



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



Análise de Ciclo de Vida de duas soluções de *ETICS*

MÁRIO NUNO LOPES VITORINO PERDIGÃO
(Licenciado em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientadores:

Doutor Armando Teófilo dos Santos Pinto
Especialista Jorge Manuel Grandão Lopes

Júri:

Presidente:

Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Vogais:

Mestre Manuel Brazão de Castro Farinha
Doutor Armando Teófilo dos Santos Pinto
Especialista Jorge Manuel Grandão Lopes

Dezembro de 2013

RESUMO

A preocupação com os impactos ambientais do setor da construção civil tem conduzido à procura de sistemas, soluções e processos construtivos mais sustentáveis. Na construção nova e na reabilitação da envolvente de edifícios, para reduzir as necessidades térmicas, são usualmente adotadas soluções de reforço do isolamento térmico pelo exterior.

Na presente dissertação foi utilizada a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV), para quantificar o impacto ambiental de um sistema e verificar qual o mais vantajoso em termos ambientais, ao longo do seu ciclo de vida. Como objeto de estudo, foram selecionadas duas soluções de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (*ETICS*), uma com isolante em poliestireno expandido moldado (EPS) e outra com isolante em aglomerado de cortiça expandida (ICB). A ACV teve por base a metodologia definida pela norma NP EN ISO 14040:2008, desde o berço até à cova. Neste trabalho de ACV, para além de serem consideradas as etapas de ciclo de vida normalmente utilizadas, tais como extração de matérias-primas, transporte, fabrico dos componentes e tratamentos de fim de vida, foram também analisadas as etapas de aplicação do sistema *in situ* e manutenção do sistema aplicado. Para esta análise foi utilizado o *software* holandês *SimaPro*®, através do qual se recorreu à metodologia de avaliação de impacto *EPD* (2008).

No estudo realizado conclui-se que ao longo do ciclo de vida dos dois sistemas *ETICS* com isolantes de EPS e ICB, a fase de fabrico dos componentes e a fase de manutenção dos sistemas são as que têm maior contributo para as diferentes categorias de impacto ambiental. O sistema *ETICS* com isolante ICB foi o que apresentou a menor contribuição para o impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida, com um menor contributo em quatro das seis categorias de impacto ambiental que são analisadas na metodologia de avaliação de impacto *EPD* (2008).

PALAVRAS-CHAVE

Materiais de Construção, *ETICS*, ICB, EPS, Análise de Ciclo de Vida, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The concern with the environmental impacts caused by construction, has led to the search of more sustainable systems, solutions and construction processes. In construction and in the rehabilitation of buildings envelope, to reduce the thermal needs, are usually adopted thermal insulation reinforcement solutions by the exterior.

This thesis was used the Life-Cycle Assessment (LCA) to quantify the environmental impact of a system and to find which was the most beneficial to the environment, throughout their life-cycle. As a subject of study, were selected two External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) solutions, one with insulation product of expanded polystyrene (EPS) and another with insulation cork board (ICB). The LCA was based on the methodology defined by the NP EN ISO 14040:2008 standard, from cradle-to-grave. In addition to the stages normally used in a LCA, such as extraction of raw materials, transport, manufacturing of components and end-of-life treatments, in this LCA work were also considered and analyzed the implementation of the system *in situ* and maintenance of systems phases. This analysis resorted to the impact assessment methodology *EPD (2008)*, through the use of the Dutch *SimaPro*® software.

This study was concluded that in life-cycle of two ETICS with insulations EPS and ICB, the manufacturing phase of the components and the maintenance phase of the systems are those that have the most contributed to the different environmental impact categories. The system with ICB presented a minor contribution to the environmental impact throughout its life-cycle, with a smaller contribution in four of the six environmental impact categories that are analyzed in the impact assessment methodology *EPD (2008)*.

KEYWORDS

Construction materials, *ETICS*, ICB, EPS, Life-Cycle Assessment, Sustainability

AGRADECIMENTOS

A conceção de um Trabalho Final de Mestrado pressupõe um trabalho pessoal de ponderação, investigação, empenho e inspiração. No entanto, não é um trabalho individualista, sendo fruto de vários contributos. Finalizado este trabalho, gostaria de gravar o meu agradecimento a todos os que contribuíram para o sucesso do mesmo:

Ao Eng.º Armando Pinto, do LNEC, pela orientação prestada, saber científico e disponibilidade mostrada no decorrer da elaboração desta dissertação,

Ao Eng.º Jorge Grandão Lopes, pelo aconselhamento prestado na escolha de um tema inovador e de grande interesse, e por toda a orientação demonstrada,

Ao Eng.º José Lopes Infante, da empresa AMORIM Isolamentos, S.A., por toda a disponibilidade para visitas técnicas à unidade industrial de Vendas Novas e para fornecimento de documentação sobre o aglomerado de cortiça expandida,

À Eng.ª Sofia Malanho e Eng.ª Nádia Lampreia, do LNEC, por toda a informação disponibilizada, proveniente da sua experiência com sistemas *ETICS* e por me fazerem sempre acreditar que conseguiria concretizar os objetivos a que me propus,

À *APFAC* pelo fornecimento de documentação sobre os sistemas *ETICS* e pelo interesse demonstrado neste trabalho,

Aos meus colegas e amigos que fiz através do ISEL, por toda a amizade e apoio transmitidos nestes seis anos de grande companheirismo e espírito de entreajuda,

Aos meus amigos com que partilho casa em Lisboa, os quais são como família, pelo incentivo e pelo apoio transmitidos durante esta longa estadia,

Aos meus grandes amigos da aldeia das Cortiçadas, que, mesmo estando longe, não deixaram de me dar uma palavra de apoio,

Aos meus familiares, por todo o carinho e apoio que sempre demonstraram,

Aos meus pais e irmã, pela força e apoio indiscreíveis em todo o meu percurso académico, aos quais dedico o presente Trabalho Final de Mestrado,

O meu profundo obrigado.

ÍNDICE GERAL

Resumo e Palavras-Chave	i
Abstract e Keywords.....	iii
Agradecimentos	v
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas	xiii
Abreviaturas.....	xv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do tema.....	1
1.2 Objetivo da dissertação	4
1.3 Estrutura da dissertação.....	5
2 Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (<i>ETICS</i>).....	7
2.1 Generalidades	7
2.2 Características dos componentes.....	9
2.2.1 Generalidades.....	9
2.2.2 Suporte	10
2.2.3 Isolante térmico.....	11
2.2.4 Elementos de fixação	20
2.2.5 Camada de base	21
2.2.6 Armadura	22
2.2.7 Primário de regularização de fundo	22
2.2.8 Acabamento	22
2.2.9 Outros acessórios	23
2.3 Vantagens e desvantagens.....	23
2.4 Exigências do ETAG 004.....	26
2.5 Anomalias mais frequentes	33
2.6 Manutenção – alguns tipos de intervenção	38

2.7	Energia incorporada nos constituintes de cada componente.....	41
3	Análise de Ciclo de Vida (ACV).....	45
3.1	Considerações preliminares	45
3.2	Descrição da metodologia.....	48
3.2.1	Generalidades	48
3.2.2	Definição do Objetivo e Âmbito	51
3.2.3	Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	52
3.2.4	Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV).....	52
3.2.5	Interpretação	52
3.3	Exemplos de declarações ambientais.....	53
3.3.1	Generalidades	53
3.3.2	Declarações Ambientais Tipo I – Rótulos Ecológicos Certificados.....	53
3.3.3	Declarações Ambientais Tipo II – Auto Declarações Ambientais	54
3.3.4	Declarações Ambientais Tipo III – Declarações Ambientais do Produto (EPD)	55
3.4	Levantamento de ferramentas informáticas (<i>Softwares</i> e Bases de Dados)	56
4	Metodologia para ACV de sistemas <i>ETICS</i>	61
4.1	Generalidades.....	61
4.2	Definição do Objetivo e Âmbito.....	61
4.2.1	Descrição do produto, objetivo e contexto do estudo e público-alvo...	61
4.2.2	Definição da unidade funcional.....	62
4.2.3	Definição das fronteiras dos sistemas.....	62
4.2.4	Metodologia de avaliação de impacte e categorias de impacte ambiental	62
4.2.5	Estratégia de recolha de dados.....	65
4.2.6	Pressupostos e limitações	65
4.3	Inventário do Ciclo de Vida – ICV	69
4.3.1	Generalidades	69

4.3.2	Produto de colagem	71
4.3.3	Isolante térmico do sistema A – EPS.....	73
4.3.4	Isolante térmico do sistema B – ICB	75
4.3.5	Cavilhas de fixação mecânica.....	78
4.3.6	Camada de base	80
4.3.7	Rede de fibra de vidro.....	81
4.3.8	Primário de regularização de fundo	82
4.3.9	Acabamento	84
4.3.10	Manutenção dos sistemas <i>ETICS</i>	85
4.4	Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV)	86
4.4.1	Generalidades.....	86
4.4.2	Imputação dos resultados do ICV (Classificação).....	86
4.4.3	Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (Caracterização).....	86
4.4.4	Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria em relação à informação de referência (Normalização)	87
4.5	Interpretação.....	88
4.5.1	Generalidades.....	88
4.5.2	Análise da contribuição dos isolantes para o impacte ambiental do sistema A e sistema B.	88
4.5.3	Análise do impacte ambiental dos Sistemas A e B na fase de Caracterização.....	94
4.5.4	Análise do impacte ambiental do Sistemas A e B na fase de Normalização	100
4.5.5	Análise comparativa dos impactes ambientais dos sistemas A e B... ..	103
5	Conclusões, desenvolvimentos futuros e considerações finais.....	107
5.1	Conclusões	107
5.2	Desenvolvimentos Futuros.....	110
5.3	Considerações Finais.....	113

6	Referências bibliográficas	115
---	----------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Área de sistemas <i>ETICS</i> aplicados em Portugal entre 2008 e 2012 (APFAC, 2012).....	8
Figura 2.2: Percentagens de tipo de isolante térmico e de sistema de fixação utilizados em Portugal (APFAC, 2012).....	9
Figura 2.3: Constituição de um sistema <i>ETICS</i>	10
Figura 2.4: ICB (à esquerda), EPS (ao centro) e XPS (à direita)	11
Figura 2.5: Esquema do processo de fabrico do poliestireno expandido moldado. Adaptado de (Representações Esferovire, S.A., 2007).....	15
Figura 2.6: Esquema do processo de fabrico dos aglomerados de cortiça expandido. Adaptado de (Lopes, 2011).....	19
Figura 2.7: Cavilha para fixação mecânica utilizada nos sistemas em estudo	21
Figura 2.8: Contribuição de cada anomalia para a amostra. (Flores, et al., 2012)	34
Figura 2.9: Contribuição de cada grupo de anomalias para a totalidade das anomalias registadas (Flores, et al., 2012)	35
Figura 2.10: Contribuição de cada grupo de causas para as anomalias registadas. (Flores, et al., 2012)	35
Figura 2.11: Fases da manutenção de um sistema <i>ETICS</i>	39
Figura 3.1: Fases do Ciclo de Vida de um produto. Adaptado de (Ferreira, 2004)...	47
Figura 3.2: Exemplo de um sistema de produto para ACV. (IPQ, 2008).....	49
Figura 3.3: Fases da Análise de Ciclo de Vida. Adaptado de (IPQ, 2008).....	51
Figura 3.4: Rótulo Ecológico Europeu (à esquerda), <i>Nordic Swan</i> (ao centro) e <i>Blue Angel</i> (à direita). (Seleção de materiais de construção eco-eficientes. Parte 1, 2011)	54
Figura 3.5: Produto Reciclado (à esquerda), Embalagem Reciclável (ao centro) e Alumínio Reciclável (à direita) (Caiado, 2011).....	55
Figura 3.6: Aspeto geral do <i>software</i> SimaPro®	58
Figura 4.1: Média da distribuição da produção de energia elétrica em Portugal entre os anos de 2011 e 2012	68
Figura 4.2: Processo representativo da estrutura de produção elétrica nacional	69
Figura 4.3: Comparação entre as contribuições do EPS e do ICB para o impacte ambiental, na fase de Caracterização	88

Figura 4.4: Comparação entre as contribuições do EPS e do ICB para o impacto ambiental, sem recurso a resinas sintéticas, na fase de Caracterização.....	90
Figura 4.5: Comparação entre as contribuições do EPS e do ICB para o impacto ambiental, na fase de Normalização	93
Figura 4.6: Representação esquemática da contribuição dos processos unitários do sistema A para a categoria de impacto ambiental aquecimento global. Apenas são visíveis 12 em 2022 (0.59%) processos que constituem o ciclo de vida do sistema A.	95
Figura 4.7: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema A para cada categoria de impacto ambiental, na fase de Caracterização.....	96
Figura 4.8: Representação esquemática da contribuição dos processos unitários do sistema B para a categoria de impacto ambiental aquecimento global. Apenas são visíveis 12 em 2021 (0.59%) processos que constituem o ciclo de vida do sistema B.	98
Figura 4.9: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema B para cada categoria de impacto ambiental, na fase de Caracterização.....	99
Figura 4.10: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema A para cada categoria de impacto ambiental, na fase de Normalização	101
Figura 4.11: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema B para cada categoria de impacto ambiental, na fase de Normalização.....	103
Figura 4.12: Comparação entre as contribuições do sistema A e do sistema B para o impacto ambiental, na fase de Caracterização	104
Figura 4.13: Comparação entre as contribuições para o impacto ambiental do sistema A e do sistema B, na fase de Normalização	105

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Ensaios a realizar aos componentes de um sistema <i>ETICS</i> . (Veiga, et al., 2010 a).....	30
Tabela 2.2: Critérios de apreciação dos ensaios realizados na primeira fase sobre o sistema aplicado no murete. (Veiga, et al., 2010 a).....	31
Tabela 2.3: Critérios de apreciação dos ensaios de comportamento do sistema realizados na segunda fase. (Veiga, et al., 2010 a).....	32
Tabela 2.4: Exigências definidas para os componentes do sistema (Veiga, et al., 2010 a).....	32
Tabela 2.5: Anomalias, causas e terapêuticas em sistemas <i>ETICS</i> . (Flores, et al., 2012), (Vicente, 2012), (Logeais, 1988).....	36
Tabela 2.6: Análise comparativa de duas soluções de <i>ETICS</i> . (Hammond, et al., 2008), (Tavares, 2006).....	42
Tabela 3.1: Principais bases de dados para estudos ACV (Zabalza, et al., 2012)	57
Tabela 4.1: Distribuição da produção de energia elétrica em Portugal nos anos de 2011 e 2012 (REN - Redes Energéticas Nacionais SGPS, S.A., 2013).....	68
Tabela 4.2: Quantidades de cada componente do sistema A e B para 1m ² de sistema <i>ETICS</i>	71
Tabela 4.3: Fatores de Normalização (Pinto, 2008)	87
Tabela 4.4: Valores absolutos do EPS e do ICB, na fase de Caracterização.....	89
Tabela 4.5: Valores absolutos do EPS e do ICB, na fase de Caracterização, sem recurso a resinas sintéticas, na fase de Caracterização	91
Tabela 4.6: Processos maioritariamente responsáveis pelo impacte ambiental do EPS e do ICB, para as diferentes categorias de impacte ambiental.....	91
Tabela 4.7: Valores absolutos do EPS e do ICB, na fase de Normalização	92
Tabela 4.8: Valores absolutos obtidos para o sistema A na fase de Caracterização..	97
Tabela 4.9: Valores absolutos obtidos para o sistema B na fase de Caracterização..	99
Tabela 4.10: Valores absolutos obtidos para o sistema A na fase de Normalização	100
Tabela 4.11: Valores absolutos obtidos para o sistema B na fase de Normalização	102
Tabela 4.12: Valores absolutos do sistema A e do sistema B, na fase de Caracterização.....	104
Tabela 4.13: Valores absolutos do sistema A e do sistema B, na fase de Normalização	105

