito.

Quadro 15 - Composição e proporção de materiais consumidos na construção.

Componente	Composição (peso %)
Laminado de cobre estratificado	42.57
Folha de ligação	24.58
Folha de cobre	19.55
Solda	9.09
Tinta azul	4.03
Tinta branca	0.18
Total	100.00

Árvore do processo do sistema do produto em estudo:

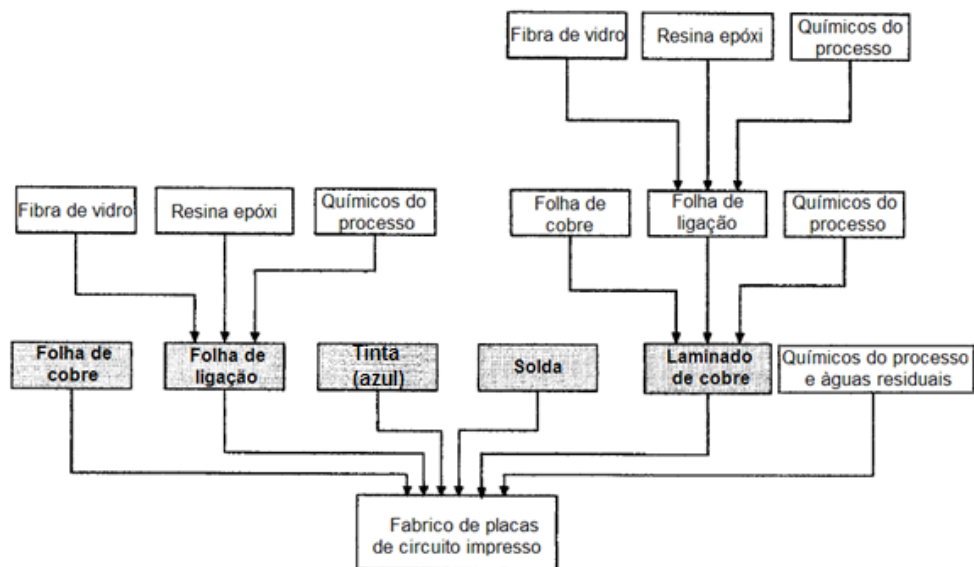


Figura 55 – Árvore do processo do sistema em de placas de circuito impresso.

Critério de exclusão: Foi aplicado o critério de exclusão de 99% de peso acumulado para a definição da fronteira do sistema em estudo.

Descriminação das fontes de dados:

- dados fabrico de laminado estratificado e folha de ligação: medidos *in situ*, 1998.
- dados de fabrico de outros materiais: tratados como um *data gap* devido à incapacidade de recolher *in situ* informação específica ou genérica.
- dados de matérias-primas e fontes de energia: obtidas de bases de dados CIT e BUWAL.
- dados de electricidade: base de dados eléctrica da Coreia.
- dados de consumo de materiais auxiliares e electricidade: estimados com um método de alocação de custos.
- dados de emissões ambientais para o ar, água e de desperdícios: valores medidos ou calculados.

O Quadro 16 apresenta os resultados do inventário do sistema de circuitos impresso.

Quadro 16 - Resultados de inventário do sistema de circuitos impresso.⁶³

Item de Inventário	Carga Ambiental (g/unidade funcional)
Consumo de recursos:	
Carvão	2.01E+04
Minério de cobre (0.35% cobre)	3.50E+05
Petróleo bruto	1.10E+04
Gás natural	3.59E+03
Gás natural, armazenamento	2.79E+02
Pb	3.62E+02
Emissões para o ar:	
CH ₄	8.80E+01
CO	1.09E+01
CO ₂	3.68E+04
Halocarbono - 1301	6.92E-06
HC	8.86E+01
NH ₃	9.21E+00
NO _x	7.28E+02
SO _x	7.94E+03
VOC	1.32E+00
Emissões para água	
As (aq - estado aquoso)	1.10E-02
BOD	1.28E+02
COD	1.08E+02
Cr (aq)	3.31E-02
Cu (aq)	3.14E-01
F (aq)	4.61E+00
n – Hexano (aq)	4.10E+00
Tot-N (aq)	2.25E+02
Óleos (aq)	2.86E+00
Desperdícios	
Cinzas	1.03E+03
Petróleo	4.37E+02
Lamas	1.30E+04
Solventes	5.44E+02

Os itens de inventário da tabela são os identificados como questões chave, cuja contribuição para a categoria de impacto relevante é superior a 1% do impacto total.

⁶³ A designação química de muitos dos itens de inventário não será exposta, visto ser irrelevante no âmbito descritivo deste capítulo. O mesmo se aplica a outros itens e unidades de impacto constantes dos restantes quadros.

5.4.4. FASE DE AVALIAÇÃO DE IMPACTE DE CICLO DE VIDA [54]

Apresentação de lista de categorias de impacto relevantes ao sistema de placas impressas e o impacto caracterizado de cada categoria de impacto.

Quadro 17 - Impacte caracterizado do sistema de placas de circuito impresso.

Categoria de impacto	Unidade	Impacte Caracterizado
Depleção de recursos abióticos	1 /ano/ Uf - unid. func.	450.7
Aquecimento global	g CO ₂ -eq/Uf	39177.2
Depleção da camada de ozono	g CFC-11-eq/Uf	8.30 E -5
Criação de oxidantes fotoquímicos	g C ₂ H ₄ -eq/Uf	31.5
Acidificação	g SO ₂ -eq/Uf	8468.5
Eutrofização	g PO ₄ -eq/Uf	195.9
Ecotoxicidade	m ³ água-eq/Uf	2034.3
Toxicidade Humana	g corpo wt-eq/Uf	10827.8

São descritos os factores de equivalência utilizados por categoria.

Quadro 18 - Impactes normalizados e ponderados do sistema.

Categoria de impacto	Impacte Normalizado	i-ésimo factor de Ponderação	Factor de Ponderação (pessoa/ano/unidade funcional)
Depleção de recursos abióticos	1.53E-01	0.250	3.83E-02
Aquecimento global	6.92E-03	0.226	1.56E-03
Depleção da camada de ozono	1.01E-06	0.247	2.48E-07
Criação de oxidantes fotoquímicos	4.27E-03	0.057	2.44E-04
Acidificação	1.50E-01	0.108	1.61E-02
Eutrofização	2.20E-02	0.139	3.05E-03
Ecotoxicidade	4.88E-02	0.129	6.28E-03
Toxicidade Humana	1.62E-01	0.143	2.32E-02

É tomada em conta a escala geográfica do impacto: local, global.

Descrição do factor de ponderação: é o produto de um factor de relação e um factor de significância relativa de uma categoria de impacto e foi obtida com base no método de Lee.

5.4.5. FASE DE INTERPRETAÇÃO [54]

A actividade que mais contribui para o impacto ambiental em todas as categorias foi o fabrico de placas de circuito impresso.

Foi identificada a actividade chave em cada categoria de impactos.

São identificados itens chave de inventário, por exemplo:

- CO₂ e CH₄ – Aquecimento Global;
- SO_x e NO_x – Acidificação.

Análise de sensibilidade:

Dados escolhidos para análise de sensibilidade:

- dados usados para a identificação de actividades chave;
- critério de alocação.

Quadro 19 – Itens para a análise de sensibilidade.

Actividade	Item	Motivo de escolha	Amplitude das alterações nos dados
Fabrico das placas de circuito impresso	Electricidade	Identificada como actividade chave em todas as categorias de impacto. Aqui, a electricidade é a fonte dominante de cargas ambientais.	256-182 MJ/m ² (alocação de custo vs alocação de massa)
Laminado de cobre	Petróleo	Identificada como actividade chave em todas as actividades salvo numa. O petróleo (crude) é item de inventário chave.	62.7-31.3 MJ/kg (requisito actual vs requisito teórico)
Solda	Consumo	Actividade chave para aquecimento global e acidificação. CO ₂ e SO _x são itens de inventário chave.	6500-7000 kg/mês (caso de consumo actual vs pior caso de consumo)

Quadro 20 – Elasticidade de itens para análise de sensibilidade⁶⁴.

Categoria de impacto	Fabrico do produto (electricidade)	Laminado de cobre (petróleo)	Solda (consumo)
Depleção de recursos abióticos	0.25	0.14	0.06
Aquecimento global	0.30	0.17	0.25
Depleção da camada de ozono	0.02	0.01	-0.02
Criação de oxidantes fotoquímicos	0.79	0.45	-0.02
Acidificação	0.00	0.00	0.18
Eutrofização	0.87	0.50	0.11
Ecotoxicidade	0.07	0.00	-0.03
Toxicidade Humana	0.61	0.00	0.16

⁶⁴ A elasticidade é um índice usado para aferir a sensibilidade dos dados.

A sensibilidade dos dados e o método de alocação utilizados foram sujeitos a análise, tendo as actividades chave e o método de alocação aplicados no sistema de produto sido eleitos para análise de sensibilidade.

Concluiu-se que o método de alocação para o fabrico deste produto neste estudo não é um parâmetro sensível.

5.4.6. RESULTADO DO ESTUDO DE CASO DE ACV APLICADO A DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DO TIPO III [54]

No estudo apresentado no artigo [54], foram concebidos e testados cinco cenários para fazer a ligação entre a ACV e uma Declaração Ambiental do Tipo III, procurando-se criar um formato desejável. Dos cinco cenários, os autores escolheram um, que será o apresentado, não só por uma questão de síntese no âmbito deste trabalho, como não faria sentido fazer uma descrição total do artigo, uma vez que este pode ser consultado.

5.4.6.1. Descrição do Formato seleccionado [54]

Neste cenário, as categorias pré-definidas são as categorias de impacto de ciclo de vida relevantes para um dado sistema de produto, acrescentando ainda resíduos sólidos e substâncias tóxicas. A toxicidade e ecotoxicidade não foram incluídas.

Os parâmetros pertencentes à categoria pré-definida são itens de inventário chave determinados pela análise de dominância.

Tanto o valor de inventário como o seu valor caracterizado são listados para cada parâmetro, sendo o impacto total listado para cada categoria pré-definida.

Na proposta ‘eleita’, os itens de inventário que representam cada parâmetro são questões chave, identificadas por análise de dominância do impacto de uma categoria pré-definida.

Substâncias tóxicas e resíduos sólidos, embora não sejam categorias de impacto, foram incluídas como Categorias Pré-definidas dado que são fontes de forte *stress* ambiental.

Os autores afirmam que nenhuma das EPD (até à data de publicação do artigo, 2001) adoptou esta abordagem e que a apresentação de parâmetros chave de inventário num formato de EPD do Tipo III conduzirá a uma melhor comunicação dos aspectos ambientais significativos ao consumidor.

O Quadro 21 contém o formato de Declaração Ambiental do Tipo III baseada no cenário eleito.

Quadro 21 – Declaração ambiental do Tipo III baseada no cenário eleito em [54].

Categoria pré-definida	Parâmetro	Valor de inventário	Unidade	Valor caracterizado do impacto	Unidade (/m2 de placa)
Depleção de recursos abióticos	Total	-	-	450.7	1/ano
	Petróleo (crude)	11,000.0	g	61.0	%
	Gás Natural	3,590.0	g	13.3	%
	Carvão	20,100.0	g	11.4	%
	Cobre	1,225.0	g	7.6	%
	Pb	362.3	g	4.0	%
	Gás natural, reserva	279.3	g	1.0	%
Aquecimento global	Total	-	-	39,177.2	gCO ₂ -eq
	CO ₂	36,800.0	g	93.9	%
	CH ₄	88.0	g	4.7	%
Criação de oxidantes fotoquímicos	Total	-	-	31.5	gC ₂ H ₄ -eq
	HC	88.6	g	94.9	%
	CH ₄	88.0	g	2.0	%
	VOC	10.9	g	1.4	%
	CO	1.3	g	1.4	%
Acidificação	Total	-	-	8,468.5	gSO ₂ -eq
	SO _x	7,940.0	g	93.8	%
	NO _x	728.1	g	6.0	%
Eutrofização	Total	-	-	195.9	gPO ₄ ³⁻ -eq
	Tot-N(aq)	225.4	g	47.4	%
	NO _x	728.1	g	47.6	%
	NH ₃	9.2	g	1.6	%
	BOD(aq)	128.0	g	1.4	%
	COD(aq)	107.9	g	1.2	%
Substâncias tóxicas	Para o ar	8867.8	g	-	-
	Para a água	13.1	g	-	-
Desperdícios sólidos	Geral	686,754.5	g	-	-
	Nocivos	10,429.4	g	-	-
	Radioactivos	14.9	kBq	-	-

5.5. EXEMPLO DE EPD COMERCIAL DE UM PRODUTO DE CONSTRUÇÃO

5.5.1. INTRODUÇÃO

Este ponto tem o intuito de demonstrar que no mercado já existem empresas produtoras de produtos relacionados com a construção a elaborar Declarações Ambientais do Tipo III para os seus produtos, e descrever sucintamente um exemplo de EPD que se pode encontrar no Anexo I.

O EPD escolhido é “*Environmental Product Declaration for Sandwich Panels made of Rigid Expanded Poliurethane and aluminium intended for use in the construction of Ducts for HVAC*” [62].

5.5.2. ESTRUTURA E CRÍTICA DO EPD EM ANÁLISE

O EPD em análise apresenta a seguinte estrutura presente no Quadro 22.

Quadro 22 – Capítulos da EPD em análise e descrição sumária e crítica do seu conteúdo.

APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E DO SEU PRODUTO	Descrição da Informação
a) A EMPRESA E A SUA ACTIVIDADE PRODUTIVA b) DESCRIÇÃO DO PRODUTO b1) A tecnologia <i>Hydrotec</i> b2) O painel <i>Piral HD Hydrotec 15 HP 21</i>	Nesta secção é feita uma descrição da empresa e do seu produto, com uma perspectiva de evolução histórica da sua actividade, sendo referidas as certificações que a mesma possui. O produto referente ao EPD é descrito com detalhe à semelhança de um catálogo técnico, com a apresentação da sua composição. É patente a intenção de promoção do produto, com realce das suas características por parte da empresa.
DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL	
a) METODOLOGIA b) FRONTEIRAS DOS SISTEMA E HIPÓTESES PRINCIPAIS c) DESEMPENHO AMBIENTAL d) FASE DE USO E CICLO DE VIDA	É feita a apresentação dos atributos principais do produto assim como dos resultados da avaliação dos aspectos ambientais do seu ciclo de vida, levados a cabo segundo a metodologia ACV. É descrito o sistema produtivo e apresentados os dados de consumos de recursos por categorias e é também apresentada a contribuição potencial para a degradação do meio ambiente por indicadores, relativamente à unidade funcional apresentada. É igualmente apresentada informação relativa à produção de desperdícios. Nos pontos a), b), c), a informação apresentada não evidencia explicitamente intenções de promoção do produto por parte da empresa. O ponto d) refere cenários de fim de vida como modos de reutilização e reciclagem, de um modo pouco estruturado e refere também características do produto. É apresentada uma simulação do desempenho da aplicação do produto. É também patente a intenção de promoção do produto com, realce das suas características por parte da empresa.

INFORMAÇÃO ADICIONAL E REFERÊNCIAS

a) DESEMPENHO TÉCNICO DO PRODUTO	É apresentada informação adicional associada à gestão da empresa e com o procedimento de validação do documento de EPD.
b) FILOSOFIA AMBIENTAL DA EMPRESA	São apresentados outros atributos do produto, de modo semelhante ao que se pode encontrar num catálogo técnico.
c) CONTRIBUIÇÃO DE DADOS GENÉRICOS	
d) CONTACTOS	
e) REFERÊNCIAS	É feita divulgação de cariz publicitário da filosofia ambiental da empresa com referências a certificação normativa e objectivos no âmbito das preocupações ambientais.
f) INFORMAÇÃO SOBRE O ORGANISMO CERTIFICADOR E SOBRE AS PCR	
g) GLOSSÁRIO	É apresentada informação relativa à entidade certificadora e um glossário, este último evidenciando um esforço de comunicação e de informar o receptor do produto.

Tal como é referido no âmbito normativo internacional, o EPD tem um carácter de ferramenta de comunicação das propriedades de um dado produto, tendo também o intuito de ser para a empresa produtora uma ferramenta de *marketing* e promoção do mesmo. Neste exemplo apresentado, ao longo da leitura do documento, estas características são bem evidentes.

5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A elaboração das EPD do Tipo III depende da informação proveniente das ACV, pelo que à medida que as normas evoluírem no sentido de se tornarem mais objectivas e definirem os métodos de cálculo a utilizar, assim como as bases de dados e modelos de apresentação da informação, estes processos tornar-se-ão mais transparentes e de mais fácil aplicação e compreensão por parte dos agentes envolvidos.

É muito importante que se procure disponibilizar informação fidedigna e padronizada para os produtos de modo a que estes possam ser estudados e comparados numa perspectiva do seu impacte ambiental.

6

ABORDAGEM À INTEGRAÇÃO DOS ASPECTOS RELEVANTES AMBIENTAIS DOS MATERIAIS/COMPONENTES NA DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA DE OBRAS

6.1. INTRODUÇÃO

Pretende-se nesta fase final, num plano conceptual, apresentar uma metodologia do modo como as preocupações de sustentabilidade (ao nível dos materiais) poderiam ser incluídas na documentação técnica de um projecto de um edifício a concurso assim como do modo como a entidade executante deverá proceder para garantir que os materiais aplicados na execução correspondem ao perfil exigido pelo caderno de encargos.

Serão propostos os critérios que deverão ser evidenciados a partir das EPD – Declarações Ambientais de Produto, partindo do pressuposto que os fabricantes dos produtos adoptarão no futuro formatos de apresentação de dados semelhantes, e portanto, comparáveis e que a normalização em discussão a esse respeito na União Europeia será brevemente publicada com esse mesmo fim.

6.2. PROPOSTA DE INCORPORAÇÃO DE PREOCUPAÇÕES DE SUSTENTABILIDADE NAS MEMÓRIAS DESCRITIVAS DOS PROJECTOS

6.2.1. INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Tal como uma memória descritiva de um projecto incorpora a justificação das evidências de satisfação das diversas exigências aplicáveis à obra, propõe-se que esta incorpore também justificações ligadas à sustentabilidade (ao nível da escolha dos materiais), na qual se evidencie as opções tomadas a respeito do desempenho ambiental dos produtos e soluções que prescreve. Esta informação deverá ser facilmente organizada pelos projectistas a partir das EPD fornecidas pelos fabricantes, ver Figura 56 e Figura 57.

Desde a fase de concurso até à execução da empreitada, cada entidade executante deverá assegurar, através de comprovativo, que as alterações propostas de materiais e componentes, cumprem, no mínimo os requisitos de sustentabilidade prescritos ou justificar as escolhas quando tal não aconteça, ver Figura 56 e Figura 58.

Uma memória descritiva de sustentabilidade deverá ser elaborada com as fichas de especificação dos materiais, das quais as EPD seriam as fichas que cumpririam essa mesma função. Existe actualmente o problema que advém do facto de ainda não existirem categorias de produto definidas para muitos

materiais, nomeadamente a nível Europeu, o que se encontra ainda em fase de discussão, como se pode observar na versão de rascunho do documento CEN/TC 350/WG3 N 79.