ABREVIATURAS

AA| Auditoria Ambiental

ACV| Avaliação de Ciclo de Vida (em Inglês *Life Cycle Assessment – LCA*)

AIA| Análise de Impacte Ambiental

AICV| Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida

APFAC| Associação Portuguesa dos fabricantes de Argamassas e *ETICS*

AQS| Águas Quentes Sanitárias

AR| Análise de Risco

CFC| Clorofluorcarbonetos

CUAP| *Common Understanding of Assessment Procedure*

DH| Documento de Homologação

DAP| Declaração Ambiental de Produto (em Inglês *Environmental Product Declaration – EPD*)

DPC| Diretiva dos Produtos de Construção

EPS| *Expanded PolyStyrene* (Poliestireno Expandido Moldado)

EOTA| *European Organisation for Technical Assessment*

ETAG| *Guideline for European Technical Approval*

ETA| *European Technical Approval*

ETICS| *External Thermal Insulation Composite Systems* (Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior)

HCFC| Hidroclorofluorcarbonetos

IBICT| Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

ICB| *Insulation Cork Board* (Placa de Isolamento em Aglomerado de Cortiça Expandida)

ICV| Inventário do Ciclo de Vida

LERevPa| Laboratório de Ensaios de Revestimentos de Paredes

LNEC| Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MRI| *Midwest Research Institute*

MW| *Mineral Wood* (Lã Mineral)

NP – Norma Portuguesa

PA| Potencial de Acidificação (em Inglês *Acidification Potential* – AP)

PAG| Potencial de Aquecimento Global (em Inglês *Global Warming Potential* – GWP)

PCOF| Potencial de Criação de Ozono Fotoquímico (em Inglês *Photochemical Ozone Creation Potential* – POCP)

PDCO| Potencial de Destruição da Camada de Ozono (em Inglês *Ozone Depletion Potential* – ODP)

PE| Potencial de Eutrofização (em Inglês *Eutrophication Potential* – EP)

PIR| *PolyIsocyanurate Rigid* (Poliisocianurato)

PVC| *PolyVinyl Chloride* (Policloreto de Polivinila)

RCCTE| Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RCP| Regras de Categoria de Produto (em Inglês *Product Category Rules* – PCR)

RPE| Revestimentos Plásticos Espessos

RPC| Regulamento dos Produtos de Construção

REPA| *Resource and Environmental Profile Analysis*

RGEU| Regulamento Geral das Edificações Urbanas

SEMC| *Swedish Environmental Management Council*

UEAtc| Guia da União Europeia para Aprovação Técnica na Construção

USEPA| *United States Environmental Protection Agency*

XPS| *eXtruded PolyStyrene* (Poliestireno Expandido Extrudido)

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA

Os recursos naturais devem ser preservados e usados de forma racional. O progresso, o aumento da industrialização e o crescimento económico não podem ser associados ao consumo excessivo dos mesmos. Se esta consciencialização não for implementada, os recursos naturais acabam por desaparecer, deixando de existir condições para a sobrevivência para as gerações futuras. Sendo assim, é importante apreender que não é necessário abandonar o consumo para preservar os recursos naturais, mas sim que utilizá-los de uma forma sustentável (Berge, 2009). A sustentabilidade preconiza a mudança de hábitos e padrões de consumo, a fim de suprir a necessidades da população, por exemplo, na construção, na saúde ou na alimentação (Pinheiro, 2006). Segundo o Relatório de *Brundtland*, definiu-se sustentabilidade como *o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades* (World Commission on Environment and Development, 1987). Não sendo a sustentabilidade suficiente, poder-se-á ir mais além diminuindo o desperdício e a produção excessiva de resíduos (Pedro, 2011).

A indústria da construção é um dos setores que mais recursos consome e que mais resíduos gera. Os edifícios em particular, para além da carga ambiental associada à construção, consomem energia utilizada no arrefecimento e no aquecimento. Existindo a necessidade de atenuar a contribuição deste setor na problemática ambiental, são implementados sistemas, soluções e processos construtivos mais sustentáveis, em contexto de edifícios novos e na reabilitação de edifícios (Teodoro, 2011).

Uma das soluções que pode ser aplicada na área da construção civil e que será o tema central da presente dissertação de Mestrado prende-se com a utilização de Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior designados pela sigla *ETICS* (*External Thermal Insulation Composite Systems*). O sistema *ETICS* é uma solução de isolamento térmico pelo exterior aplicado nas fachadas que é utilizado na construção civil e que contribui para satisfazer as exigências de isolamento térmico

decorrentes dos requisitos de qualidade térmica da envolvente e da eficiência energética do edifício.

Estes sistemas são constituídos por produto de colagem, isolante térmico, camada de base armada com rede de fibra de vidro, primário de regularização de fundo e revestimento final.

Os sistemas *ETICS* podem ser utilizados na reabilitação de edifícios, cuja envolvente vertical apresente índices de isolamento térmico insuficientes, infiltrações ou aspeto degradado, e em novas construções. O sistema *ETICS* apresenta múltiplas vantagens, das quais se destacam a diminuição das pontes térmicas, a espessura reduzida do sistema associada a um bom coeficiente de transmissão térmica ou a diminuição das condensações interiores (Veiga, et al., 2010 b)).

Uma das técnicas que permite analisar o impacte ambiental provocado por um produto ou analisar, entre um conjunto de produtos, qual o mais vantajoso em termos ambientais diz respeito à Análise de Ciclo de Vida, também denominada por Avaliação de Ciclo de Vida. A Análise de Ciclo de Vida – ACV ou, em Inglês, *Life-Cycle Assessment – LCA*, é uma técnica que permite quantificar as emissões de gases poluentes e analisar o impacte ambiental de um produto, processo ou sistema, sendo esta avaliação estudada sobre toda a vida do mesmo, desde o seu início (processo de extração de matérias-primas, por exemplo), passando pelo seu fabrico, transporte e aplicação e manutenção, até ao final da sua vida (quando o produto excede o seu tempo de vida, passando a ser um resíduo) (Pinto, 2008). A normalização a respeitar na utilização da ferramenta ACV inclui a norma NP EN ISO 14040: 2008 (IPQ, 2008), que diz respeito aos princípios e enquadramento da ACV, bem como a norma NP EN ISO 14044: 2010 (IPQ, 2010) na qual são discriminados os requisitos e as linhas de orientação para elaboração de uma ACV.

A seleção de dois sistemas de revestimento para o desenvolvimento de um estudo comparativo de ACV é relevante para averiguar qual o impacte ambiental, nas suas diferentes fases de ciclo de vida, associado a dois sistemas cujos materiais isolantes têm origens distintas. Por um lado temos o aglomerado de cortiça expandida (ICB) que tem como matéria-prima natural e renovável a cortiça, cuja importância no território português é bastante significativa quer em termos ambientais, quer em termos sociais e económicos. Por outro lado temos o poliestireno expandido moldado

(EPS) que tem como matéria-prima natural não-renovável a nafta, um derivado do petróleo. A diferença entre os dois materiais está na renovabilidade da matéria-prima. Um recurso natural não-renovável é aquele que é consumido muito mais rapidamente do que o seu processo de formação na natureza, como é o caso do petróleo ou do carvão, ou seja, cuja taxa de utilização é inferior à taxa de renovação em virtude do seu ciclo de renovação ser, por vezes, de centenas de milhões de anos. Já um recurso natural renovável é aquele que é repostado naturalmente num prazo relativamente curto, isto é, à escala da vida humana. O sol, o vento e as árvores são exemplos de recursos naturais renováveis (Monteiro, 2011).

A ACV suporta a execução de Declarações Ambientais Tipo III, estas que são constituídas por um conjunto de dados ambientais quantificáveis ao longo do ciclo de vida do produto, baseados nos requisitos específicos para as diferentes Categorias de Produto (Lopes, 2011) [Categorias predefinidas de parâmetros para a elaboração de declarações ambientais do produto estabelecidas de acordo com a norma NP ISO 14025:2009 (IPQ, 2009)].

As Declarações Ambientais Tipo III (IPQ, 2009) fornecem informação sobre um produto ou serviço baseada na ACV, através de diagramas que apresentam um conjunto de indicadores ambientais (aquecimento global, depleção de recursos, produção de resíduos, entre outros), acompanhados de uma interpretação da informação (Trindade, 2009). As Declarações Ambientais do produto – DAP ou, em Inglês, *Environmental Product Declaration* – EPD são desenvolvidas, normalmente, por iniciativa da empresa, fornecendo uma descrição quantitativa fiável e verificada do desempenho de produtos e serviços de que são objeto, contribuindo, desta forma, para (Couto, 2011):

- disponibilização de informação para a cadeia de produção e também para o consumidor;
- facilitar o processo de desenvolvimento do produto, o melhoramento contínuo de um Sistema de Gestão Ambiental já estabelecido;
- permitir aos consumidores julgar sobre o desempenho ambiental dos produtos e serviços.

1.2 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

O principal objetivo da dissertação prende-se com a análise comparativa do desempenho ambiental de duas soluções de *ETICS*, que garantem o mesmo nível de isolamento térmico, uma com um isolante térmico de origem local e renovável e outro baseado num recurso não renovável. Nesta análise comparativa pretende-se perceber o impacto ambiental dos diferentes componentes do sistema *ETICS* em todo o ciclo de vida da solução e identificar as principais preocupações ambientais associadas a esta solução construtiva.

Para esse efeito utilizou-se a metodologia de Análise de Ciclo de Vida, para um sistema *ETICS*, abrangendo as seguintes fases do seu ciclo de vida:

- a extração de matérias-primas dos componentes;
- o transporte das matérias-primas até à fábrica;
- a produção dos componentes;
- o transporte dos componentes até ao local de aplicação;
- a aplicação dos sistemas *in situ*;
- a manutenção dos sistemas aplicados;
- a fase de fim de vida dos componentes do sistema.

Para alcançar o objetivo principal foram definidos os seguintes objetivos complementares:

- seleção de dois sistemas de isolamento térmico utilizados no ramo da construção civil que contribuíssem para melhorar o desempenho térmico e acústico em obras novas ou de reabilitação – *ETICS*. Foram selecionados sistemas com os componentes iguais, com exceção do isolante térmico – ICB e EPS;
- definição de uma unidade funcional para que os sistemas *ETICS* em estudo sejam comparáveis, quantificando todos os componentes de um sistema *ETICS* para a unidade funcional definida;
- análise das características de cada componente do sistema *ETICS*;

- análise de diversos *softwares* de ACV e respetivas bases de dados;
- adaptação do *software* selecionado – *SimaPro*® – ao ramo específico da construção civil;
- análise e comparação do impacte ambiental resultante de cada fase de ciclo de vida de *ETICS* selecionados.

Este trabalho não se debruça sobre os aspetos do desempenho térmico de um sistema *ETICS* num edifício, mas sim numa análise comparativa do desempenho ambiental de duas soluções de *ETICS*.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado está dividida em seis capítulos sendo estes a Introdução, Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (*ETICS*), Análise de Ciclo de Vida (ACV), Metodologia para ACV de sistemas *ETICS*, Conclusões, Desenvolvimentos Futuros e Considerações Finais e Referências Bibliográficas.

O capítulo 1 apresenta a importância da sustentabilidade e da contribuição do setor da Construção Civil para a problemática ambiental, abordando, desta forma, a utilização de sistemas, soluções e métodos mais eficientes, destacando o sistema *ETICS* como um sistema considerado como eficiente energeticamente. Este capítulo aborda também a sustentabilidade dos materiais, para a qual se recorre à ferramenta de ACV, esta que é utilizada para a elaboração de Declarações Ambientais de Produto. Para além deste enquadramento do tema, o presente capítulo descreve também os objetivos e a estrutura da presente dissertação de Mestrado.

O capítulo 2 descreve os Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (*ETICS*), apresentando todos os constituintes do mesmo, suas vantagens e desvantagens, requisitos destes sistemas à luz do Guia ETAG 004, anomalias e tipos de manutenção associadas a estes sistemas. A fechar o capítulo é elaborado um levantamento de energias incorporadas nos dois sistemas *ETICS* em estudo.

No capítulo 3 é descrito o estado da arte sobre a ACV, bem como as etapas que fazem parte da metodologia da mesma, estas que são a Definição do Objetivo e Âmbito, o Inventário do Ciclo de Vida (ICV), a Avaliação de Impacte do Ciclo de

Vida (AICV) e a Interpretação. Posteriormente são definidos os tipos de declarações ambientais existentes bem como a importância da ACV para elaboração de Declarações Ambientais de Produto (DAP). Por fim é elaborado um levantamento de *softwares* de ACV existentes no mercado, onde também se analisam as bases de dados de apoio a estas ferramentas.

No capítulo 4, procede-se à ACV dos dois Sistemas *ETICS*, conforme a metodologia descrita no capítulo 3.2. Na fase de Interpretação surge uma análise individual, bem como uma análise comparativa dos sistemas *ETICS*, a fim de avaliar qual o sistema *ETICS* mais vantajoso em termos ambientais para aplicação num revestimento exterior.

No capítulo 5 exploram-se às conclusões retiradas do presente estudo, bem como algumas recomendações para estudos futuros e apresentam-se as considerações finais

No último capítulo, capítulo 6, são apresentados as referências bibliográficas e as páginas da internet consultadas para o desenvolvimento da presente dissertação de Mestrado.

2 SISTEMAS COMPÓSITOS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR (*ETICS*)

2.1 GENERALIDADES

Os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior, comumente designado pela sigla *ETICS* (*External Thermal Insulation Composite Systems*) são isolamentos térmicos pré-fabricados aplicados sobre os suportes exteriores da fachada (EOTA, 2008), sendo considerados um caso particular de soluções de isolamento térmico aplicáveis em paramentos exteriores de paredes (Lucas, 1990).

Relativamente a outras definições utilizadas, estes sistemas também são conhecidos nos países anglo-saxónicos (especialmente nos Estados Unidos da América) por *EIFS* (*External Insulation and Finishing System*) e no caso de Espanha são conhecidos por *SATE* (*Sistema de Aislamiento Térmico Exterior*), (FuturEng, 2010).