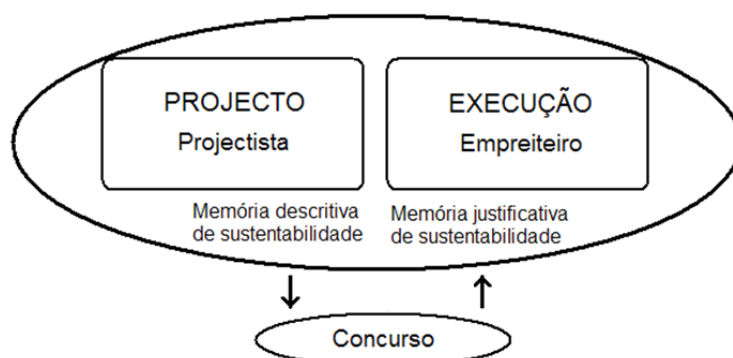


Figura 56 – Entidades responsáveis pela aplicação das preocupações de sustentabilidade ao nível dos materiais/componentes na construção.

O enquadramento e intervenientes neste processo de incorporação das preocupações de sustentabilidade na documentação técnica das obras pode ser ilustrado pela Figura 57, que ilustra o papel da entidade projectista na escolha de materiais e na Figura 58, que ilustra o papel da entidade executante no mesmo âmbito.

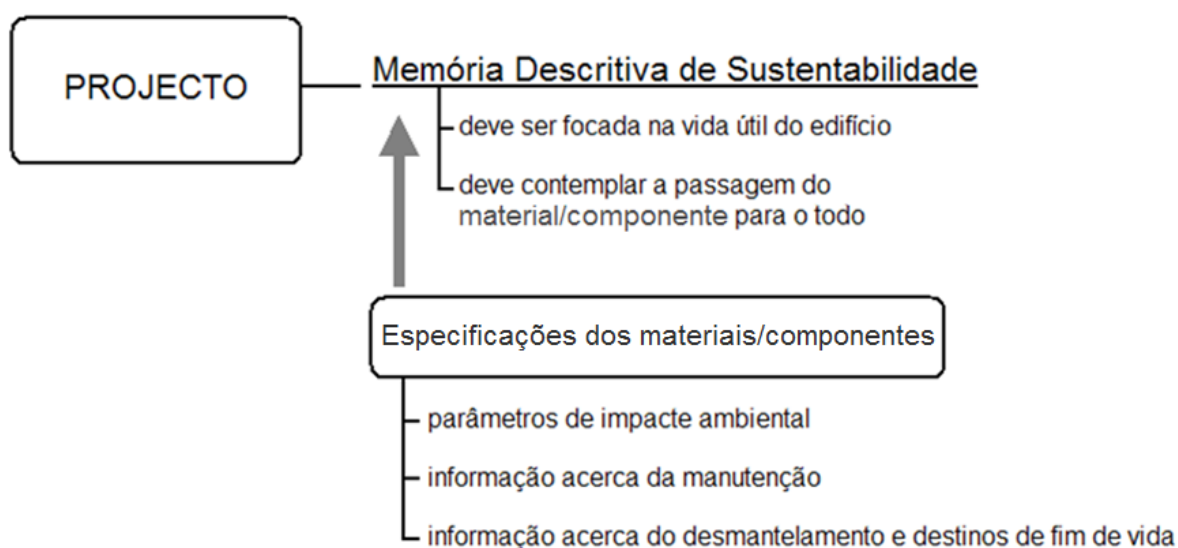


Figura 57 – Papel do projectista na incorporação das preocupações de sustentabilidade dos materiais/componentes de construção.

A entidade projectista, neste processo de selecção, deverá recorrer às EPD do Tipo III de cada produto, e com base na análise e ponderação dessa mesma informação (de carácter ambiental) e dos restantes critérios que determinam as escolhas em projecto (como custos, durabilidade, estética, entre outras), proceder à escolha devidamente justificada segundo um formato padronizado numa memória descritiva.

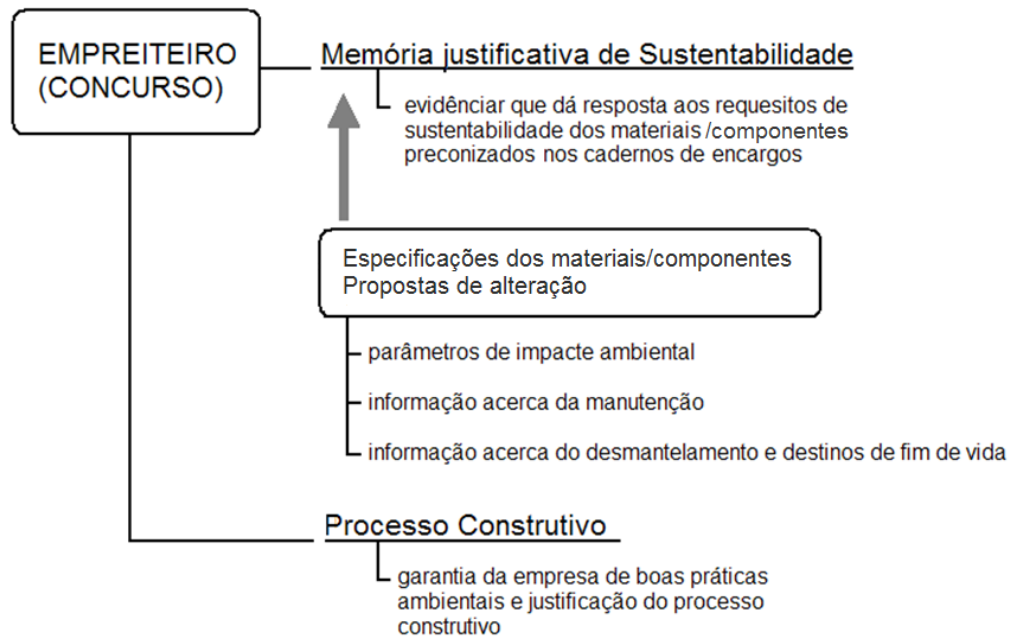


Figura 58 – Papel da entidade executante na garantia da incorporação das preocupações de sustentabilidade dos materiais/componentes na construção.

O empreiteiro deverá assegurar que as mudanças propostas nos materiais e componentes garantem os requisitos definidos na memória descritiva de sustentabilidade (de materiais) do projecto. Seria interessante a existência de um plano normalizado de verificação de conformidade da adequação dos processos construtivos aos requisitos de minoração de restantes impactes ambientais. No entanto, a certificação de empresas nas normas ISO 14000 será à partida um indicador de que a empresa promove e incorpora as boas práticas ambientais no processo construtivo.

6.2.2. APRESENTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia deverá ser aplicada aos materiais/componentes mais representativos de um dado edifício, de modo a que sejam concentrados esforços em melhorias com impacte e escala significativos. Por uma questão de simplificação de linguagem, far-se-á menção aos ‘materiais/componentes’ apenas como ‘materiais’.

Seleccionados os grupos de materiais com maior representatividade no edifício, dever-se-á compilar um conjunto finito de materiais candidatos a cada função. Ver Figura 59.

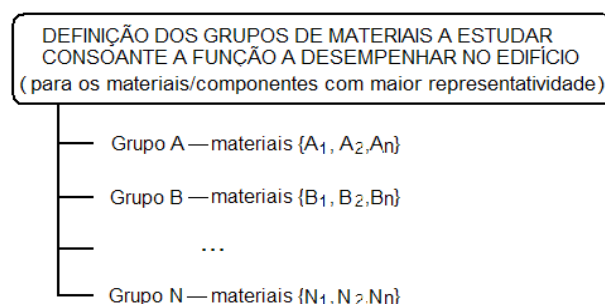


Figura 59 – Grupos de materiais/componentes candidatos a uma dada função.

Propõe-se, através de uma selecção de cada material candidato, aferir uma pontuação ou avaliação representativa da sustentabilidade do edifício ao nível dos materiais que o constituem. Ver Figura 60.

Nível do Material

Nível do Edifício

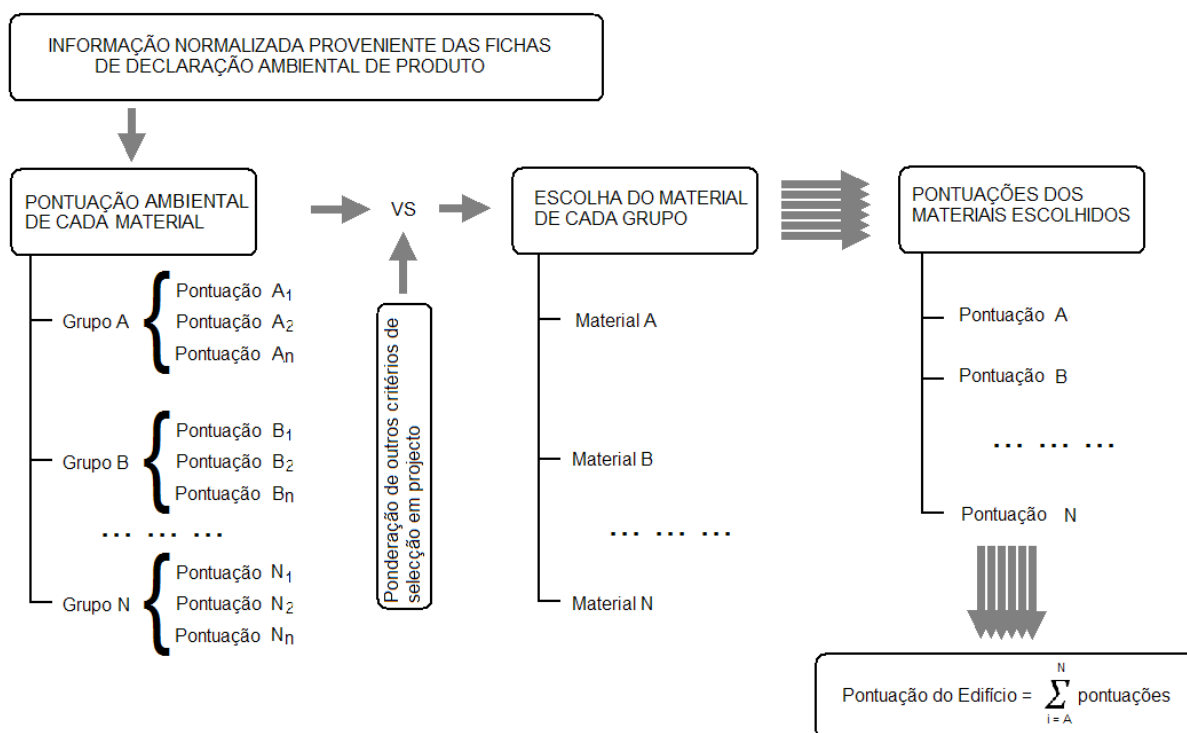


Figura 60 – Funcionamento global da metodologia proposta.