A origem dos sistemas *ETICS* está associada ao período pós Segunda Guerra Mundial, 1939 e 1945. Neste período pós guerra registou-se na Europa, para além da insuficiência de bens essenciais para a população mundial, uma escassez evidente de combustíveis, que conduziu a um aumento significativo do seu custo e, por consequência, à dificuldade em manter condições mínimas de conforto térmico no interior dos edifícios. Naquela época foram realizados estudos que procuraram encontrar soluções mais eficientes para o isolamento térmico das habitações e para a redução do consumo de energia. Após estes estudos verificou-se que o isolamento térmico seria mais eficaz caso fosse aplicado pelo exterior das fachadas, essencialmente em virtude da correção de pontes térmicas devido à aplicação de isolamento térmico sem interrupções (Vicente, 2012), (FuturEng, 2010).

Nos anos 1940, surgiu na Suécia um sistema de isolamento de fachadas pelo exterior constituído por um isolante de lã mineral revestido com um reboco misto (cimento e cal). Posteriormente, após se testarem várias composições de reboco, produtos de reforço e materiais de isolamento térmico, o alemão Edwin Horbach terá desenvolvido um sistema de reboco delgado armado sobre poliestireno expandido. Este sistema de isolamento térmico começou a ser utilizado apenas no final dos anos 1950, após contactos com Frank Morsilli, um fornecedor alemão de placas de

poliestireno expandido moldado. Mais tarde, no final da década de 60 do século passado, a empresa *Dryvit Systems, Inc*, cujo fundador foi Frank Morsilli, introduziu o sistema nos Estados Unidos da América, com algumas alterações de adaptação à construção e mercado locais, fazendo com que este sistema se expandisse internacionalmente. No entanto, só durante a crise energética da década de 70 do século passado, a aplicação deste sistema foi generalizada mundialmente, dada a necessidade de melhoria do isolamento térmico para redução do consumo de energia dos edifícios (Vicente, 2012), (FuturEng, 2010).

Em Portugal, os sistemas *ETICS* apareceram já no final do século passado e a sua aplicação foi pontual, surgindo um aumento da procura pela utilização deste tipo de soluções. Nos últimos anos, segundo os dados da *APFAC* (Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e *ETICS*), verificou-se a nível nacional uma procura crescente da aplicação deste tipo de soluções em fachadas opacas, como se pode observar na Figura 2.1. Em 2012, a área aplicada de *ETICS* diminuiu ligeiramente comparando com os dados de 2011 (*APFAC*, 2012), possivelmente também devido à diminuição do número de obras, resultante da conjuntura económica de Portugal.

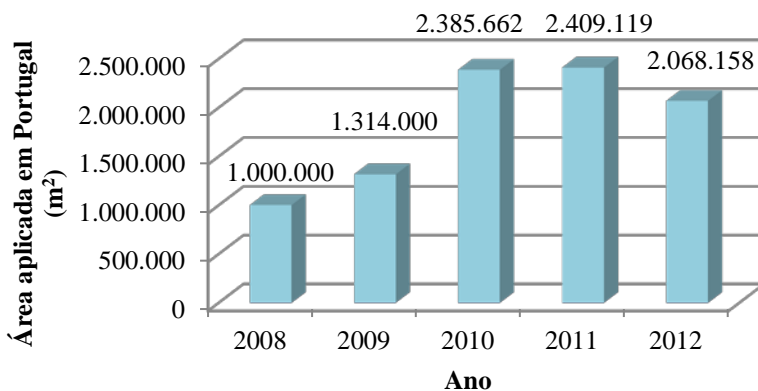


Figura 2.1: Área de sistemas *ETICS* aplicados em Portugal entre 2008 e 2012 (*APFAC*, 2012)

Este crescimento na aplicação dos sistemas *ETICS* em Portugal foi impulsionado pelas exigências construtivas decorrentes da aplicação da regulamentação térmica dos edifícios, nomeadamente o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril (Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 2006). Em relação ao regulamento anterior, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro (Decreto-Lei n.º 40/90

de 6 de Fevereiro. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 1990), salienta-se a necessidade de um acréscimo do isolamento da envolvente (zonas opacas) dos edifícios, uma ponderação da eficiência dos sistemas de climatização, a obrigatoriedade de instalação de sistemas de coletores solares para AQS (Águas Quentes Sanitárias), bem como um agravamento adicional das perdas térmicas causadas pelas pontes térmicas (ADENE, 2011).

Os dados estatísticos da APFAC revelam ainda que a aplicação do sistema *ETICS* em obra nova é de, aproximadamente, 48% e de 52% em obra de reabilitação. Relativamente ao tipo de isolante utilizado e ao tipo de fixação, os dados estatísticos de 2012 da APFAC revelam que a maioria dos sistemas utilizam uma solução de fixação por colagem (com recurso a um produto de colagem) e o isolante mais utilizado é o *EPS*, como se pode observar na Figura 2.2 (APFAC, 2012), (Duarte, 2012).

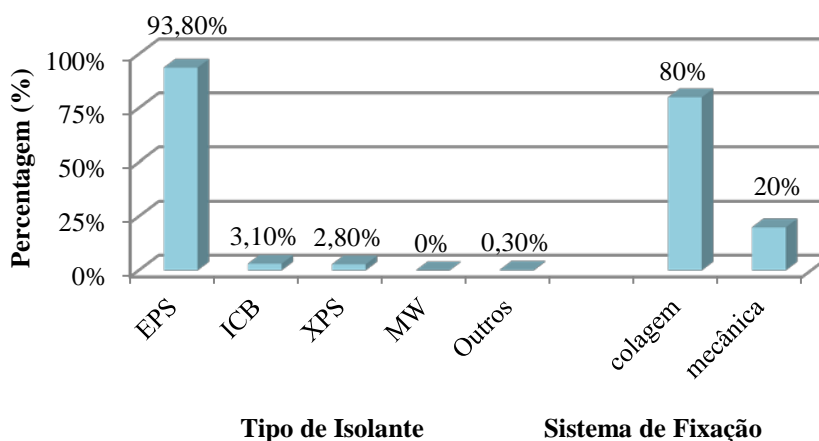


Figura 2.2: Percentagens de tipo de isolante térmico e de sistema de fixação utilizados em Portugal (APFAC, 2012)

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES

2.2.1 Generalidades

O sistema *ETICS* é constituído pelos seguintes elementos: suporte, isolante térmico, elementos de fixação por colagem e/ou mecânica, camada de base, rede de reforço, primário, acabamento e outros acessórios (perfis).

Na Figura 2.3 é representado a constituição de um sistema *ETICS*:

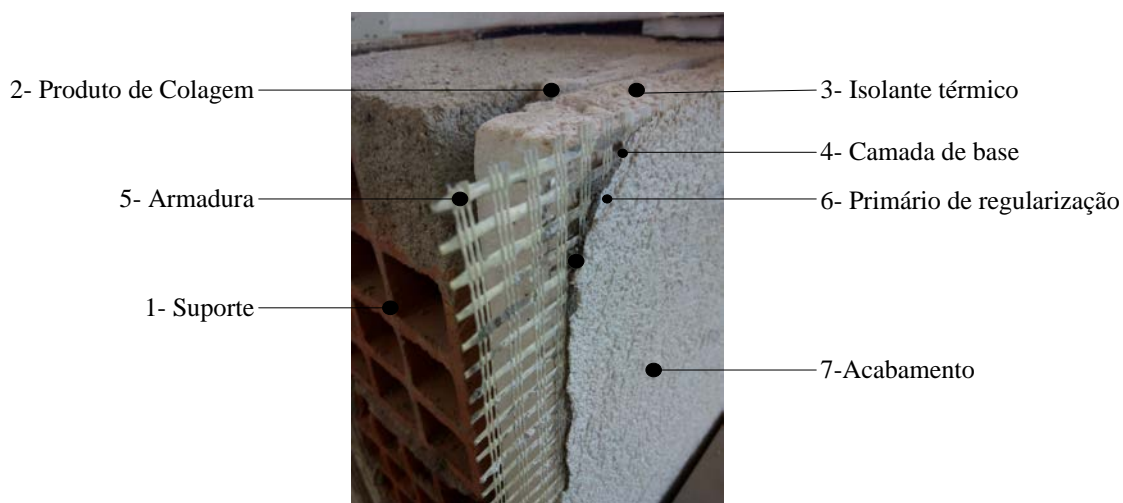


Figura 2.3: Constituição de um sistema *ETICS*

2.2.2 Suporte

O suporte está em contacto direto com o sistema *ETICS*, interferindo, por isso, no comportamento e durabilidade do sistema. É importante que o suporte seja compatível com o sistema *ETICS* que se pretende aplicar. Para assegurar o desempenho da solução é necessário o suporte ser estável e estar em condições de proporcionar a aderência exigida, devendo, para tal, estar limpo, regular e livre de humidade antes de se aplicar o sistema. Nas situações de reabilitação com recurso a um sistema *ETICS*, é importante, previamente, verificar a capacidade resistente do suporte, através de ensaios que permitam retirar essas conclusões. Em caso de insuficiência da sua capacidade resistente deverá remover-se o antigo revestimento do suporte ou, se for necessário, remover todo o suporte (Sousa, 2010).

O sistema *ETICS* pode ser aplicado em vários tipos de suporte: paredes de alvenaria (tijolo, blocos de betão ou blocos de betão celular autoclavado), paredes de betão betonadas *in situ*, elementos pré-fabricados de betão (Veiga, et al., 2010 b)) e madeira (embora não usual a aplicação de soluções *ETICS* neste tipo de paredes em Portugal) (Vicente, 2012).

2.2.3 Isolante térmico

2.2.3.1 Generalidades

O isolante térmico tem como função o aumento da resistência térmica da parede exterior, para reduzir a transferência de calor (Vicente, 2012). A espessura do isolante térmico é variável e definida conforme a resistência térmica que se pretende obter (dos Santos, et al., 2006). A resistência térmica de um material obtém-se através da divisão da espessura do material pela sua condutibilidade térmica (λ). Para quantificar a resistência térmica total de um sistema, ou seja, com diferentes materiais, somamos as resistências térmicas parciais de cada material, conforme a próxima equação.

$$R_T = \frac{e_{material\ A}}{\lambda_{material\ A}} + \frac{e_{material\ B}}{\lambda_{material\ B}} + \dots + \frac{e_{material\ C}}{\lambda_{material\ C}}$$

Segundo o ponto ii) do anexo II do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 2006), “«Isolante térmico» é o material de condutibilidade térmica inferior a 0,065 W/m.°C, ou cuja resistência térmica é superior a 0,30 m².°C/W”. Na presente dissertação, utilizar-se-á o poliestireno expandido moldado (EPS) e o aglomerado de cortiça expandida (ICB), no entanto, existem ainda outros materiais que podem ser utilizados em *ETICS*, como por exemplo o poliestireno expandido moldado grafitado, poliestireno expandido extrudido (XPS), lã mineral (MW) e ainda uma solução de poliisocianurato (PIR). Na Figura 2.4 são apresentados os isolantes térmicos mais utilizados em Portugal.

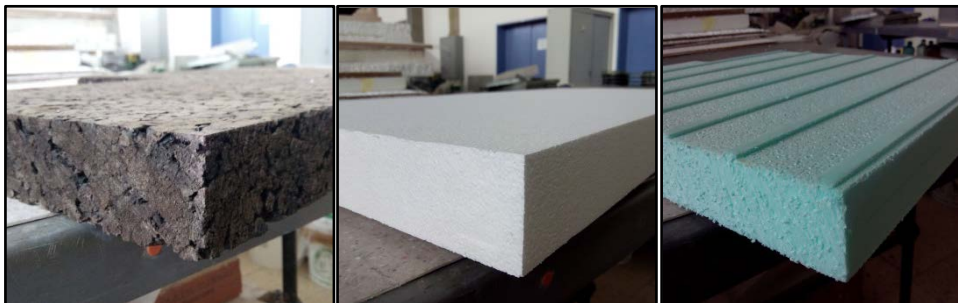


Figura 2.4: ICB (à esquerda), EPS (ao centro) e XPS (à direita)

A espessura das placas de isolante térmico está dependente da resistência térmica que se pretende obter, sendo que, em Portugal, as espessuras mais comuns variam entre 40 e 80 mm (Veiga, et al., 2009 b)).

O tipo de isolante térmico mais utilizado em Portugal é o EPS. No entanto, deve-se ter em conta a importância de todas as propriedades do material, como é o caso da condutibilidade e resistência térmica, reação ao fogo, resistência mecânica, densidade, aderência ao suporte, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água ou o módulo de elasticidade. A escolha do isolante térmico a adotar para um sistema *ETICS* deverá ser pensada e ponderada de acordo com as características da envolvente do edifício, bem como as funcionalidades que se pretendem obter com o sistema *ETICS* (Veiga, et al., 2009 a)).

2.2.3.2 Poliestireno Expandido Moldado (EPS)

a) Generalidades

O poliestireno expandido, sendo abreviadamente conhecido como *EPS* e em Portugal por esferovite, é um plástico celular e rígido, que se apresenta sobre variadas formas e aplicações. Trata-se de uma espuma de poliestireno moldada e constituído por um aglomerado de grânulos, sendo utilizado não só na construção civil, mas também como recipiente de produtos alimentares, embalagens de produtos eletrónicos, entre muitas outras aplicações. A matéria-prima do *EPS* é o poliestireno expansível (PS), este que é um polímero de estireno que contém um agente expensor, obtido por meio de diversas transformações químicas do petróleo (FuturEng, 2010).

Na construção civil, as placas deste material são utilizadas, essencialmente, para isolamento de paredes pelo interior, pelo exterior (em Sistema *ETICS*) ou inserido em caixa-de-ar de paredes de alvenaria dupla.

A predominância do EPS no mercado da construção está, sobretudo, relacionada com a sua leveza (massa volúmica situada entre os 10 e os 30 kg/m³), custo reduzido e boa capacidade de isolamento térmico devido à sua estrutura de células fechadas, preenchidas de ar, que dificultam a transmissão de calor. No entanto, para além destes pontos positivos, o poliestireno expandido moldado apresenta, ainda, as seguintes vantagens (Lopes, 2011):

- boa resistência mecânica;
- baixa absorção de água e insensibilidade à humidade, garantindo, assim as constância das suas características térmicas e mecânicas, mesmo sob ação da humidade;
- facilidade de manuseamento e colocação em virtude da sua leveza;
- quimicamente resistente, sendo compatível com a maioria dos materiais correntemente utilizados na construção civil;
- a sua versatilidade permite que seja fabricado numa grande variedade de tamanhos e formas, ajustando-se, por isso, às necessidades específicas da arquitetura do edifício onde será aplicado.

b) Processo de Fabrico

O processo de fabrico do poliestireno expandido tem a sua origem na produção de etileno e benzeno, ambos a partir de uma gama de petróleo com ponto de ebulição que varia entre os 30°C e os 210°C usado como matéria-prima da indústria petroquímica, a nafta (Lopes, 2011).

O etileno obtém-se a partir do craqueamento¹ da nafta a uma temperatura de, aproximadamente, 700°C. O benzeno é obtido por um processo de conversão da nafta em hidrocarbonetos aromáticos, por aquecimento e na presença de catalisadores, processo este que se denomina por reformação, ocorrendo a uma temperatura entre 425 e 530°C e a uma pressão entre 700 e 3500kPa. Posteriormente, o benzeno é separado dos restantes hidrocarbonetos aromáticos através de um processo de destilação². O etileno e o benzeno dão origem ao composto etilbenzeno que, por desidrogenação³, dá origem ao estireno. Esta operação é realizada através de vapor muito aquecido (aproximadamente 720°C) que é injetado num reator de leito fixo, com etilbenzeno vaporizado, sendo necessários 2,5 a 3 kg de vapor por cada quilograma de etilbenzeno para garantir uma temperatura suficientemente alta no reator (entre os 550 e os 560°C). Após a formação do estireno e de forma a evitar a

¹ Processo químico das indústrias através do qual as moléculas orgânicas mais complexas são quebradas em moléculas mais simples através da quebra das ligações de carbono sobre ação de calor ou de catalisadores.

² Operação unitária que se caracteriza pela evaporação e posterior condensação (nova passagem para o estado líquido por arrefecimento) de um líquido e que tem por objetivo separar líquidos com diferentes pontos de ebulição;

³ Processo que consiste na eliminação de hidrogénio de um composto químico;

sua polimerização, recorre-se a dois processos, estes que consistem no arrefecimento rápido e na adição de um inibidor de polimerização, geralmente um fenol. O estireno sofre ainda um processo de destilação a vácuo numa série de quatro colunas, para atingir a pureza necessária (99,8%), necessária à polimerização do estireno, essencial para a fase seguinte (Lopes, 2011).

Na fase seguinte, procede-se à produção do poliestireno expansível. O poliestireno expansível é produzido numa fase em que ocorre a polimerização do estireno, que se encontra inicialmente no estado gasoso. Ao estireno gasoso é adicionado água e um gás expensor, o pentano⁴, transformando-se, com isto, numa emulsão que, mais tarde, se desagrega em grânulos de poliestireno de dimensões muito reduzidas, vulgarmente designados por areão de poliestireno. Posteriormente, os grãos de poliestireno são lavados, enxugados, crivados e transportados até às indústrias de produção de *EPS*, através de recipientes estanques de uma tonelada (Lopes, 2011).

A produção do poliestireno expandido a partir de areão de poliestireno expansível divide-se em três etapas, estas que são a pré-expansão, a estabilização intermédia e a moldagem final (Lopes, 2011).

Durante a **pré-expansão**, o vapor de água e o agente expensor (pentano) provocam o aumento do volume do areão de poliestireno expansível, dando origem ao granulado de poliestireno expandido. Esta etapa provoca um aumento de volume na ordem de 40 a 60 vezes o volume do areão de poliestireno expansível (Lopes, 2011).

Na **estabilização intermédia** o granulado de poliestireno expandido é estabilizado em silos indicados para este efeito. Durante este armazenamento, os grãos de poliestireno expandido arrefecem e criam uma depressão no interior das suas células que provoca o seu preenchimento com ar, eliminando assim a totalidade do pentano existente no seu interior (Lopes, 2011).

Na terceira e última etapa, que corresponde à **moldagem final**, o granulado de poliestireno expandido é inserido num molde e submetidos, novamente, a vapor de água. Desta forma os granulados sofrem uma nova expansão, fundindo-se uns com os outros, dando origem a uma espuma rígida que adquire a sua forma conforme o

⁴ O pentano é posteriormente decomposto em dióxido de carbono e água.

molde que seja adotado. Esta etapa também se costuma denominar por expansão final (Lopes, 2011).

Como acabamento, após novo processo de estabilização, a espuma rígida formada é cortada em placas de espessuras variadas (normalmente entre 40 a 100 mm) (Lopes, 2011).

A Figura 2.5 esquematiza o processo de fabrico das placas de poliestireno expandido moldado.

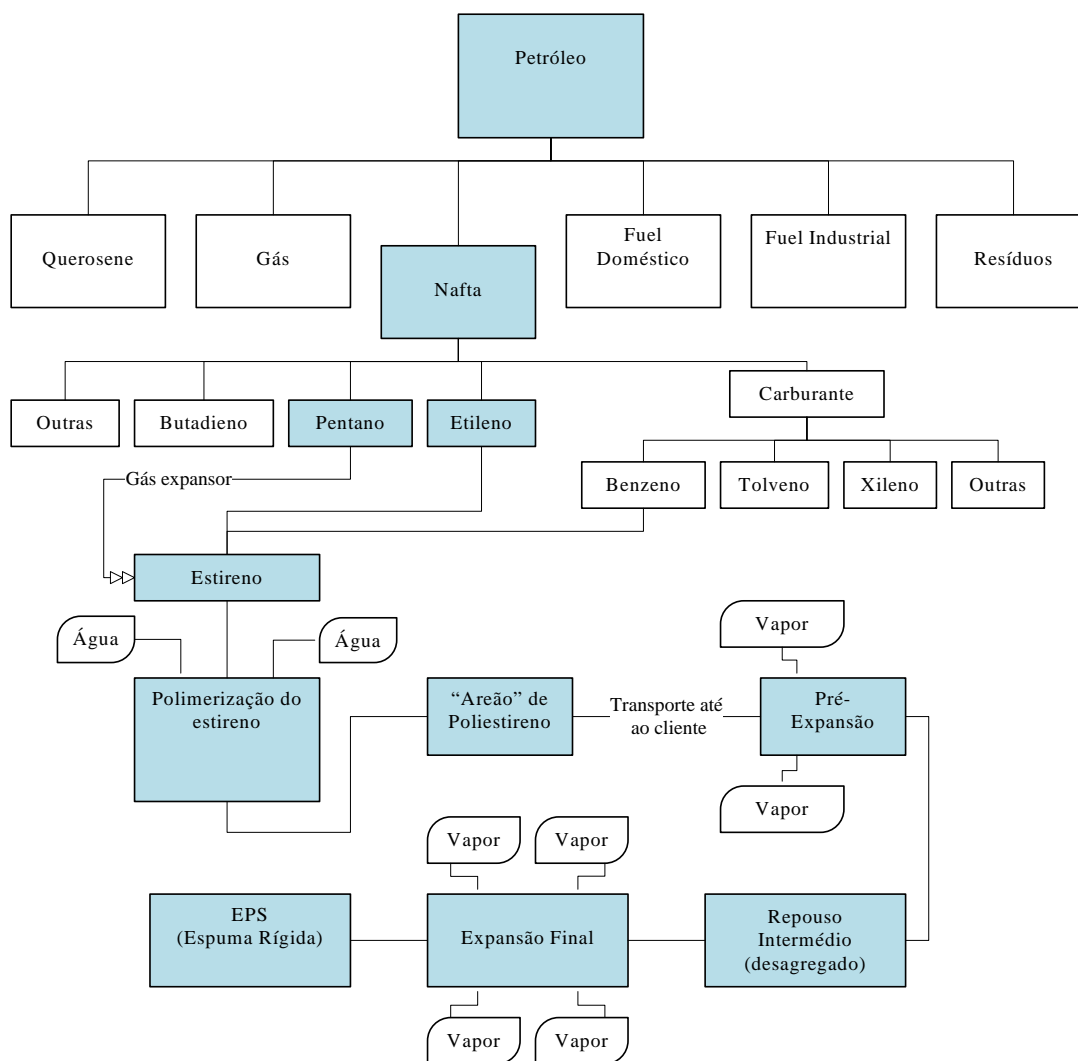


Figura 2.5: Esquema do processo de fabrico do poliestireno expandido moldado. Adaptado de (Representações Esferovire, S.A., 2007)

c) Tratamento de Fim de Vida

Os tratamentos de fim de vida associados ao poliestireno expandido moldado passam pela reciclagem mecânica (que consiste num processo de trituração dos resíduos) ou

pela deposição em aterro. Através da reciclagem mecânica é possível reutilizar este produto em várias situações, como por exemplo (Lopes, 2011):

- aligeiramento de terrenos, em que os resíduos de EPS, depois de triturados, são misturados com a terra, contribuindo para a drenagem e arejamento dos solos em que são utilizados;
- auxiliar de compostagem, em que os resíduos de poliestireno expandido, depois de triturados, contribuem para o arejamento, facilitando também a sua transformação em decomposto;
- incorporação noutros materiais de construção, tais como tijolos porosos, rebocos isolantes ou betões aligeirados;
- obtenção de poliestireno compacto após processo de desgaseificação, sinterização e granulação, que pode voltar a ser utilizado como matéria-prima em variados produtos;
- produção de energia elétrica ou calorífica por combustão direta.

A colocação em aterro também é um tratamento de fim de vida a ter em conta para o EPS. A sua deposição em aterro é um processo sem riscos ambientais, já que o poliestireno expandido é biologicamente inerte, não tóxico e estável. Este material é imputrescível, não se degrada, não é atacado por bactérias do solo, não liberta gás metano – que é o principal responsável pelo efeito de estufa – e não contamina os lençóis freáticos subterrâneos (Lopes, 2011). No entanto, a sua colocação em aterro, deverá ser, sempre que possível, a última opção a considerar em virtude do volume que o EPS irá ocupar em aterro.

De acordo com um estudo desenvolvido no Porto, cerca de 98% dos resíduos de EPS são reciclados mecanicamente e os restantes 2% são depositados em aterro (Lopes, 2011).

2.2.3.3 Aglomerado de Cortiça Expandido (ICB)

a) Generalidades

O Aglomerado de Cortiça Expandida provém de um processo de transformação da cortiça. A cortiça é um material de origem vegetal, obtido por extração do revestimento suberoso do tronco e dos ramos do sobreiro (da espécie *Quercus suber*

L) (de Medeiros, 1978) habitualmente nos meses de Verão (junho a agosto), e com uma periodicidade de nove anos. O sobreiro é uma árvore da família do carvalho, cultivada no sul da Europa e uma das espécies com maior predominância em Portugal, principalmente na zona sul do país. Quando a árvore atinge entre 25 a 30 anos dá-se o primeiro descortiçamento – *desbóia* – de onde é retirada a cortiça que se denomina *virgem*, que possui uma superfície exterior muito irregular. A sucessão dos descortiçamentos origina uma cortiça com uma camada exterior mais uniforme, designada por cortiça de *reprodução* ou *amadia*. A primeira cortiça de *reprodução*, visto possuir ainda algumas irregularidades, tem o nome de *secundária* e é utilizada, tal como a cortiça *virgem*, para trituração, obtenção de granulado e, eventualmente, para o fabrico de aglomerados. Dos despojos da poda é obtida a *falca*, constituída por um tecido misto de cortiça *virgem*, entrecasco e lenho, retirada dos ramos podados dos sobreiros (AMORIM, 2007).

Para o fabrico dos aglomerados compostos são utilizados granulados resultantes da trituração de cortiça *virgem*, de bocados e desperdícios de outras operações de processamento de cortiça, como são as aparas (de broca ou do recorte), rolhas defeituosas, restos de aglomerados, entre outros. No fabrico de aglomerados de cortiça expandida é utilizado um triturado mais grosseiro essencialmente resultante da trituração de *falca* e de outros tipos menos nobres da cortiça (Gil, 2008).

Por definição a cortiça é o “parênquima suberoso originado pelo meristema súberofelodérmico do sobreiro (*Quercus suber.*), constituindo o revestimento do seu tronco e dos seus ramos” (Gil, 2008). Relativamente ao aspeto macroscópico, a cortiça apresenta-se como um material leve (massa volúmica média de 200 kg/m^3), flexível, praticamente impermeável a líquidos, inócuo e praticamente imputrescível, apresentando também a capacidade de ser comprimida com uma expansão lateral muito reduzida. Do ponto de vista funcional, a cortiça é um isolante térmico e mau condutor elétrico, e um absorvente acústico e vibrático. Microscopicamente, a cortiça é formada por camadas de células de aspeto alveolar, com capacidade de impermeabilização e estão cheias de um gás semelhante ao ar que ocupa cerca de 90% do seu volume. A cortiça possui ainda uma baixa condutibilidade térmica, é química e biologicamente estável, e tem uma boa resistência ao fogo (Gil, 2008).

b) Processo de fabrico

Para o fabrico do aglomerado de cortiça expandida, utiliza-se a cortiça que não é usualmente processada nas restantes indústrias granuladoras/aglomeradoras, como é o caso da *falca* que possui um teor de extrativos superior aos restantes tipos de cortiça, funcionando estes como ligantes intergranulares naturais. Para além da *falca*, utiliza-se também o refugo e o rebusco. Após a extração da cortiça processa-se o seu empilhamento, armazenamento e colocação em lotes, para posterior secagem e estabilização da cortiça, sendo que esta última fase dura cerca de 9 meses. Na fase seguinte, a matéria-prima é triturada para obtenção de um granulado com dimensão variada e semelhante à utilizada para outros tipos de aglomerados de cortiça. A granulometria obtida depende da função pretendida para o aglomerado de cortiça expandido. Neste sentido, quando se pretende fabricar um aglomerado acústico a dimensão dos grãos deve situar-se entre 3 e 10 mm, para o caso de um aglomerado térmico, a dimensão deve estar entre 5 e 22 mm. O processo seguinte envolve eliminação de impurezas, nomeadamente de lenho e de entrecasco, com o auxílio de separadores densimétricos vibratórios, crivos e, eventualmente, separadores pneumáticos ou mantas rotativas. O granulado obtido após este processo é de seguida ensilado e seco, ficando então preparado para o processo de cozedura (Lopes, 2011).

Durante o processo de cozedura ocorre a aglomeração dos grânulos de cortiça. A aglomeração é efetuada através de um autoclave que funciona também como molde, onde o granulado vai ser descarregado e, posteriormente ao fecho do molde, é ligeiramente comprimido. A cozedura é realizada por insuflação de vapor de água sobreaquecida a uma temperatura entre 300 e 370 °C, sujeita a uma pressão de 40 kPa, proveniente de caldeiras de vapor alimentadas com os próprios resíduos de trituração e de acabamentos (pó de cortiça), ou seja, energia proveniente da biomassa. Através deste processo, o vapor de água atravessa a massa de grânulos e produz a exsudação das resinas intersticiais da cortiça para a superfície dos grânulos devido à degradação termoquímica da parede celular da cortiça, provocando também o aumento de volume do granulado. Neste processo de exsudação das resinas ocorre o processo de aglomeração dos grânulos, sendo a suberina o principal agente aglomerante. O processo de cozedura demora normalmente entre 17 e 30 minutos, dependendo do teor de humidade do granulado (Lopes, 2011).

Após a cozedura, o aglomerado formado é transferido para um equipamento de arrefecimento que injeta água a 100 °C de temperatura, sendo também efetuada a secagem e sua estabilização. Por fim, os blocos produzidos são cortados em placas de diferentes espessuras (entre 40 e 100 mm), recorrendo a serras de fita, a que se segue o acerto de dimensões e esquadria, usualmente com serras de disco, podendo, ainda, sofrer um processo de polimento das suas faces (Lopes, 2011).

Em termos de energia utilizada no processo de fabrico das placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB), recorre-se a 93% de energia proveniente da biomassa (desperdícios e pó de cortiça) e 7% de energia proveniente da rede elétrica (Lopes, 2011).