6.2.3. PROPOSTA DE INCORPORAÇÃO DA INFORMAÇÃO DAS EPD PARA UTILIZAÇÃO NA METODOLOGIA

As figuras seguintes esquematizam um exemplo do modo com a informação das EPD dos produtos de construção poderá ser tratada com o objectivo de avaliar a adequação de um dado material para uma determinada função, com base no seu perfil ambiental. Toda a informação de cada produto é apresentada por unidade funcional.

O formato de EPD aqui proposto, a nível de secções para quantificação de impactes e atribuição de classificação, é dividido em três secções:

- emissões;
- consumo de recursos;
- desempenho.

Cada categoria de impacte possui as suas unidades de quantificação, pelo que para ser feita uma comparação entre diferentes categorias, os valores de cada categoria deverão ser normalizados.

Será obtida a classificação/pontuação de cada categoria de impacte pela multiplicação do peso atribuído pelo impacte normalizado (adimensional) de cada categoria respectiva.

Do somatório da pontuação de cada categoria resultará uma classificação total parcial de cada secção (emissões, consumo de recursos e ‘vida útil e fim de vida’⁶⁵). A pontuação final (por unidade funcional) do produto resultará do somatório das pontuações parciais de cada secção.

6.2.3.1. Obtenção de classificação de um Material Candidato a uma Função no Edifício

Os quadros constantes das figuras que se seguem, referem-se a um material candidato dentro de um leque de materiais candidatos a uma dada função.

EMISSIONES (PRODUÇÃO)/ UF				
CATEGORIAS DE IMPACTE	Unidade de Quantificação	Quantificação Adimensional de Impacte	Peso	Classificação
Potencial de Aquecimento Global				
Potencial de Criação de Oxidantes Fotoquímicos				
Potencial de Acidificação				
Potencial de Eutrofização				
Potencial de Depleção da Camada de Ozono				
Outras Substâncias Nocivas para o Ar				
Outras Substâncias Nocivas para a Água				
Desperdícios Sólidos	-	-		
				Σ Class.
Desperdícios Sólidos (fabrico)				
Certificação do Modo do Seu Tratamento traduzida numa pontuação?			Class. Parcial 1	

Figura 61 – Dados da EPD de um material e sua classificação ao nível das emissões.

É levantada a questão acerca do modo como se obteria a classificação no que respeita à categoria de impacte ‘Desperdícios sólidos’, evidenciada na Figura 61. Uma possível forma de atribuição de classificação a esta categoria de impacte seria através de normas que definiriam critérios para o mesmo fim, com garantias demonstradas pela empresa produtora no tratamento dos resíduos.

Ao nível do ‘Peso’, os pesos atribuídos a cada item devem ser obtidos a partir de um documento como uma norma para que não variem arbitrariamente consoante a entidade que leva a cabo o processo de classificação. Seria interessante a existência de normas de aplicação no âmbito nacional, de modo a que os pesos reflectam a realidade das prioridades de sustentabilidade do País.

⁶⁵ Optou-se pela agregação destes dois aspectos na mesma secção pela ligação evidenciada entre ambos.

CONSUMO DE RECURSOS (PRODUÇÃO)/ UF					
NÍVEIS	Categoria	Unidade de Quantificação	Quantificação Adimensional de Impacte	Peso	Classificação
Energia	Input Primário de Energia				
Materiais	Fontes Renováveis				
	Fontes Não Renováveis				
	Água limpa				
					Σ Class.
					Class. Parcial 2

Figura 62 - Dados da EPD de um material e sua classificação ao nível dos consumos de energia e materiais.

O consumo de recursos está interligado com as emissões. No entanto, não se afigura possível correlacionar os mesmos de modo rigoroso. O problema da ‘dupla contagem’ resultante da interligação referida pode ser desprezado devido ao facto da depleção de recursos estar intimamente relacionada com a sustentabilidade económica, e portanto social, enquanto as emissões se prendem mais directamente à sustentabilidade ambiental. Um possível modo de minimizar esta ‘dupla contagem’ ou ‘dupla entrada’ seria reflectir estas considerações nos pesos atribuídos às categorias de impacte, tanto do consumo de recursos como das emissões.

Ao nível da energia, não se propõe uma discriminação entre energias renováveis e não renováveis ou até subcategorias das mesmas, dado que não se afigura possível à generalidade dos fabricantes obter e fornecer informação fidedigna sobre os tipos de energia consumidos nos processos de fabrico. Deste modo, optou-se por uma abordagem mais minimalista.

DESEMPENHO					
VIDA ÚTIL	Categoria	Unidade de Quantificação	Quantificação Adimensional de Impacte	Peso	Classificação
Durabilidade Estimada	Anos				
Manutenção?	Custo como critério?	-			
FIM DE VIDA					
Desmantelamento	Potencial de Reutilização Directa ?	-			
	Índice de Reciclabilidade?	-			
					Σ Class.
					Class. Parcial 3

Figura 63 - Dados da EPD de um material e sua classificação ao nível da vida útil e fim de vida.

Uma questão pertinente de levantar será a ligação entre a durabilidade e as questões de desmantelamento, mais especificamente a ‘reciclabilidade’. Um material dificilmente decomponível

por processos industriais com vista à reutilização dos seus compostos que apresente durabilidade elevada não deverá, à partida, ser penalizado numa análise de classificação.

A respeito da atribuição de uma classificação relacionada com a durabilidade, seria interessante que as fichas de produto incorporassem informação acerca de cenários de uso típico e respectivas durabilidades estimadas. A normalização poderia contribuir para esse mesmo propósito, através da criação, para as categorias de produtos, de durabilidades de referência para categorias de uso típico, se tal for concretizável.

Por fim, a classificação final de um produto seria obtida através da ponderação entre a classificação ambiental obtida e a classificação baseada nos restantes critérios típicos de projecto. Ver Figura 64.

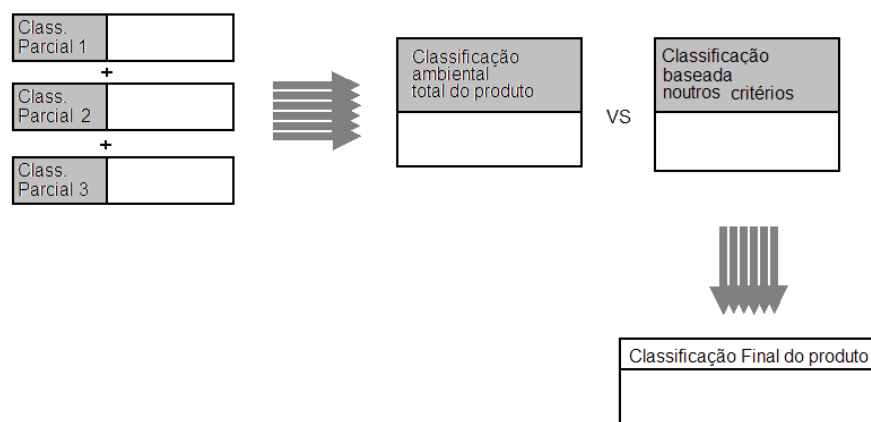


Figura 64 – Obtenção da classificação ambiental final de um produto por unidade funcional.

A classificação por unidade funcional de cada material, por si só, não é necessariamente um critério suficiente para a comparação entre produtos. Ainda que desempenhando funções semelhantes, e pertencendo à mesma categoria de produtos, o impacto ‘real’ de cada material candidato só será comparável com o dos restantes quando multiplicado pela respectiva quantidade necessária a incorporar em obra. Este problema não será aqui aprofundado, sendo apenas referido que a conversão de unidades a partir da unidade funcional de produtos diferentes destinados a cumprir um determinado requisito funcional pode gerar problemas (ver Figura 65), por exemplo, tome-se 1m² de placas de isolamento térmico com diferentes propriedades e espessuras. Para a resolução deste problema podem criar-se mais categorias de produto e criar mecanismos de cálculo de conversão.

A classificação/pontuação final de um material candidato, deverá ser alocada a um determinado índice de impacto, ou intervalo de impactes devido às limitações do modo de avaliação processo a montante⁶⁶.

⁶⁶ Esta questão não será desenvolvida neste trabalho devido à impossibilidade em fazer um estudo mais aprofundado devido às limitações de tempo.

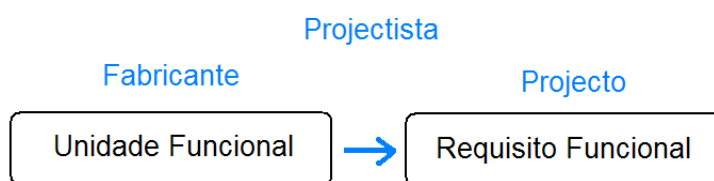


Figura 65 – Necessidade da determinação da quantidade necessária de produto para cumprimento do requisito funcional na totalidade do edifício.