Na Figura 2.6 apresenta-se um esquema do processo de fabrico das placas de aglomerado de cortiça expandida.

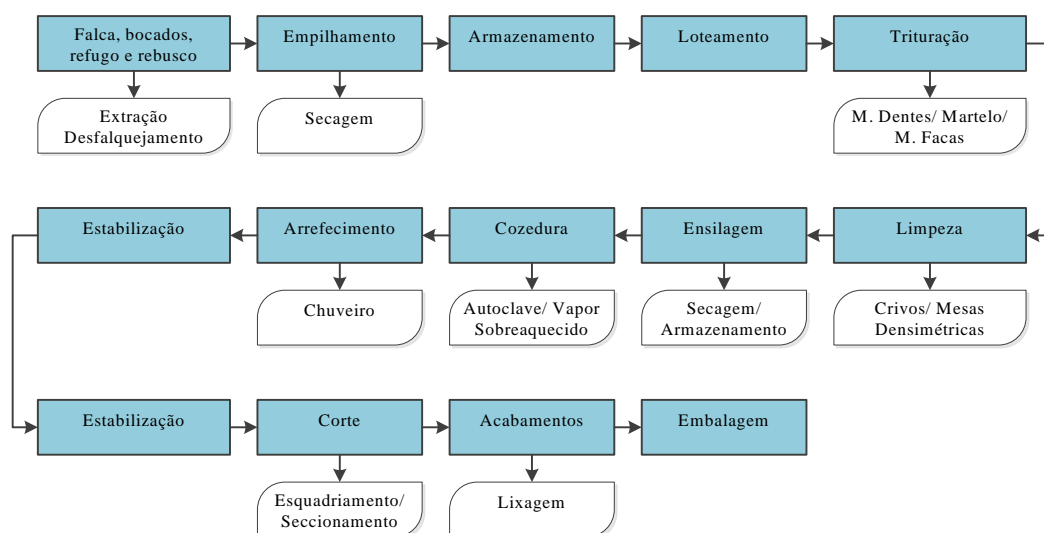


Figura 2.6: Esquema do processo de fabrico dos aglomerados de cortiça expandido. Adaptado de (Lopes, 2011)

c) Tratamento de fim de vida

Os tratamentos de fim de vida para resíduos resultantes da aplicação e da demolição de aglomerados de cortiça expandida, bem como de placas/blocos de aglomerados de cortiça expandida defeituosos podem incluir a reciclagem, a valorização energética e, em último caso, a deposição em aterro. O caso da reciclagem, para estes aglomerados, é o mais usual, sendo a valorização energética e a deposição em aterro utilizadas em menor escala (Bessa, 2011).

Após o tempo de fim de vida dos aglomerados de cortiça expandida a sua recolha e posterior reciclagem são viáveis. Esta reciclagem consiste na trituração dos aglomerados de cortiça expandida, podendo este ser utilizado como inerte, para fabrico de betões ou para fabrico de argamassas com agregados leves. É também de realçar que, quando seja viável a recolha isolada e integral das placas de aglomerado de cortiça expandida, estas podem, ainda, ser utilizadas para idênticas funções de isolamento. No caso de as placas estarem contaminadas com tintas, colas ou argamassas, por exemplo, a sua reciclagem não será viável. Neste caso, optar-se-á pela sua deposição em aterro, sendo esta situação tomada em última circunstância (Gil, 2008).

2.2.4 Elementos de fixação

A fixação do isolante térmico de um sistema *ETICS* depende das condições do suporte, podendo ser realizadas de três formas: por colagem, por fixação mecânica (cavilhas plásticas ou perfis metálicos fixados ao suporte) ou por uma solução mista constituída por colagem e fixação mecânica (Veiga, et al., 2010 a)).

A utilização de um sistema de fixação mecânica é, usualmente, complementar ao sistema de fixação por colagem ou vice-versa. Num sistema *ETICS* com fixação por colagem poderá ser importante que se reforce este sistema com fixações mecânicas para assegurar a estabilidade do sistema em caso de descolamento. Em sentido contrário, nos sistemas de fixação mecânica, a colagem complementar o mesmo, para garantir que não haja empolamentos do isolante térmico, garantindo-se assim a sua planeza. Em Portugal, a fixação por colagem e fixações mecânicas complementares é a forma mais utilizada nos sistemas *ETICS* (Vicente, 2012).

Os produtos de colagem das placas de isolante térmico ao suporte são, normalmente, constituídos por uma argamassa mista de cimento e resina (Veiga, et al., 2009 a)). Esta argamassa pode ser aplicada de três formas, variando, o consumo do produto de colagem. Sendo assim, o processo de colagem pode ser executado de três formas: camada contínua, cordão perimetral e dois ou mais pontos centrais e ainda exclusivamente através de pontos (Mendão, 2011).

As cavilhas utilizadas nos sistemas por fixação mecânica são específicas para esta função e, por isso, terão de cumpridos os requisitos especificados no ETAG 014

(Guideline for European Technical Approval of plastic anchors for fixing of external thermal insulation composite systems with rendering – Guia para Aprovação Técnica Europeia de cavilhas plásticas para fixação de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior) (EOTA, 2008).

A Figura 2.7 diz respeito à cavilha para fixação mecânica utilizada nos sistemas *ETICS* em estudo:

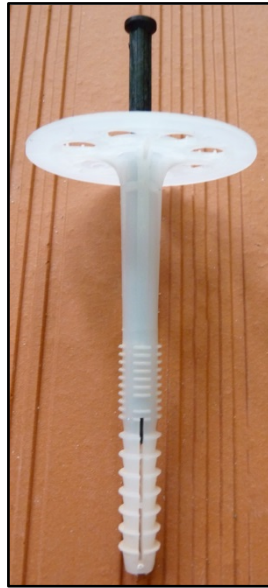


Figura 2.7: Cavilha para fixação mecânica utilizada nos sistemas em estudo

2.2.5 Camada de base

Em geral, nos sistemas *ETICS*, a argamassa utilizada para a camada de base é semelhante à que é utilizada na colagem das placas. A camada de base tem um papel fundamental, uma vez que deverá ter uma boa aderência ao isolante térmico, assim como um baixo módulo de elasticidade para que as deformações do isolante sejam acompanhadas, a fim de evitar a ocorrência de fissuração (Veiga, et al., 2009 b)). Por outro lado, a camada base é um componente importante porque pode dificultar a penetração de água no sistema, no entanto, deverá facilitar o processo de permeabilidade ao vapor de água e prevenir a retenção de água no seu interior a fim de evitar fenómenos como as condensações no isolante térmico (Sousa, 2010).

2.2.6 Armadura

A armadura é constituída por redes de fibras de vidro formadas por uma malha, que é incorporada na camada de base. A rede é o elemento que fornece grande parte da resistência ao choque e impede a abertura de fissuras (Veiga, et al., 2010 b)).

A resistência destas redes aos álcalis presente no cimento tem que ser assegurada para que não sofram reduções significativas da resistência mecânica e da elasticidade da mesma (Malanho, 2012).

Distinguem-se, normalmente, dois tipos de armaduras: normais e reforçadas. As armaduras normais têm como funções melhorar a resistência mecânica e assegurar a continuidade do reboco, enquanto as armaduras reforçadas são utilizadas em alguns sistemas *ETICS* para complementar as armaduras normais, contribuindo desta forma para um aumento da resistência aos choques da camada de base (Mendão, 2011).

2.2.7 Primário de regularização de fundo

O primário trata-se de um produto que pode ser considerado como um regularizador de fundo para receber o acabamento. A aplicação do primário de regularização de fundo tem como objetivo preparar a superfície para receber o acabamento, incrementando os níveis de aderência pretendidos para o acabamento. É de salientar quem nem em todos os sistemas é aplicado este tipo de produtos (Veiga, et al., 2010 b)).

2.2.8 Acabamento

O acabamento é a última camada do sistema *ETICS*, dando por isso o aspeto final ao mesmo. Para um correto funcionamento do sistema, a camada final deve ser impermeável à água mas, devendo ser, no entanto, permeável ao vapor de água.

Os acabamentos utilizados nos sistemas *ETICS* são muito diversos. Podem ser utilizados revestimentos por pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos (RPE) ou revestimentos minerais, de silicatos ou de cimentos (Veiga, et al., 2010 a)). No entanto, como acabamentos alternativos não previstos na ETAG 004 (EOTA, 2008), é ainda possível utilizar revestimentos descontínuos, tais como ladrilhos cerâmicos (Malanho, 2012) e placas de pedra ou de outra natureza (Veiga, et al., 2010 b)).

2.2.9 Outros acessórios

Os acessórios utilizados num sistema *ETICS* são, essencialmente, perfis metálicos e têm como principal função o reforço das zonas mais suscetíveis a fissuração (arestas, peitoris ou platibandas), a ligação do sistema com outros elementos da construção e a resolução de problemas relacionados com a continuidade do sistema. Os acessórios para os sistemas *ETICS* são os seguintes (Vicente, 2012):

- perfis de arranque: normalmente de alumínio, são os perfis que são utilizados no arranque do sistema;
- perfis de esquina: poderão ser de PVC ou aço inoxidável e são utilizados para proteger as extremidades do sistema *ETICS* de eventuais problemas de fissurações. Os perfis de esquina poderão ou não ter uma rede;
- perfis de remate com janela: são, normalmente, de aço inoxidável ou de PVC, podem ter rede e são aplicados nos peitoris. Estes perfis têm como função evitar fissuração nas zonas das janelas;
- perfis de remate para junta de dilatação: estes elementos são constituídos por materiais como os mástiques plásticos e são aplicados na delimitação de juntas, como cobre-juntas e no fundo das juntas. A sua principal função é de absorver os deslocamentos diferenciais que podem ocorrer entre o sistema e o suporte, devido à variação da dimensão dos elementos.

2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS

O isolante térmico aplicado nas zonas opacas das fachadas tem um peso relevante no conjunto do isolamento térmico da envolvente, dada a dimensão da zona exposta. A solução tipo *ETICS*, cujo isolamento térmico é aplicado pelo exterior, surge no mercado como uma alternativa viável à colocação de isolamento térmico pelo interior ou mesmo em relação ao isolamento térmico inserido numa caixa-de-ar entre uma alvenaria de parede dupla, sendo atualmente a melhor forma de isolamento, visto que é o que apresenta maior eficácia e mais vantagens adicionais. Sendo assim, o sistema *ETICS* apresenta as seguintes vantagens (Veiga, et al., 2010 a)), (Lucas, 1990), (Vicente, 2012), (Veiga, 2004):

- sendo o sistema aplicado pelo exterior, possibilita a correção de pontes térmicas, devido à aplicação de isolamento térmico sem interrupções, como por exemplo, na ligação entre lajes e alvenarias;
- permite a utilização de espessuras muito elevadas de isolante térmico;
- diminui o risco de condensações superficiais e internas, reduzindo por isso a probabilidade de formação de bolores e fungos no interior das habitações que provocam sensação de desconforto e reduzem a durabilidade dos materiais;
- protege a estrutura da habitação contra grandes variações de temperatura, estas que provocam movimentos diferenciais que reduzem a durabilidade dos edifícios;
- contribui para a estanquidade da parede exterior, funcionando como barreira exterior à ação da chuva, por exemplo (impermeabilidade);
- aumenta a inércia térmica da habitação visto que a totalidade da massa das paredes exteriores fica disponível para acumular os ganhos internos de energia. Este aumento de inércia térmica contribui de forma significativa para a melhoria do conforto térmico no interior da habitação;
- em relação a um sistema de alvenaria de parede dupla ou a um sistema de isolamento pelo interior, o sistema *ETICS* permite um incremento na área habitável devido à menor espessura das paredes e ainda uma redução significativa das cargas permanentes sobre a estrutura da habitação;
- quando aplicado na reabilitação de edifícios reduz o incómodo sobre os habitantes, na medida em que não é necessário desocupação da habitação por parte dos moradores;
- como foi mencionado anteriormente, existe a possibilidade de aplicar este sistema em diversos tipos de tipologias de suporte;
- há sistemas *ETICS* com isolantes térmicos com bom comportamento ao fogo e, conseqüentemente, com uma superior classificação de reação ao fogo, como é o caso da lã mineral;

- contribui para a melhoria da eficiência energética do edifício, fazendo com que, a longo prazo, a casa se torne mais económica em termos de gastos associados ao consumo energético para aquecimento e de arrefecimento;
- permite aos arquitetos ou projetistas, escolher um vasto bom leque de alternativas para o acabamento deste sistema;
- permitem, para além da reabilitação térmica, a reabilitação de estanquidade e de aspeto.

Este último aspeto é muito importante já que a maioria dos edifícios em utilização com deficiente isolamento térmico apresenta fraca estanquidade à água e necessidade de renovação de aspeto. Segundo Maria do Rosário Veiga (Veiga, 2004) *a correta concepção e aplicação dos sistemas implica um considerável contributo para a impermeabilização da parede, já que faz parte das exigências funcionais aplicáveis que o revestimento, no seu conjunto, seja pouco susceptível à fendilhação e tenha baixa absorção de água para que o isolante não permaneça humedecido por períodos de tempo longo, o que faria perder resistência térmica.* Em relação à renovação de aspeto, a mesma é conseguida pelos novos revestimentos, não havendo necessidade de extração dos antigos revestimentos e sem risco de que voltem a surgir anomalias antigas.

Por outro lado, embora não muito significativas, o sistema *ETICS* apresenta as seguintes desvantagens (Vicente, 2012), (Mendão, 2011), (Veiga, 2004):

- embora o sistema *ETICS* permite uma redução dos custos energéticos a longo prazo, o investimento inicial associado a este sistema é mais dispendioso quando comparado, por exemplo, com uma solução de alvenaria de parede dupla com isolamento térmico na caixa-de-ar;
- tem uma reação ao fogo mais elevada do que as soluções de revestimento habitualmente usadas, baseadas em produtos minerais;
- necessidade de equipas especializadas para aplicação deste sistema uma vez que é necessário o cumprimento de regras específicas na aplicação deste sistema, de forma a garantir um bom funcionamento do mesmo;
- nos edifícios com alguma complexidade arquitetónica, com muitos pormenores e/ou aberturas na fachada existe uma grande dificuldade na

aplicação deste sistema, razão pela qual, nestes casos, o sistema *ETICS* não é equacionado;

- sistema mais vulnerável ao choque ou a ações de vandalismo principalmente nas zonas acessíveis. Muitos técnicos especializados nestes sistemas referem que esta solução é facilmente danificada por situações quotidianas como um pontapé ou um objeto projetado contra o sistema;
- o sistema apenas pode ser aplicado se existirem condições meteorológicas favoráveis ao longo de todo o período de aplicação.

As vantagens e desvantagens enunciadas elegem a reabilitação de edifícios recentes como um potencial campo de aplicação dos sistemas *ETICS* em Portugal, de forma a verificarem as exigências do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), 2006). Este cenário é aquele que é usualmente adotado na maioria dos países da Europa. Em Portugal, segundo os últimos dados da APFAC, numa amostra que representa 67% da área de sistema *ETICS* aplicado em Portugal, a maioria são aplicados em reabilitação (APFAC, 2012), contrariando as estatísticas verificadas no ano de 2004, em Portugal, onde estes sistemas eram sobretudo aplicados em obra nova.