A quantidade de material necessário para cumprir o requisito funcional de desempenho do material com menor impacte (material eleito), será a quantidade que figurará no mapa de trabalhos e quantidades de um caderno de encargos.

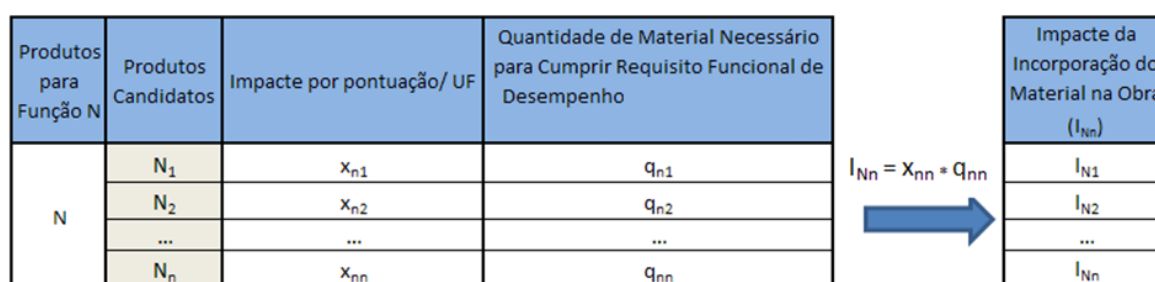


Figura 66 – Impacte total da incorporação do material na obra em função da quantidade necessária para o cumprimento do requisito funcional.

6.2.3.2. Da Classificação de um Material Candidato, à Classificação do Edifício

Nesta etapa, estando seleccionados os materiais para cada função, poder-se-á chegar a uma pontuação ao nível do edifício através do somatório das parcelas correspondentes a cada material.

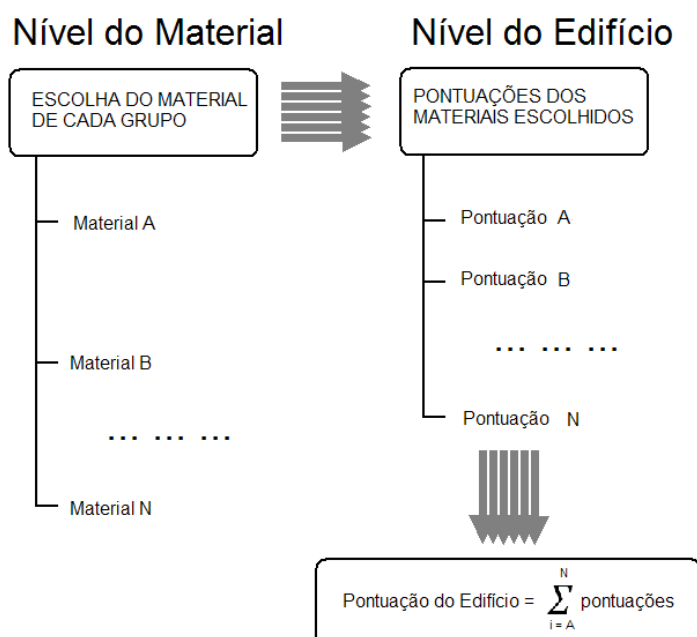


Figura 67 – Da escolha dos materiais à avaliação total do edifício.

6.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram definidos os moldes de um sistema de avaliação por pesos que visa contemplar as questões da sustentabilidade nomeadamente ao nível energético e ambiental nos materiais/componentes de um edifício. Várias questões foram deixadas em aberto, existindo diversos obstáculos a resolver numa metodologia deste tipo. Nesse âmbito, a normalização e estudos futuros terão um papel crucial.

Seria interessante estudar aprofundadamente os sistemas já existentes no mercado de avaliação da sustentabilidade global dos empreendimentos, de modo a perceber se incorporam e como incorporam as questões relacionadas com os materiais aplicados. No entanto, tal não foi possível realizar por limitações de tempo para a realização deste trabalho. A questão da atribuição de classificações ou pontuações com base nos impactes não foi explorada aprofundadamente pelos mesmos motivos.

Pretendeu-se sobretudo iniciar uma linha de raciocínio que se espera contribuir para a concretização de estudos neste sentido. Esta linha de raciocínio foi desenvolvida com o intuito de mostrar e ponderar o modo como é feita a ligação entre os estudos ACV e as EPD, e entre estas últimas e a escolha de materiais em projecto para avaliação de empreendimentos ao nível dos materiais.

7

CONCLUSÕES

7.1. OBSERVAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho foram tiradas conclusões no final de cada capítulo, sendo que este ponto visa apenas realçar algumas das mais importantes, e opinião formada pelo autor a respeito dos assuntos tratados neste trabalho.

As questões da sustentabilidade e desenvolvimento sustentável são temas que actualmente se encontram ‘na ordem do dia’, podendo ser encontrados diversos artigos científicos sobre esta temática debruçados em aspectos particulares, desde as ciências sociais às ciências ditas ‘exactas’. Os jornais e restante comunicação social são responsáveis pela divulgação da informação nesta temática, e nem sempre o fazem de modo isento e imparcial, existindo uma forte tendência para a demagogia, até no mundo científico.

Tendo como pilares o nível social, económico e ambiental, este conceito é claramente abstracto, sendo que se afigura necessário dismantelar as partes não esquecendo o todo, de modo a que as opções políticas tomadas sejam fundamentadas e não precipitadas pelas ‘modas’ e pelas boas intenções.

É importante tomar em conta que a sustentabilidade não está apenas ligada ao ambiente, que, sendo o meio onde todos vivemos, é um bem essencial a preservar. No entanto, sem condições de prosperidade económica, a existência de uma sociedade organizada e harmonizada afigura-se pouco possível, pelo que ao analisar estas questões, dever-se-ão por de parte os fundamentalismos e a histeria criada por agentes políticos e mediáticos. O esforço deverá ser em compatibilizar e fazer escolhas, fundamentadas em factos e métodos, que, ainda que com as suas limitações, contribuam para o esclarecimento de ideias e para a concretização de objectivos.

Cada País, indústria, e restantes agentes da sociedade, deverá definir as suas prioridades consoante o seu caso particular, de modo a que tomem medidas que surtam efeito real, e não se limitem à mera divulgação de preocupações com fins políticos ou comerciais.

As questões ambientais são um problema sério, que deverá ser profundamente discutido, e em relação às quais se devem procurar fazer as escolhas mais acertadas.

O impacto do sector da construção na sociedade é indiscutível, a nível económico, social e ambiental, desde a produção de materiais e componentes à sua montagem em obra, durante o ciclo de vida do edificado, e no seu fim de vida. A quantificação dos seus impactes revela-se de primordial importância.

Existindo actualmente directivas europeias aplicadas à eficiência energética dos edifícios, este trabalho propõe-se a constituir uma abordagem ao nível dos materiais. Os materiais de construção, constituem a

maior fatia de energia incorporada nos edifícios, que tem vindo a ganhar terreno face à energia de operação dos mesmos, à medida que o desempenho energético dos edifícios se torna mais eficiente. A abordagem do ciclo de vida dos materiais e edifícios é um instrumento de grande utilidade na monitorização dos seus impactes ambientais e energéticos, sendo que a transposição desta informação para documentos dos produtos, permitirá que os agentes da construção tomem opções fundamentadas na escolha dos mesmos.

A normalização internacional e Europeia, ao nível da sustentabilidade na construção, encontra-se ainda a ser desenvolvida, estando prevista a publicação de diversas normas.

Espera-se que esta tese motive a realização de mais trabalhos futuros no mesmo âmbito da construção sustentável, nomeadamente em questões mais específicas, visto o carácter generalista que este trabalho possui.

Por fim, resta referir que ao aplicarem-se medidas, é importante que estas sejam aplicadas em âmbitos que tenham escala, e que estas sejam monitorizadas, de modo à verificação do efeito surtido, promovendo a melhoria das mesmas. Será importante acrescentar que cada agente deve estar ciente de que modo pode incorporar as preocupações de sustentabilidade na actividade que desenvolve.

BIBLIOGRAFIA

1. Pinheiro, M. Duarte. *Ambiente e Construção Sustentável*, Agência Portuguesa do Ambiente / Instituto do Ambiente, Lisboa, 2006.
2. Graham, Peter, *Building ecology first principles for a sustainable built environment*. Blackwell Science, Oxford, 2003.
3. United Nations, *World Population to 2300*. United Nations, New York, 2004.
4. Hegger, Fuchs, Stark, Zeumer. *Energy Manual: Sustainable Architecture*. Detail, Munich, 2008.
5. Smil, V., *Energy in the Twentieth Century*. Annual Review of Energy Environment, Novembro 2000, volume 25, p. 21-51, Annual Reviews, Manitoba.
6. Green, C., *Handbook of water economics: Principles and Practice*. Wiley, 2003.
7. Berge, B., *The ecology of building materials*. Architectural Press, Amsterdam, 2001.
8. Kitzes, J., Wackernagel, M., *Answers to common questions in Ecological Footprint accounting*. Ecological Indicators, 04-07-09, volume 4, p. 812-817, Elsevier, Oakland.
9. World Wildlife Fund. *Living Planet Report 2004*. WWF, Gland, 2004.
10. World Resources Institute. *World Resources 1992-93: Guide to global environment*. World Resources Institute, 1992.
11. Ponce de Leão, M., *Eficiência energética: A eficiência energética como oportunidade*. *Magazine de informação da Ordem dos Engenheiros*, 2009, Ordem dos Engenheiros: Região Norte.
12. Horvath, A., *Construction Materials and the Environment*. Annual Review of Environment and Resources, 28-07-04, volume 29, p. 181-204, Annual Reviews.
13. Krantz, J., *Eutrophication*. <http://www.eoearth.org/article/Eutrophication>. Último acesso: 09-03-09.
14. System, A., *Acidification*. http://www.apis.ac.uk/overview/issues/overview_acidification.htm. Último acesso: 09-03-09.
15. http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/lake_acidification.jpg. Último acesso: 09-03-09.
16. Saundry, S., *Smog*. <http://www.eoearth.org/article/Smog>. Último acesso: 10-06-09.
17. http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur/caol/pollution_issues/cws/images/2smog_fig_e.jpg. Último acesso: 08-04-09.
18. Airnow. *Smog, who does it hurt?* <http://airnow.gov/index.cfm?action=health2.smog1#2>. Último acesso: 02-03-09.
19. <http://rsd.gsfc.nasa.gov/912/urban/profile.gif>. Último acesso: 15-03-09.
20. Diffey, B., *Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin*. Physics in medicine & biology, 2003, Institute of Physics, Bristol.
21. Tomasoni, M. *Atmosfera em transformação: o ozônio e os CFCs, certezas e incertezas*. <http://www.geoambiente.ufba.br/OZONIO.pdf>. Último acesso 21-04-09.
22. U.S. Environmental Protection Agency, *Heat Island Effect*. <http://www.epa.gov/heatisland/>. Último acesso: 09-04-09.
23. Kennedy, C., *Urban metabolism*. http://www.eoearth.org/article/Urban_metabolism. Último acesso: 09-04-09.
24. IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, 2001. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/052.htm#2221. Último acesso: 10-04-09.
25. Kauffman, J., *Climate Change Reexamined*. Journal of Scientific Exploration, volume 21, p. 723-749, 2007. http://www.scientificexploration.org/journal/jse_21_4_kauffman.pdf. Último acesso: 25-04-09.