2.4 EXIGÊNCIAS DO ETAG 004

Apesar dos mais de 60 anos de existência o sistema *ETICS* ainda não é objeto de uma norma para a sua avaliação e qualificação.

De acordo com o Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) (Decreto-Lei n.º 130/2013 de 10 de Setembro, 2013), a utilização de produtos da construção em edificações novas ou em intervenções é condicionada à respetiva marcação CE ou, na sua ausência, à certificação da sua conformidade com especificações técnicas em vigor em Portugal. A marcação CE, permitindo a livre circulação dos produtos no espaço comunitário europeu, é atribuída após comprovação de conformidade através de dois tipos de especificações técnicas: Normas Europeias (Normas EN) e, para o caso de não existirem Normas Europeias Harmonizadas, Aprovações Técnicas Europeias (ETA) (Veiga, et al., 2010 a)).

Os sistemas *ETICS*, sendo considerados inovadores, são objeto da ETAG 004 - *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite System with rendering*, em vigor desde Março de 2000, que permite a avaliação da aptidão ao uso destes sistemas, dando origem a Aprovações Técnicas Europeias. Antes de 2000 a avaliação da aptidão ao uso dos sistemas *ETICS* era realizada com base nos Guias da União Europeia para Aprovação Técnica na Construção (*UEAtc*) que davam origem às Homologações nacionais (Veiga, et al., 2010 a)).

Em 2007, os serviços da Comissão Europeia definiram que um fabricante que pretende um produto vocacionado apenas para o seu país e que, por isso, não pretende marcação CE, deve comprovar a satisfação das disposições regulamentares aplicáveis em cada país. No caso de produtos portugueses, o LNEC permite a emissão de um Documento de Homologação (DH) (Veiga, et al., 2010 a)).

A atribuição de uma ETA a um sistema *ETICS*, por um membro da EOTA, passa tipicamente pelas seguintes etapas (Veiga, et al., 2010 a)).

- análise da documentação técnica fornecida pela empresa;
- visita à fábrica para verificação das condições de fabrico do sistema e avaliação da capacidade e do controlo da qualidade de produção;
- realização de ensaios laboratoriais previstos no Guia ETAG 004 (EOTA, 2008) para avaliação do comportamento do sistema, que são divididos em duas fases. Na primeira fase realizam-se os ensaios laboratoriais considerados críticos para avaliação do comportamento do sistema. Na segunda fase realizam-se os restantes ensaios previstos no guia ETAG 004 (EOTA, 2008) e ensaios sobre cada componente do sistema;
- visitas a obras em curso e a obras já executadas e em uso, caso existam;
- concessão da Aprovação Técnica Europeia.

Para a realização desse estudo a empresa deve apresentar desenhos esquemáticos pormenorizados do sistema, características dos constituintes do sistema, ensaios existentes dos vários componentes, informação de sobre controlo de qualidade em fábrica dos vários componentes do sistema e informação sobre os produtos tóxicos ou perigosos na constituição dos componentes.

A constituição dos sistemas *ETICS* exige um alargado conjunto de ensaios para evidenciar a conformidade do produto com as exigências essenciais. A análise experimental engloba ensaios de comportamento do sistema, ensaios de caracterização dos vários componentes do sistema e ainda ensaios de identificação dos vários componentes do sistema. Estes ensaios são realizados num murete de acordo com o especificado no ETAG 004 (EOTA, 2008). Nestes ensaios são realizados todas as combinações de materiais do sistema, ou seja, diversos tipos de materiais isolantes.

Na primeira fase os ensaios são realizados sobre um murete de dimensões úteis de 3 x 2 m, no qual são executados os seguintes ensaios ao sistema:

- ensaio de ciclos higrométricos sobre todo o muro revestido, com um vão aproximado a 0,40 m x 0,60 m;
- ensaio de choque de 3 J, sobre cada um dos painéis, após ciclos higrométricos;
- ensaio de choque de 10 J, sobre cada um dos painéis, após ciclos higrométricos;
- ensaio de perfuração (*perfortest*), sobre cada um dos painéis, após ciclos higrométricos;
- ensaio de aderência do revestimento ao isolante, sobre cada um dos painéis, após ciclos higrométricos, com aplicação de força à velocidade de 1 a 10 mm/minuto.

Os ensaios aplicados ao sistema, na segunda fase, são executados sobre provetes de menores dimensões, e são os seguintes:

- ensaio de determinação de reação ao fogo do sistema completo, com todos os acabamentos ou, pelo menos, com o acabamento mais desfavorável;
- ensaio de absorção de água por capilaridade do sistema com cada um dos acabamentos, após ciclos de imersão e secagem, com medições da absorção após 1 hora e após 24 horas de imersão parcial;
- ensaio de permeabilidade ao vapor de água do sistema com cada um dos acabamentos (EN 1015-19);

Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)

- ensaio de aderência da camada de base ao isolante, com aplicação de força à velocidade de 1 a 10 mm/minuto;
- no caso de sistemas com dispositivos de fixação por colagem, ensaio de aderência da cola ao isolante e a um suporte, a seco e após imersão em água, durante 2 dias e secagem parcial durante 2 horas e durante 7 dias;
- ensaio de resistência ao gelo-degelo (quando aplicável; possível ação “no *performance determined*”);
- deslocamento do sistema nas arestas (quando aplicável; possível ação “no *performance determined*”);
- no caso de sistemas com dispositivos de fixação mecânicos, avaliação da resistência à sucção do vento.

Relativamente aos componentes do sistema *ETICS*, existem vários ensaios a realizar, que se encontram discriminados nas tabelas seguintes (Tabela 2.1, Tabela 2.2, Tabela 2.3 e Tabela 2.4), onde constam também os documentos de referência onde os ensaios se encontram previstos.

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE DUAS SOLUÇÕES DE ETICS

Tabela 2.1: Ensaios a realizar aos componentes de um sistema ETICS. (Veiga, et al., 2010 a)

	Ensaio de Caracterização / Comportamento	Ensaio de Identificação
Isolante térmico	Determinação da classe de reação ao fogo (EN 13501-1)	
	Absorção de água em período curto por imersão parcial (NP EN 1609)	
	Permeabilidade ao vapor de água (NP EN 12086)	Massa volúmica (EN 1602)
	Resistência à tração perpendicular às faces, em condições secas e húmidas (NP EN 12090)	Características dimensionais (EN 822 e EN 823)
	Resistência ao corte (NP EN 12090)	Resistência á compressão (EN 826)
	Módulo de elasticidade transversal (NP EN 12090)	Estabilidade dimensional (EN 1603)
	Resistência térmica (EN 12667; EN 12939)	
Fixações Mecânicas	No caso de sistemas fixações mecânicas, determinação da resistência ao arrancamento (ETAG 014)	Resistência à tração (ETAG 014) Outros ensaios definidos no ETAG 014
Perfis de fixação	No caso de sistemas com fixação mecânica, determinação ao arrancamento	Massa por unidade
		Dimensões
Camada de base	Ensaio de tração da camada base armada.	No caso de perfis de plástico, teor de cinzas
		Temperatura de amolecimento
		Estes ensaios são executados ao produto em pó
		Massa volúmica aparente
Armaduras (redes de fibra de vidro)	Resistência à tração de redes, no estado novo e após envelhecimento	Teor de cinzas a 450°C e a 900°C
		Extrato seco a 105°C
Acabamentos	Avaliação da resistência ao desenvolvimento de fungos	Análise granulométrica
		Massa volúmica aparente dos produtos em pasta
		Teor de cinzas a 450°C e a 900°C
Perfis de proteção e remate	-	Extrato seco a 105°C
		pH dos produtos em pasta
		Massa por unidade
		Dimensões
		Teor de Cinzas (para perfis de plástico)
		Temperatura de amolecimento

No que se refere aos critérios de apreciação, apresentam-se nas próximas tabelas as classificações e os valores limites definidos no Guia ETAG 004, para os sistemas *ETICS* e respetivos componentes.

Tabela 2.2: Critérios de apreciação dos ensaios realizados na primeira fase sobre o sistema aplicado no murete. (Veiga, et al., 2010 a)

Ensaio	Classificação	Critério
Ensaio higrotérmico	Satisfatório	Ausência de anomalias relevantes no sistema, nomeadamente dos seguintes tipos: empolamentos, destacamentos, fendilhação ou perda de aderência
	Não satisfatório	Existência de pelo menos uma das anomalias consideradas relevantes
Choque de 3 J, choque de 10 J e perfuração	Categoria I	Sem deterioração após choque de 3 J e de 10 J e sem perfuração com punção de 6 mm
	Categoria II	Sem penetração com choque de 10 J, sem fendilhação com choque de 10 J e sem perfuração com punção de 12 mm
	Categoria III	Sem penetração com choque de 3 J e sem perfuração com punção de 20 mm
Aderência do revestimento ao isolante	Satisfatório	Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$ ou rotura coesiva pelo isolante
	Não satisfatório	Tensão de aderência $< 0,08 \text{ N/mm}^2$ e rotura adesiva ou rotura coesiva pelo revestimento

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE DUAS SOLUÇÕES DE *ETICS*

Tabela 2.3: Critérios de apreciação dos ensaios de comportamento do sistema realizados na segunda fase. (Veiga, et al., 2010 a))

Ensaio	Condições	Exigência
Aderência do produto de colagem ao isolante	Estado seco	Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$
	Após imersão em água	Tensão de aderência $\geq 0,03 \text{ N/mm}^2$, 2 horas após a remoção dos provetes de água Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$, 7 horas após a remoção dos provetes de água
Aderência do produto de colagem ao betão	Estado seco	Tensão de aderência $\geq 0,25 \text{ N/mm}^2$
	Após imersão em água	Tensão de aderência $\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$, 2 horas após a remoção dos provetes de água Tensão de aderência $\geq 0,25 \text{ N/mm}^2$, 7 horas após a remoção dos provetes de água
Ensaio de permeabilidade ao vapor de água		Resistência à difusão do vapor de água (espessura da camada de ar de difusão equivalente) do sistema de acabamento (camada de base + acabamento) $\leq 2,0 \text{ m}$
Ensaio de absorção de água por capilaridade		Água absorvida pelo sistema sem acabamento após 1 hora $\leq 1 \text{ kg/m}^2$
		Água absorvida pelo sistema com cada acabamento após 1 hora $\leq 1 \text{ kg/m}^2$
Comportamento ao gelo-degelo		Se a absorção de água da camada de base e do sistema for inferior a $0,5 \text{ kg/m}^2$, então o sistema é considerado resistente ao gelo-degelo sem necessidade de outras verificações.

Tabela 2.4: Exigências definidas para os componentes do sistema (Veiga, et al., 2010 a))

Componente	Ensaio	Exigência
Isolante térmico	Absorção de água	$\leq 1 \text{ kg/m}^2$ após 24 horas de imersão parcial
	Resistência ao corte	$\geq 0,02 \text{ N/mm}^2$
	Módulo de elasticidade transversal	$\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$
	Condutibilidade térmica ($\lambda=d/R$) com d - espessura do isolante (m) e R – resistência térmica ($\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$)	$\lambda \leq 0,065 \text{ W/(m.K)}$
Rede de fibra de vidro	Resistência à tração de redes de fibra de vidro após envelhecimento artificial acelerado	$\geq 50\%$ da resistência no estado novo e $\geq 20 \text{ N/mm}$

A realização destes ensaios aos sistemas *ETICS* e aos seus componentes está diretamente associada ao desempenho dos sistemas na sua fase de utilização. Sendo

assim, embora na presente dissertação de Mestrado não sejam ensaiados sistemas *ETICS* e individualmente os seus componentes, as eventuais patologias associadas a estes sistemas são desmascaradas com a realização destes ensaios. Neste sentido, os ensaios realizados, que têm como fim a avaliação da adequabilidade ao uso e a influência de cada constituinte no comportamento dos sistemas *ETICS*, são de grande importância pois a estes ensaios estão diretamente associados menores custos monetários e ambientais na fase de manutenção destes sistemas.

Ainda em relação à realização de ensaios experimentais, acrescenta-se a sua importância na análise comparativa de ciclo de vida, uma vez que deverão ser selecionados para comparação de sistemas que tenham características semelhantes, ou seja, que permitam uma comparação através de unidades funcionais.

2.5 ANOMALIAS MAIS FREQUENTES

O estudo das anomalias tem sido um assunto que merece cada vez mais atenção em Portugal, existindo diversos motivos para que haja esta preocupação. O aparecimento de anomalias acarreta os respetivos custos de reparação destas anomalias, sendo um dos principais motivos de preocupação nesta área de intervenção da engenharia civil (Vicente, 2012). Portanto, não importa apenas reparar anomalias, mas sim determinar as suas causas e aplicar medidas preventivas, sempre que for possível.

Em França, foi implementado um mecanismo de recolha e análise de anomalias declaradas às companhias de seguros, denominado SYCODÉS (*SYstème de COLlecte des DÉssordes* – Sistema de recolha de informação sobre anomalias) pela AQC (*Agence Qualité Construction*). A AQC é uma associação constituída por diversas organizações profissionais ligadas à construção cujo seu principal objetivo passa por melhorar a qualidade da construção, através do auxílio para a prevenção de patologias e divulgação de dados observados desde a sua criação em 1986 (AQC, 2013). Para além da criação desta base de dados organizada, a SYCODÉS disponibiliza, ainda, os indicadores da evolução da construção, estes que foram identificados analisados e avaliados por técnicos das companhias seguradoras, determinando, com isto, o custo da não qualidade, ou seja, o custo inerente ao tratamento de anomalias (Vicente, 2012).

Segundo os dados franceses apresentados pelo SYCODÉS, que dizem respeito a construção em geral, as fachadas dos edifícios, são o elemento onde se detetam mais patologias. Já os principais responsáveis pelo aparecimento de patologias são os defeitos resultantes da fase de execução (Observatoire de la Qualité de la Construction, 2013).

Em Portugal foi elaborado um levantamento estatístico da inspeção, diagnóstico e reparação específico para sistemas *ETICS* em fachadas. Quanto à caracterização da amostra, a mesma foi elaborada para 36.430 m² de aplicação de *ETICS*, num total de 146 fachadas inspeccionadas, com diferentes orientações, e com diferentes idades de aplicação do sistema. Os resultados deste levantamento estatístico apresentam-se na Figura 2.8, Figura 2.9 e Figura 2.10 (Flores, et al., 2012).