26. Houghton, J. *Global Warming*. Reports on Progress in Physics, 04-05-05, p.1343-1403, Institute of Physics Publishing, UK.
27. http://apps1.eere.energy.gov/state_energy_program/update/images/06-07_greenhouse_effect.jpg. Último acesso: 09-04-09.
28. Singer, F. *Nature, Not Human Activity Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Reports of the Nongovernmental International Panel on Climate Change*. The Heartland Institute, Chicago, 2008.
29. Svensmark, H., Calder, N., *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change*. Icon Books, 2007.
30. Michaels, P., *Shattered Consensus: The True State of Global Warming*. Rowman & Littlefield Publishers Inc., 2005.
31. <http://environment.newscientist.com/data/images/archive/2569/25691101.jpg>. Último acesso: 09-04-09.
32. UN, *UN Documents: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. Último acesso: 29-05-09.
33. Lomborg, B., *The Skeptical Environmentalist: Measuring the real state of the world*. Cambridge University Press, London, 2001.
34. Benyus, J., *Biomimicry: innovation inspired by nature*. Quill - William Morrow, New York, 1997.
35. Leonard, B. *2009 Report Card for America's Infrastructure*. ASCE, 2009. http://region9.asce.org/files/pdf/Report_Card_ASCE_Blaine_Leonard.pdf. Último acesso: 08-06-09.
36. Pina Santos, Pedro Branco, J., Vasconcelos Paiva, J.. *The contribution of the National Laboratory of Civil Engineering (LNEC) to a Sustainable built Environment*. Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, IOS Press, Amsterdam, 2007.
37. Roodman, L., Lensen, N. *A Building Revolution: how ecology and health concerns are transforming construction*. World Watch Institute, 1995.
38. Kibert, C. *Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction*. First International Conference on Sustainable Construction. Tampa, 1994.
39. http://www.cibworld.nl/site/about_cib/index.html. Último acesso: 01-06-09.
40. Barbosa, I., *Aplicação de programas de cálculo no estudo da sustentabilidade de edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado Integrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
41. <http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial/>. Último acesso: 12-05-09.
42. CIB, *Sustainable development and the future of construction – A comparison of visions from various countries*. CIB Publication 225, Roterdão, 1998.
43. Silva, V., *Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: directrizes e base metodológica*. Dissertação de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
44. <http://www.setac.org/node/32>. Último acesso: 10-06-09.
45. Toudert, F. *Towards urban sustainability: Trends and challenges of building environmental assessment tools*. Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, IOS Press, Amsterdam, 2007.
46. Koukkari, L. *Perspectives of building sustainability assessment*. Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, IOS Press, Amsterdam, 2007.
47. Ding, G., *The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities*. Dissertação de Doutorado, Faculty of Design, Architecture & Building, University of Technology of Sydney, 2004.

48. Teixeira, M., *O conceito de edifícios verdes: realidade ou utopia?*. 1º Forum Internacional de Gestão na Construção - Gescon 2008: Gestão do Processo do Empreendimento de Construção, FEUP, Porto, 2008.
49. Bragança, R., *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção*. Edições ECOPY, Porto, 2006.
50. Binda, L., Molina, C. Building Material Duarability: Semi-Markov Approach. Journal of Materials in Civil Engeneering, Novembro 1990, volume 2, p. 223-239, ASCE.
51. Costa, T. *Norma ISO 14040 - metodologia de análise de ciclo-de-vida*, <http://www.aeportugal.pt/Areas/AmbienteEnergia/CadernosPDF/Caderno4/NormaISO14040.pdf>. Último acesso: 25-03-09.
52. Comité Europeu para a Normalização, *ISO 14040: Environmental management, life cycle assessment, principles and framework*. CEN: Bruxelas, 2008.
53. International Organization for Standardization, *ISO 14044:2006: Environmental management, life cycle assessment, requirements and guidelines*. ISO: 2006.
54. Lee, K., Park P., *ENVIRONMENTAL AUDITING: Application of Life-Cycle Assessment to Type III Environmental Declarations*. Environmental Management, 17-05-01, p. 533-546, Springer, New York.
55. Lucuik, J., *Life Cycle Assessment tool for building assemblies*. Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, IOS Press, Amsterdam, 2007.
56. Itard, I., *Environmental assessment of the maintence of façade openings in dwellings - the Dutch case*. Portugal SB07 Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, IOS Press, Amsterdam, 2007.
57. Comité Europeu para a Normalização, *prCEN/TS 15643-1:2007: Sustainability of construction works Framework for assessment of integrated building performance Part 1: Environmental, health and comfort and life cycle cost performances*. CEN: Bruxelas, 2007.
58. www.environmentalproductdeclarations.com. Último acesso: 12-06-09.
59. International Organization for Standardization, *ISO 14041: Environmental management, life cycle assessment, goal and scope definition and inventory analysis*. ISO: 1998.
60. International Organization for Standardization, *ISO 14025/TR: Environmental labels and declarations, type III environmental declarations, principles and procedures*. ISO: 1998.
61. Comité Europeu para a Normalização, *CEN/TC 350/WG3 N 79*. CEN: Bruxelas, 2007.
62. <http://www.environdec.com/reg/epd146.pdf>. Último acesso: 12-06-09.

ANEXO I

<http://www.environdec.com/reg/epd146.pdf>



**ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION FOR
SANDWICH PANELS MADE OF RIGID EXPANDED
POLYURETHANE AND ALUMINIUM INTENDED FOR
USE IN THE CONSTRUCTION OF DUCTS FOR
HVAC**

Certified Environmental Product Declaration

Revision 0

Approval date 27.11.2008

Registration N. S-P-00146

Geographical area of application of this EPD: Europe

Year taken as a reference for the data: 2007



PRESENTATION OF THE COMPANY AND ITS PRODUCT

THE COMPANY AND ITS PRODUCTION

For more than three generations, P3 has operated in the field of ducts systems for air conditioning.

In the year 1989, what had originated as an adventure takes its definitive shape with the creation of P3. Today, P3 is part of an international group, whose mission is the promotion of the preinsulated aluminium duct P3ductal with the aim of turning it into a more and more prominent reality on the market of ducts for HVAC.

Following a trail of constant development from both the technical and commercial viewpoints, P3 has contributed its novel ideas to the construction systems of traditional sheet metal ducts made of galvanised steel. Indeed, the company created the P3ductal technology, which uses preinsulated aluminium panels and also produces the accessories, the machines and the equipment intended for the construction and installation of ductworks. In its plant situated in Ronchi di Villafranca Padovana, two production lines operate on a continuous basis, thus guaranteeing an output capacity of over 5 million square metres of panels per year. The panels are then stored in a covered warehouse of over 3,000 m². The plant extends over another covered area of 7,000 m² and over more than 20,000 m² of uncovered surface.

The P3ductal system is distributed in over 40 countries and counts on a sales network capable of providing support for both clients and designers in the choice and application of the product.

The strengths of P3 lie in the constant research for innovation and in the excellent quality standards of its products, which is attained by a continuous engagement in the studies conducted in its own laboratories which also operate in collaboration with University Research centres.

Since 1996, P3 has operated in compliance with a quality system based on the standards UNI EN ISO 9001-2000, and it has also obtained the environmental certification UNI EN ISO 14001-2004 as well as OHSAS 18001-99.

DESCRIPTION OF THE PRODUCT

• THE HYDROTEC TECHNOLOGY

Harmless for the ozone layer: this is the main feature of our Piral HD Hydrotec panels which constitute the foundation of the P3ductal system.

In compliance with both national and international standards for the safeguard of the ozone layer, P3 has eliminated the use of CFCs and HCFCs from its production cycle.

Applying its exclusive international patent EP 1115771 B1, the company set up an innovative production process where the expansion of the polyurethane foam is obtained only with water (GWP = 0 / ODP = 0), in substitution for fluorated gases with greenhouse effect (CFC, HFC, HCFC) and hydrocarbons (HC).



• THE PIRAL HD HYDROTEC PANEL 15HP21

The Piral HD Hydrotec panel 15HP21 is a *sandwich* panel, made up of an insulating core in rigid polyurethane foam covered on both sides with an 80 µm sheet of embossed aluminium. This panel is particularly suitable for the construction of ductworks intended for use in HVAC.