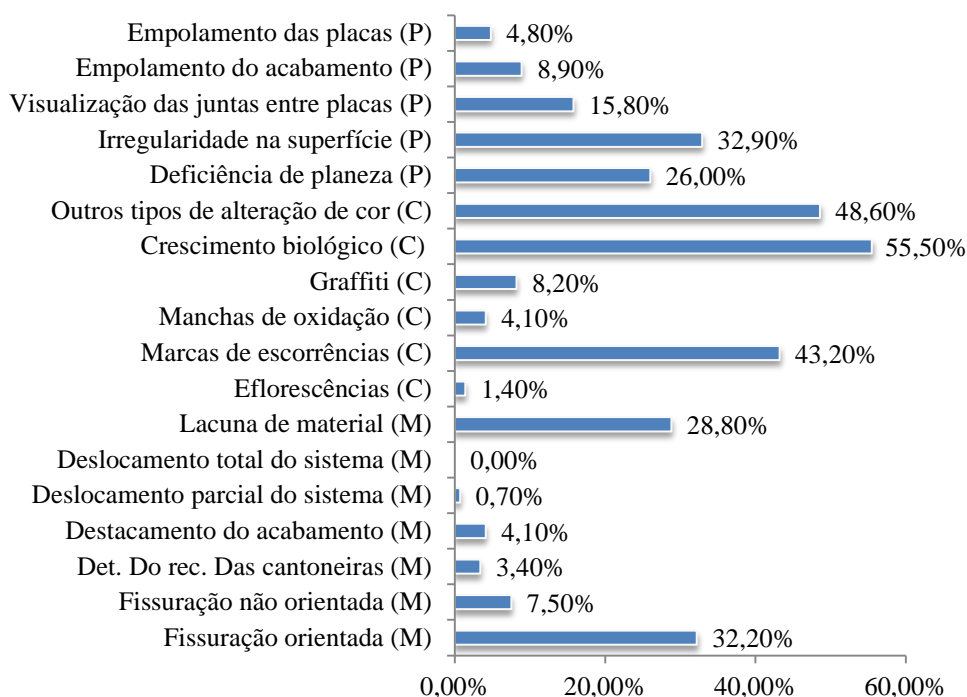


Figura 2.8: Contribuição de cada anomalia para a amostra. (Flores, et al., 2012)

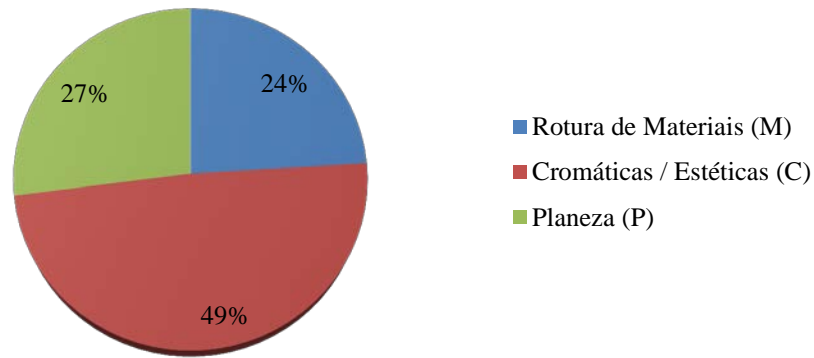


Figura 2.9: Contribuição de cada grupo de anomalias para a totalidade das anomalias registadas (Flores, et al., 2012)

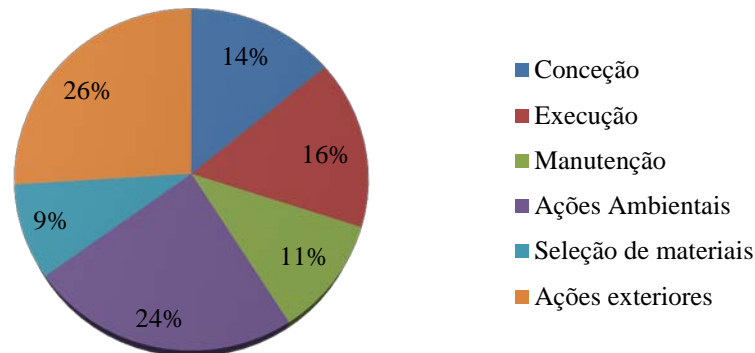


Figura 2.10: Contribuição de cada grupo de causas para as anomalias registadas. (Flores, et al., 2012)

Como já foi referido, os dados franceses apresentados pelo SYCODÉS dizem respeito a construção em geral e, por isso, não são comparáveis com esta estatística portuguesa que diz respeito unicamente a soluções *ETICS*. No entanto, ao contrário daquilo que os dados franceses apresentam, nos sistemas *ETICS*, as ações ambientais são as que maioritariamente contribuem para as anomalias registadas nestes sistemas. Para estes sistemas, as anomalias recorrentes da fase de execução do sistema *ETICS*, apenas aparecem como sendo a terceira causa mais usual para o aparecimento de anomalias. Como segunda causa mais provável para o aparecimento de anomalias em sistemas *ETICS* surgem as ações ambientais.

Com base em informações obtidas em pesquisas bibliográficas de diversos autores (Vicente, 2012), (Logeais, 1988), (Amaro, et al., 2012) e com base nos

levantamentos estatísticos acima referidos, apresenta-se na Tabela 2.5 um conjunto de anomalias que têm vindo a ser verificadas em sistemas ETICS, bem como as causas e ações corretivas a adotar.

Tabela 2.5: Anomalias, causas e terapêuticas em sistemas ETICS. (Flores, et al., 2012), (Vicente, 2012), (Logeais, 1988)

Anomalias	Descrição	Possíveis causas	Reparação
Alteração da cor da superfície	Manchas na superfície do sistema	Humidade, poluição atmosférica, deficiente aplicação da camada de acabamento, reparações localizadas	Genericamente deve-se proceder à manutenção descrita no próximo capítulo. Se a causa for a humidade, deve-se previamente eliminar a fonte de humidade. Se a causa for a reparação localizada que resultou em diferentes tonalidades, deve ser aplicada nova camada de acabamento ou pintura.
Manchas de escorrência	Manchas escuras verticais	Zonas de remates (peitoris, rufos) deficientes que não permitem um adequado escoamento das águas para as zonas de escoamento	Deve-se corrigir os remates e, posteriormente, proceder à manutenção descrita na secção 2.6.
Manchas de oxidação	Manchas acobreadas localizadas junto de elementos metálicos fixados na fachada	Corrosão de elementos metálicos.	Substituir ou tratar elemento metálico para possuir resistência contra a corrosão. Limpeza e renovação da fachada, conforme a secção 2.6.
Graffiti	Aplicação de tintas em <i>spray</i> na superfície do sistema	Ação humana (ato de vandalismo)	Limpeza da superfície do sistema, conforme o capítulo anterior, e aplicação de novo acabamento.
Crescimento biológico	Manchas cuja cor varia conforme o tipo de organismo que se desenvolve (algas, fungos, etc.). Ocorre com maior frequência em fachadas orientadas a nordeste	Humidades, manchas de escorrência, salpicos de lama na zona inferior do sistema ou presença de vegetação na proximidade do sistema.	Correção de rufos e peitoris para reduzir a humidade. Eliminação de vegetação na proximidade da fachada. Só depois de deve realizar de manutenção, conforme o a secção 2.6.
Irregularidades na superfície do sistema	Aparência irregular do sistema, com deficiência na sua planeza	Execução incorreta da camada de base ou de outros elementos do sistema, ou utilização de sistemas inadequados (p.e. bailéus) para aplicação do sistema	Substituição das zonas afetadas até à camada afetada.
Perfuração do sistema	Rutura localizada que atinge o sistema até à placa isolante. Normalmente, localiza-se nas zonas inferiores (acessíveis) do sistema.	Choques acidentais ou não acidentais.	Reparação localizada das áreas danificadas, tal como especificado na secção 2.6. No entanto o sistema deve ser concebido de modo a prever reforço da camada de base e das armaduras nas zonas acessíveis.

Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)

Visualização das juntas entre placas	Demarcação das juntas das placas isolantes. Habitualmente apresenta-se em panos completos da fachada.	Variação dimensional das placas de isolante (exposição a solicitações térmicas) e reduzida espessura da camada de base.	Aumento da espessura da camada de base.
Empolamento do acabamento	Alteração na superfície do acabamento sistema através da formação de bolhas.	Falta de manutenção, deficiente execução dos pontos singulares que podem permitir infiltração de água, a aplicação de camadas sem que as anteriores estejam completamente secas, materiais de acabamento com baixa permeabilidade ao vapor de água, etc.	Substituição da camada de acabamento em dimensões proporcionais com as da anomalia, após a eliminação da causa e da limpeza da superfície. Substituir o produto de acabamento por outro com maior permeabilidade ao vapor de água.
Empolamento das placas isolantes	Semelhante às irregularidades na superfície, mas de uma forma mais acentuada	Fixação insuficiente das placas de isolante ao suporte, aplicação de isolante sem prévia preparação do suporte, presença de humidade de infiltração ou aplicação com condições climáticas desfavoráveis	Substituição total do sistema nas áreas afetadas, após eliminação das causas da anomalia
Fissuração	Aparecimento de fissuração sem padrão definido, podendo apresentar-se por microfissuras ou fissuras extensas, e cuja direção também pode variar	Movimentos devido a solicitações térmicas resultantes de má aplicação do sistema, desrespeito pelas recomendações dos fabricantes, espessura da camada de base insuficiente, sem envolver completamente a armadura, falha na execução das juntas do sistema, tratamento incorreto dos pontos singulares, deficiências na aplicação da armadura, etc.	Remoção do revestimento fissurado, seguido de preenchimento com nova camada base, armadura e acabamento. Se as causas forem mais profundas, como as relacionadas com deficiente execução das juntas do sistema ou com a fixação do sistema, justifica-se a substituição integral do mesmo.
Deterioração do recobrimento dos perfis de reforço	Falta de material de recobrimento sobre os perfis de reforço colocados sobre as arestas dos sistemas <i>ETICS</i>	Impactos consideráveis aplicados sobre estas zonas do sistema, deficiente tratamento de pontos singulares ou deficiente preparação da camada de recobrimento do perfil de reforço	Se a causa for relacionada com o perfil deve substituir-se o sistema na zona afetada, incluindo o perfil, colocando um adequado. Se a causa estiver relacionada com a camada de recobrimento, esta deverá ser removida e substituída, aplicando-se o tratamento para pontos singulares.
Destacamento do acabamento	Separação entre a camada de acabamento e a camada de base, deixando expostas as restantes camadas	Incompatibilidade entre materiais, aplicação de materiais em mau estado, aplicação sob temperaturas inadequadas ou devido à espessura reduzida da camada de base.	Substituição localizada da camada de acabamento, caso as restantes camadas estejam em boas condições. Caso contrário, aprofundar a correção até uma camada sã.
Descolamento do sistema	Deslocamento parcial ou total do sistema <i>ETICS</i> , podendo conduzir à sua queda.	Deficiências na preparação do suporte e/ou na fixação das placas isolantes ao suporte	Aplicação de nova camada de cola, após remoção localizadas do sistema e da preparação do suporte, das placas isolantes e fixação mecânica, utilizando materiais adequados. A dimensão do tratamento está relacionada com a dimensão da anomalia.

Em relação às anomalias existentes em sistemas *ETICS*, importa referir que alguns dos componentes deste sistema são preparados em obra e, neste sentido, as suas características, que estão diretamente relacionadas com o comportamento do sistema, podem ser afetadas pelas condições atmosféricas (temperatura, humidade e vento) em que são executadas, que condicionam também o processo de aplicação e de secagem (Silva, 2012).

Por outro lado, o desrespeito pelas dosagens indicadas pelo fabricante, a falta de homogeneização das misturas ou a adição de água desnecessária, podem conduzir a alterações nas características do produto de colagem e da camada de base, conduzindo, posteriormente, a anomalias nestes sistemas (Silva, 2012).

Por outro lado, na utilização de sistemas não homologados, não está garantida a compatibilidade dos diferentes componentes (Vicente, 2012).

2.6 MANUTENÇÃO – ALGUNS TIPOS DE INTERVENÇÃO

O Decreto-Lei n.º 555/99 de 16 de Dezembro (Decreto-Lei n.º 38/382 de 7 de Agosto de 1951. Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), 1951) que surge como uma alteração ao Decreto-Lei n.º 38 382 de 7 de Agosto de 1951, que aprova o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), estabelece no seu artigo 89º, relativo ao dever de conservação que “As edificações devem ser objeto de obras de conservação pelo menos uma vez em cada período de oito anos”.

No caso específico do sistema *ETICS*, tal como acontece com qualquer outro revestimento de fachada, também é necessária manutenção, de modo a garantir um bom desempenho do sistema.

Para averiguar quais as práticas mais comuns em termos de manutenção, foram consultados dez Documentos de Homologação (DH) e sete Aprovações Técnicas Europeias (ETA) de sistemas *ETICS* elaboradas pelo LNEC. A partir da análise desses documentos constata-se que as operações de manutenção de sistemas *ETICS* assentam em manutenção preventiva e manutenção curativa (LNEC, 2013).

A manutenção preventiva é realizada no sentido de precaver eventuais anomalias que se venham a desenvolver no sistema e que, caso estas medidas não sejam aplicadas, poderão resultar num maior custo para a sua reparação. A manutenção curativa surge

no seguimento da identificação de uma anomalia no sistema que, caso não seja reparada, poderá dar origem ao mau desempenho da solução construtiva (Lopes, 2005).

Conforme se apresenta na Figura 2.11 a manutenção de Sistemas *ETICS* pode ser executada recorrendo a limpeza e operações gerais de manutenção, reparação localizada e renovação do aspeto.

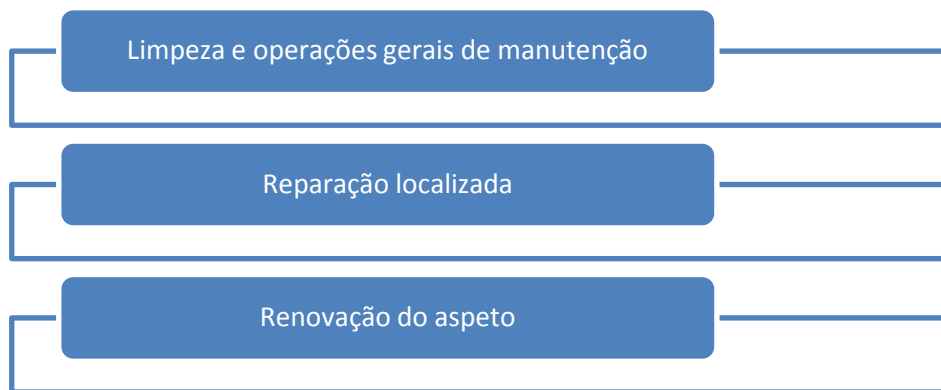


Figura 2.11: Fases da manutenção de um sistema *ETICS*

Na limpeza das fachadas revestidas com o sistema *ETICS* deve ser realizada com água limpa e com baixa pressão. No caso de sujidades mais intensas, pode utilizar-se uma escova de pelo macio, bem como detergentes sem agentes abrasivos e neutros. Na limpeza inclui-se ainda a aplicação de um produto biocida constituído por substâncias ativas, 16% de Cálcio, para prevenir o desenvolvimento de microrganismos (algas, fungos, líquenes, etc.). Relativamente a operações gerais de manutenção, importa também que sejam realizadas inspeções regulares ao sistema aplicado, especialmente nas juntas, para assegurar que não vão ocorrer infiltrações. Por outro lado, em função da avaliação efetuada e caso o acabamento seja realizado através de pintura, em cada 10 anos poderá ser justificável a realização de uma pintura da superfície do sistema. A este tipo de manutenção chamamos manutenção preventiva.