The thickness is 20.5 mm ± 0.5 mm. The rigid polyurethane foam is the result of a chemical reaction between specifically formulated polyols and isocyanates and the expansion of the foam is achieved by using only water as blowing agent.

The density of the PUR foam is 52 kg/m³, with a tolerance of ± 2 kg/m³.

Thanks to the high content of closed cells (more than 95%), the foam in the panel shows an initial thermal conductivity λ_i , as measured according to the standard ISO 8302, of 0,022 W/(mK) at a mean temperature of 10 °C, which is equivalent to a thermal resistance R of 0,93 (m²K)/W. The special sandwich structure makes it possible to achieve high mechanical performance, represented by a flexural rigidity of 200,000 Nmm², declared according to the standards established by UNI EN 13403.

The use of aluminium for facings ensures a high level of hygiene and cleanliness, thus eliminating the problem related to the ageing of the insulating element and the release of particles. In addition, it guarantees the prevention of the proliferation of mould and bacteria. Indeed, as demonstrated by the testing conducted according to UNI EN 13403 (paragraph 7.4 "Microbial growth"), no significant growth of microorganisms takes place in the area surrounding the inoculation.

The panel may be used for the construction of ductworks within an air temperature range of -30 °C and +65 °C operating on a continuous basis. The panel underwent different national and international tests aimed at assessing its features of reaction to fire and obtained, amongst others, the Class 0-1 reaction to fire according to the "Decreto Ministeriale del 26/06/84" and a classification in class B-s3-d0 according to EN 13501-1 (SBI).

Table 1 –Technical specifications of the panel for 1 m² ready for sale. Details are limited due to the degree of confidentiality of the specific formula.

Material		Quantity (net)	Units
Overall mass of the panel ¹		1.526	kg
Embossed sheet aluminium 80 µm 100% primary		0.460	kg
Polyurethane foam Piral HD Hydrotech formula		1.066	kg
of which:	Isocyanate + Polyol	0.904	kg
	Flame retardants, catalysts, dyes, surfactants	0.149	kg
	Water	0.013	kg

¹ Excluding packaging and materials used for production processes only.



DECLARATION OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

This section includes the main features as well as the results of the assessment of the environmental aspects carried out on the basis of a life cycle using the LCA methodology.

METHODOLOGY

As established by the “Requirements for the Environmental Product Declaration”, the quantification of the environmental performance was worked out applying the methodology for Analysis of Life Cycle (LCA – Life Cycle Assessment) regulated by international standards ISO Series 14040 and in accordance with PCR 2008:06 *Air ducts - substantial materials*. The assessment methodology LCA makes it possible to establish the degree of environmental impact caused by a product or service in terms of the consumption of resources or in terms of the emissions in the environment, as well as the production of waste, as seen from a life cycle perspective (“from cradle to grave”, as it were).

The data used, collected at P3, refer to the production of sandwich-type panels made of expanded polyurethane/aluminium used for HVAC and especially to the Piral HD Hydrotec 15HP21 panel. Besides, the study also relied on the support of the database of Boustead Model².

The unit to which the results refer to (functional unit) is the **production of 1 m² of panel**.

SYSTEM BOUNDARIES AND MAIN HYPOTHESES

The analysis considered the whole production system and was based on each single operation starting from the raw materials production phase, including the production and transportation of energy vectors, to the intermediate and the final product transport.

A preliminary outline of the considered system is illustrated in Figure 1, which shows three different levels related to specific production activities:

1. the production of raw materials and their transformation, which took place in companies producing chemical or other materials (semi finished);
2. the preparation of the mixture and the specific formulation on the site of P3, situated in Ronchi di Villafranca;
3. the production (in P3) and distribution of the product.

² www.boustead-consulting.co.uk

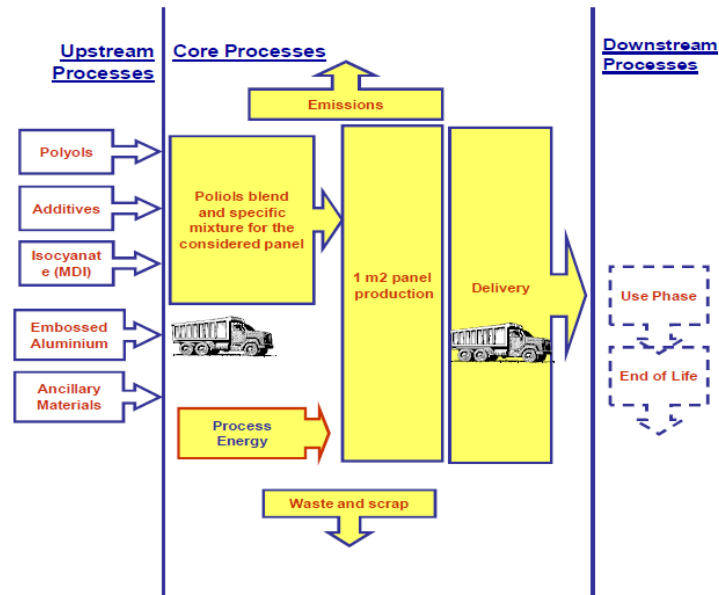


Figure 1 – Preliminary outline of the process considered. The yellow areas show the operations carried out in P3. The dotted lines mark phases as viewed in qualitative way.

As far as certain technical aspects are concerned, the following hypotheses may be underlined:

- the **production system of materials used** in the construction of the panel includes all the phases from obtaining the raw materials from the subsoil up to their production and use;
- the **quantities** of the above-mentioned materials are set in the product specifications while the **energies involved in the process** are quantified according to the overall volume produced;
- as for **transport**, the study considered the transport necessary for the stock-up of semi finished products and of consumption materials as well as the internal handling phases and final delivery;
- the **activities carried out on the production site** (heating, lighting, consumption materials, etc.) are included within the system boundaries considering its overall production;
- **delivery mode** regards the transport of the product both in Italy and abroad. The parameters considered for the distances covered are 1,000 km abroad, while in Italy they are based on average distances within the three areas in which the country was divided for this purpose: north, centre and south.

Considering the fact that the process takes place entirely in the Italian territory, the data concerning energy refer to the Italian energy mix, with the exclusion of the processes involved in the manufacture of some raw materials (isocyanate and polyols), in which case the European mix was taken as a point of reference.



ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

In compliance with EPD® system regulations, below is a table illustrating the environmental performance of the Piratunha HD Hydrotec 15HP21 panel showing details of the natural resources consumption (with or without energy content) as well as the emission of pollutant substances and the production of waste.

Table 2 – Total consumption of resources related to the production of Piratunha HD Hydrotec 15HP21 panels. The data refer to a unit of 1 m² of panel.

Consumption of resources			Upstream Processes	Core Processes	TOTAL
With energy content [data in MJ]	Renewable Resources	Hydroelectric	10	0,4	10,4
		Wood and Biomass	1	<0.1	1
		Other renewable resources	1	<0.1	1
	Total of renewable resources		12	0.4	12.4
	Non renewable resources	Coal	21	0.5	21.5
		Oil	89	3	92
		Gas	95	3	98
		Nuclear resources	16	0.4	16.4
		Other	0	0.1	0.3
	Total of non renewable resources		221	7	228
	Total (Gross Energy Requirements)		233	8	241
Without energy content [data in kg]	Of which electricity (P3) ³		-	2.6	2.6
	Total of renewable resources		<0.1	<0.1	<0.1
	Total of non renewable resources		3.5	<0.1	3.5
	Total		3.5	<0.1	3.5
	Water consumption		404	0.2 ⁴	404.15

The emissions released in water and in air are presented in an “aggregated” manner, providing the indicators established by the international system EPD.

The results of this classification are listed in Table 3 below.

³ Inclusive of electric energy consumption and natural gas

⁴ Of which 0.015 l/m² come from foaming processes



Table 3 – Potential contribution to the main environmental effects of the production process of Pirat HD Hydrotec 15HP21 panels. The data refer to a unit of 1 m² of panel.

Indicator	Units	Upstream Processes	Core Processes	TOTAL
Global Warming Potential (GWP ₁₀₀)	kg CO ₂ eq.	11	1	12
Acidification Potential (AP)	mol H ⁺ eq.	3	0,5	3,5
Eutrophication Potential (EP)	g O ₂ eq.	303	16	319
Ozone Depletion Potential (ODP)	g CFC11 eq.	-	-	-
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)	g C ₂ H ₄ eq.	24.7	0.7	25.4

Other significant data related to the description of the environmental impact of the system is the information connected with the production of waste. Table 4 shows the overall amount of waste generated by the production activities of Pirat HD Hydrotec 15HP21 panels.

Table 4 – Total of waste produced by the system. Data expressed in kg.

Type of waste	Upstream Processes	Core Processes	TOTAL	Of which directly produced by P3
Non hazardous	3.6	0.3	3.9	0.3
Hazardous	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1



USE PHASE AND END OF LIFE

As far as the use phase is concerned, the following considerations may be mentioned:

- Aluminium is not particularly degradable while polyurethane foam is non-putrescible, resistant to mould and stable from a dimensional point of view;
- The closed cells structure reduces remarkably the penetration of water, that within the space of a few years may, both in its liquid form and as steam, originate degradation processes by hydrolysis;
- Like all the foams having closed cells, also this one is subject to "ageing" effect, by which term we mean a decrease in its insulating properties due to the process which tends to equilibrate the gas contained in the cells with the gas in the atmosphere.

As for its disposal, it is possible to re-utilise the elements obtained from the ducts for insulation purposes in the building construction (floor or wall cavities). For other parts, as an alternative, it is possible to grind and separate (and possibly retrieve) the metal from the foam. Starting from the foam, once this has been separated from facings, a chemical process may be applied (glycolysis) which makes it possible to obtain a liquid reactive product to be mixed with a new polyol. Another hypothetical procedure is that of mixing the powder obtained by fine grinding of the foam with the polyol mixture intended for use in the production of insulating panels, at a proportional percentage of up to 10% by weight. As an alternative, on account of the high calorific power of the foam in spite of the flame retardants contained in it, the combustion process of the mixture with other waste, performed in special incinerators at very high temperatures makes it possible to "valorise" (waste-to-energy incineration) the "feedstock" energy available in the material.

Finally, sending the waste to the landfill after the grinding and compacting processes have been completed, should be seen as the last solution.

Since the performance in terms of thermal insulation ensured by Pirall HD Hydrotec 15HP21 panels is strategic in evaluating the saving in energy related to the choice of preinsulated ducts, it was desired to go deeper into that aspect by examining the performances derived from the application of different types of technologies to a standard HVAC model.

For the sake of concreteness, below is an example of calculation used for a theoretical evaluation of the energy consumption associated with a standard HVAC model. Below are the data related to the project:

- HVAC system with a surface of 500 m² of ducts capable of supplying 8500 - 9000 m³/h of treated air in a block of offices of about 600 – 650 m²;
- Ductworks made of preinsulated panels Pirall HD Hydrotec 15HP21, $\lambda_u^5 = 0.024 \text{ W/(m K)}$ (evaluated at a mean temperature of 10 °C) installed on a double ceiling or, as usual, not in the same room where the treated air is distributed;

⁵ The value for thermal conductivity mentioned refers to a value of λ_u used in the project, i.e. a value declared by the manufacturer which may be used by the designer for calculation purposes. This figure is also attributable to the same property during a period of time regarded as economically reasonable in normal conditions allowing for any possible ageing or statistical corrections.



- Operation of the system in summer: cooling of the workplace, estimated for an average time of 10 hours a day, for 5 days a week and for a total of 4 months (an overall total of 850 hours);
- The difference in temperature between internal air (about 17 °C) and external air (about 32 °C) is equivalent to 15°C.

Considering that the above value for thermal conductivity refers to a mean temperature of 10 °C, in order to calculate the actual performance of the ducts system in terms of energy it will be necessary to consider the value of λ_u at a mean working temperature of 25 °C. To calculate this conversion (Table 5) we must use the rules listed in EN ISO 10456 – 2007 (Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values):

$$\lambda_2 = \lambda_1 * F_t$$

where F_t is the correctional factor for the working temperature, while the starting value for thermal conductivity is the figure declared by the manufacturer at 10 °C.

$$F_t = \exp[f_T * (T_2 - T_1)]$$

with f_T being equivalent to the conversion coefficient for the fixed temperature established by the standard EN ISO 10456, which is 0.0055 for polyurethane foams with a thermal conductivity value of up to 0.025 W/(mK).

Table 5 – conversion of the values for thermal conductivity

Solution	λ_1 [W/(m K)]	f_T [1/K]	$T_2 - T_1$ [K]	F_t	λ_2 [W/(mK)]
Polyurethane	0.024	0.0055	15	1.086	0.0261

The energy consumption was worked out through an evaluation of the thermal power Q_d (kW) lost through the walls of the HVAC system by applying the following formula:

$$Q_d = U * \Delta T * S$$

where U is the thermal transmittance of the ducts' walls, ΔT the difference in temperature between external and internal air and S the total surface of the ducts system. Table 6 shows the above-mentioned calculations:



Table 6 – physical/thermal evaluation of energy dispersion in the standard model

	Units	Piral HD Hydrotec 15HP21 panel
Thickness	m	0.0205 (insulating material 0.020)
Thermal conductivity λ_u	W/(m K)	0.0261
Resist. of insulating material	(m ² K)/W	0.766
Internal liminar resist.	(m ² K)/W	0.043
External liminar resist.	(m ² K)/W	0.0122
Total resistance	(m ² K)/W	0.93
Thermal transmittance U	W/(m ² K)	1.07
ΔT	K	15
Lost thermal power Q_d	kW	8.05

Having hypothesised an operating time of 850 hours, the amount of thermal energy lost is about 6845 kWh which, expressed in a different unit of measure, is equivalent to 24642 MJ.

ADDITIONAL INFORMATION AND REFERENCES

This section of the declaration includes additional information connected with company management and with the validation procedure of the document.

TECHNICAL PERFORMANCE OF THE PRODUCT

To complete the description of the product being analysed, here is a brief illustration of other features offered by the Piral HD Hydrotec 15HP21 panel:

- **Low weight:** the extreme lightness of the panel makes it possible to reduce the weight of the load supported by the bearing structures, by the bracketing points and to reduce the labour force and the amount of materials needed for the final installation of the duct;
- **Low noise level:** the sandwich-type structure of the panel (aluminium-insulating material-aluminium) guarantees good acoustical behaviour;
- **Durability:** the external aluminium sheets coupled with the insulating material impart sturdiness, rigidity and good resistance to corrosion, to erosion and to deformation, even when the panel is used in particular applications;
- **Safety:** the Piral HD Hydrotec 15HP21 panel shows a limited degree of participation in case of fire accidents, it does not drip and the fumes produced have low degrees of opacity and toxicity, thus meeting the criteria established by the most stringent international standards.

ENVIRONMENTAL PHILOSOPHY OF THE COMPANY

Since the year 1996 P3 has operated according to the UNI EN ISO 9001-2000 standards, and later achieved the environmental certification UNI EN ISO 14001-2004 and OHSAS 18001-99. For broader diffusion of the outstanding environmental performance of its products, P3 has published this environmental product declaration with the format of an EPD.



Among the actions aimed at perfecting its efforts in environmental matters, P3 would like to mention the following:

- increase in the stock-up of raw materials in re-usable 1000 kg indicator small tanks, thus reducing the number of metal containers (drums) used and the scrap produced;
- introduction of a coefficient to express the waste/m² ratio of produced panels. This makes it possible to evaluate this parameter and to decide what actions should be taken in order to improve on it;
- constant monitoring of the panels' density in order to identify sensitive parameters and thus improve productivity while still using the same raw materials for production;
- sensitising the supplier of aluminium sheets to the possibility of using alloys, which may be obtained from recycled material and offer the same level of performance;
- reduction in energy consumption, by enacting a policy aimed at minimising waste (e.g. turning the PC off during the lunch break or while not in use, lowering the heating temperature by 2 °C during the winter season, etc.).

CONTRIBUTION OF GENERIC DATA

The employment in this study of generic data characterised only the production of the mixture for the construction of the panel. When verification took place, it was calculated that the influence of generic data is inferior to 10%.



CONTACTS

For further information about the activities undertaken by P3 or about this environmental declaration, please contact Mr Nicola Mela, Tel. 0499070301, e-mail n.mela@p3italy.it.

As an alternative, you may visit our site <http://www.p3italy.it/>.

Technical support was offered to P3 by the Study Life Cycle Engineering in Turin (www.studiolce.it) - info@studiolce.it.

REFERENCES

- Analysis of production operations for panels made of expanded polyurethane using the methodology known as Life Cycle Assessment (LCA), Final Report 8 October 2008 (Life Cycle Engineering, www.studiolce.it).
- Technical data sheets P3 (<http://www.p3italy.it/>)

INFORMATION ABOUT THE CERTIFYING BODY AND ABOUT THE PCR

PCR review, was conducted by:

P3 - Life Cycle Engineering

Independent verification of the declaration and data, according to ISO 14025:

☐ *Internal* ☒ *external*

Third party verifier:

RINA S.p.A. Certification Body (www.rina.org)

Valid until: 27/11/2011

Please note that EPDs obtained with different programs may not be comparable

GLOSSARY

Categories of environmental impact taken into consideration:

- Acidification Potential (AP): phenomenon by which atmospheric rainfall has a pH which is lower than average. This may cause damage in forests and cultivated fields, as well as in water ecosystems and objects in general. This phenomenon is due to the emissions of SO₂, of NO_x, and NH₃, which are included in the Acidification Potential (AP) index expressed in masses of H⁺ produced.
- Ozone Depletion Potential (ODP): degradation and depletion of the ozone layer in the stratosphere, which has the property of blocking the ultraviolet components of sunlight thanks to its particularly reactive compounds, originated by chlorofluorocarbons (CFC) or by chlorofluoromethanes (CFM). The substance used as a point of reference for assessing the ODP (Ozone Depletion Potential) is trichlorofluoromethane, or CFC-11.
- Global Warming Potential (GWP): phenomenon by which the infrared rays emitted by the earth's surface are absorbed by the molecules in the atmosphere as a result of solar warming and then re-emitted in the form of heat, thus giving rise to a process of global warming of the atmosphere. The indicator used for this purpose is GWP (Global Warming Potential). This mainly includes the emissions of carbon dioxide, the main greenhouse gas, as well as other gases with a lower degree of absorption of infrared rays, such as methane (CH₄), nitrogen protioxide (N₂O), chlorofluorocarbons (CFC), which are expressed according to the degree of absorption of CO₂ (g CO₂).



- Eutrophication Potential (EP): enrichment of the watercourses by the addition of nutrients. This causes imbalance in water ecosystems due to the overdevelopment encouraged by the excessive presence of nourishing substances. In particular, the Eutrophication Potential (EP) includes phosphorous and nitrogen salts and it is expressed in grams of oxygen (g O₂).
- Photochemical Ozone Creation Potential (POCP): production of compounds which by the action of light are capable of encouraging an oxidising reaction leading to the production of ozone in the troposphere. The indicator POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) includes especially VOC (volatile organic compounds) and is expressed in grams of ethylene (g C₂H₄).
- Cumulated energy (Gross Energy Requirements - GER): is the overall amount of energy involved in a production system. This is made up of the addition of all the quantities of energy inherent in all the operations from the extraction of raw material. Gross energy may be subdivided at least in five categories: direct energy or energy content of fuel, feedstock energy, production & delivery energy, transport energy and biomass energy.