A reparação localizada é associada a zonas específicas que se encontram danificadas. Nestas reparações devem sempre ser utilizados produtos iguais aos constituintes do sistema e devem ser executadas as seguintes etapas:

- delimitar a zona danificada (corte com faca afiada até ao isolante) numa área quadrangular ou retangular cujas dimensões devem ser superiores à área degradada em cerca de 10 cm em todo o contorno;
- cortar uma área do material isolante, recorrendo a um disco, de uma forma regular, ultrapassando a área degradada em cerca de 7,5 cm em todo o contorno. Deve-se proceder à limpeza do suporte do produto de colagem e de qualquer outra sujidade;
- colocar, na zona limpa, uma porção de isolante idêntico ao extraído, de forma a encaixar na perfeição na zona onde o anterior isolante foi retirado;
- aplicar a camada de base sobre o isolante substituído e colocar armadura entre as demãos, com sobreposição de cerca de 6,5 cm sobre a original, bem embebida na camada de base;
- aplanar irregularidades e disfarçar a ligação;
- aplicar produto de acabamento após secagem de pelo menos três dias;
- tratar e disfarçar a ligação entre materiais;
- caso se pretenda total impercetibilidade da zona reparada, a camada de acabamento deverá ser executada em todo o plano da fachada que sofreu uma intervenção.

No caso de as degradações não serem acidentais deve-se, previamente, identificar e eliminar as referidas causas e, apenas posteriormente, iniciar o processo de reparação.

A renovação do aspeto de um paramento efetua-se através de uma pintura após cuidadosa limpeza do mesmo ou, por outro lado, pode aplicar-se uma nova camada de acabamento procedendo-se da seguinte forma:

- i) Limpeza cuidadosa do paramento;
- ii) Aplicação de novo acabamento.

2.7 ENERGIA INCORPORADA NOS CONSTITUINTES DE CADA COMPONENTE

Uma primeira abordagem à avaliação do desempenho ambiental de um produto ou sistema consiste na quantificação da energia incorporada do mesmo (Pinto, 2008). O conceito de energia incorporada pode ser dado pela quantidade de energia envolvida no fabrico do produto ou sistema, incluindo assim as energias consumidas nas várias fases do seu ciclo de vida - desde a extração de matérias-primas, passando pelo fabrico do produto ou sistema, até ao transporte do produto ou sistema para o local onde será aplicado (Neto, 2011).

Dependendo da tipologia do edifício, estima-se que a energia incorporada corresponde a cerca de 10 a 15% do consumo energético do edifício em todo o seu ciclo de vida, sendo a restante parcela muito mais significativa e correspondente, principalmente, ao consumo energético de operação e manutenção do edifício. Justifica-se assim a importância da quantificação da energia incorporada dos materiais e das soluções construtivas, particularmente na procura de utilização de materiais com menor energia incorporada e, conseqüentemente, materiais mais sustentáveis (Pinheiro, 2006).

No presente estudo foi feita uma análise comparativa de dois sistemas de revestimento tipo *ETICS*, diferindo entre elas apenas o tipo de isolante - um sistema com isolante de poliestireno expandido moldado (EPS) e um sistema com isolante de aglomerado de cortiça expandida (ICB). Os coeficientes de energia incorporada tomados em conta na presente dissertação tiveram por base um estudo de 2011 da *University of Bath* (Hammond, et al., 2008) e um estudo de 2006 da Universidade Federal de Santa Catarina (Tavares, 2006). A metodologia aplicada para a referida análise tem por base o cálculo da massa de todos os materiais presentes em 1 m² de sistema *ETICS* que, após multiplicada pelos coeficientes de energia incorporada, se traduz na energia incorporada associada a 1 m² de sistema *ETICS*. Os dados referentes ao consumo dos materiais que constituem o sistema foram obtidos através das fichas técnicas dos produtos, bem como dos respetivos Documentos de Homologação do LNEC (LNEC, 2012).

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE DUAS SOLUÇÕES DE *ETICS*

Na Tabela 2.6 apresentam-se os valores de energias incorporadas nos dois sistemas *ETICS*.

Tabela 2.6: Análise comparativa de duas soluções de *ETICS*. (Hammond, et al., 2008), (Tavares, 2006)

Componentes	Consumo (kg/m ²)	Coeficientes de Energia Incorporada (MJ/kg/m ²)	Energia Incorporada (MJ/m ²)	
Produto de colagem	4,200	-	-	
- Argamassa seca	3,500	2,100	7,350	
- Água	0,700	0,010	0,007	
SISTEMA A Isolante térmico – EPS	0,840	112,000	94,080	Total: 257,3117 MJ/m²
Camada de base	6,000	-	-	
- Argamassa seca	5,000	2,100	10,500	
- Água	1,000	0,010	0,010	
Rede de fibra de vidro	0,330	24,000	7,920	
Primário de regularização	0,250	61,000	15,250	
Acabamento	2,000	61,000	122,000	
Produto de colagem	4,200	-	-	
- Argamassa seca	3,500	2,100	7,350	
- Água	0,700	0,010	0,007	
SISTEMA B Isolante térmico – ICB	4,000	4,000	16,000	Total: 179,037 MJ/m²
Camada de base	6,000	-	-	
- Argamassa de seca	5,000	2,100	10,500	
- Água	1,000	0,010	0,010	
Rede de fibra de vidro	0,330	24,000	7,920	
Primário de regularização	0,250	61,000	15,250	
Acabamento	2,000	61,000	122,000	

A análise comparativa dos dois sistemas *ETICS*, por observação da Tabela 2.6, permite verificar que o sistema que utiliza como isolante o EPS é aquele que apresenta uma maior energia incorporada. Este resultado surge precisamente devido à energia incorporada do isolante utilizado, visto que todos os outros materiais do sistema foram considerados iguais em termos de propriedades e de quantidade. O processo de fabrico de cada um dos isolantes é o principal responsável por esta grande diferença entre energias incorporadas, uma vez que a energias utilizada no processo de fabrico do EPS provém maioritariamente de fontes não-renováveis ou fósseis, enquanto a energia utilizada no processo de fabrico do ICB provém maioritariamente de fontes renováveis (biomassa).

Apesar da energia incorporada no fabrico do isolante EPS ser a que contribui para a grande diferença entre energias incorporadas do sistema *ETICS*, a energia incorporada associada ao acabamento é aquela que é mais significativa.

3 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA (ACV)

3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou *Life-Cycle Assessment* (LCA), em Inglês, surge como uma das várias técnicas de análise ambiental utilizadas em organizações ou empresas, tais como são a Auditoria Ambiental (AA), a Análise de Risco (AR) ou a Análise de Impacte Ambiental (AIA), sendo os seus procedimentos essenciais no âmbito de uma gestão ambiental eficaz. Em relação às mesmas técnicas de análise ambiental importa referir que os seus objetivos e âmbitos são diferenciados, tanto a nível de abrangência geográfica como temporal. No entanto, com o objetivo de suprir as limitações de cada técnica de análise ambiental anteriormente referida, é frequente a utilização conjunta de diferentes técnicas (Ferrão, 1998).

Apesar da utilização combinada destas técnicas, existe uma clara diferenciação entre a técnica de análise ambiental ACV, tema central da presente dissertação, e restantes técnicas. A AA, a AR e a AIA focam a sua atenção numa organização ou empresa (a qual, normalmente, é uma unidade industrial que fabrica um produto) na tentativa de entender qual o impacte ambiental associado ao fabrico de um produto, num determinado local e num determinado período de tempo. Já a técnica de ACV analisa os impactes ambientais de um produto na totalidade do seu ciclo de vida, sem limitações de ordem geográfica ou temporal, respondendo, desta forma, à crescente necessidade de alargar o conhecimento sobre a influência ambiental de cada produto ao longo de todo o seu ciclo de vida (Ferrão, 1998).

A ACV surgiu nos anos 60 do século passado, consequência das limitações existentes quer em termos de matérias-primas, quer em termos de recursos energéticos, conduzindo com isto à necessidade de encontrar algumas formas de avaliar o uso de energia e de consumo de recursos. O primeiro estudo que visou uma análise ambiental do ciclo de vida dos produtos surgiu nos Estados Unidos da América, em 1965, foi designado, na altura, por Análise do Recurso e do Perfil Ambiental (REPA – *Resource and Environmental Profile Analysis*) foi elaborado pelo *Midwest Research Institute* para a empresa *Coca-Cola*, em 1965. Neste estudo foram considerados, para os vários tipos de embalagem, parâmetros como a energia, os materiais e as consequências ambientais da produção de embalagens, recorrendo-

se a uma análise desde a extração de recursos naturais até à deposição de resíduos (Ferrão, 1998).

Em 1972, o mesmo Instituto, MRI, iniciou um estudo de ACV de embalagens encomendado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) envolvendo a indústria do vidro, do aço, do alumínio, do papel e do plástico, bem como todos os fornecedores das respetivas indústrias, terá sido a mais ambiciosa REPA até à altura, caracterizando-se mais de 40 materiais (Ferreira, 2004).

Após mais de uma década de pouco interesse na ACV, o Laboratório Suíço para Teste e Investigação de Materiais (EMPA - *Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt*), em 1984, publicou relatório resultante do estudo “*Balço Ecológico de Materiais de Embalagem*” que tinha como objetivo elaborar uma base de dados para materiais mais importantes utilizados em embalagens, ou seja, vidro, alumínio, papel e cartão, plásticos e chapas de lata. O estudo introduziu um método para normalizar e agregar emissões para o ar e para a água nos chamados “volume crítico de ar” e “volume crítico de água”, recorrendo a legislação para as referidas emissões (Ferreira, 2004).

A crise petrolífera do início dos anos 70, do século passado, e o conseqüente aparecimento de interesses públicos no controlo de custos, estimularam as indústrias a assegurarem a exatidão da informação ambiental tornada pública. No entanto, o crescente volume de estudos realizados entre 1970 e 1975 conduziu a resultados nem sempre concordantes que, no início dos anos 1990, conduziram à necessidade de criação de normalização e metodologias associadas à ACV. Esta preocupação acentuou-se devido ao uso inapropriado dos resultados da ACV em programas de *marketing* e divulgação de produtos (da Silva, 2009).

Surgem então, no período de 1997-2002, as normas internacionais ISO da série 14000 (Série de normas que diz respeito à área da Gestão Ambiental), que apresentam as etapas da metodologia a serem executadas durante a realização de um estudo de ACV e que, atualmente, a nível nacional são representadas pela norma NP EN ISO 14040:2008 (versão portuguesa na norma europeia EN ISO 14040:2006) (da Silva, 2009).

Segundo a norma NP EN ISO 14040: 2008 a ACV é uma técnica que “aborda os aspetos ambientais e os potenciais impactes ambientais (por exemplo, utilização de recursos e consequências ambientais das emissões e descargas) ao longo do ciclo de vida do produto, desde a obtenção de matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento de fim-de-vida, reciclagem e deposição final (i.e. do berço ao túmulo)”. A ACV permite analisar a forma como um produto, processo ou serviço pode interferir no meio ambiente em todas as etapas do seu ciclo de vida. Através da contabilização dos fluxos de energia e de materiais no ciclo de vida do produto é possível fazer uma compilação e respetiva avaliação das entradas e saídas, bem como os potenciais impactes ambientais de um sistema ao longo do seu ciclo de vida (Pinto, 2008).

De uma forma genérica, as fases do ciclo de vida de um produto, bem com os respetivos fluxos de entrada e de saída, são esquematizados na Figura 3.1.

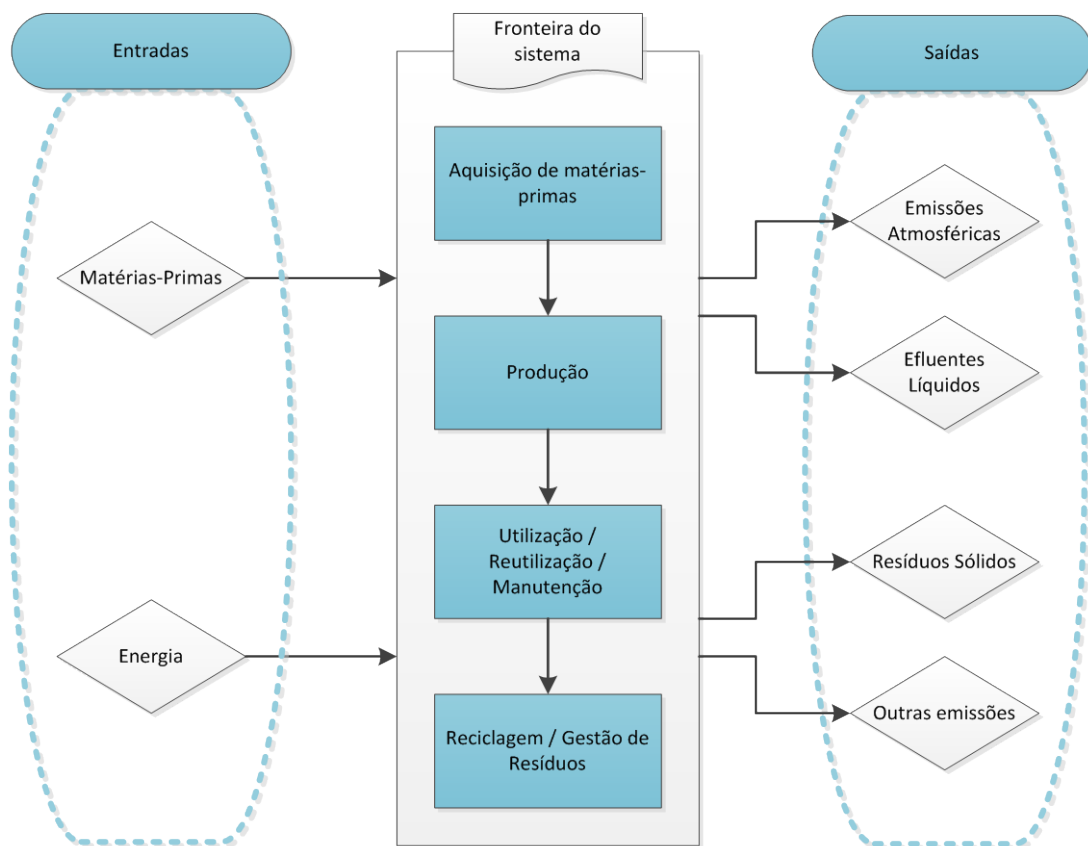


Figura 3.1: Fases do Ciclo de Vida de um produto. Adaptado de (Ferreira, 2004)

No que diz respeito à utilização da ferramenta ACV por parte das empresas / organizações, esta é aplicada com os seguintes objetivos (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, 2004):

- Desenvolvimento de uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas a um dado produto;
- Análise das trocas ambientais associadas a um dado produto ou processos específicos de forma a obter aprovações para algumas ações planeadas por parte de entidades importantes, como o estado ou mesmo uma comunidade;
- Quantificação das emissões de poluentes atmosféricos, da água e do solo em relação a cada processo do ciclo de vida de um material;
- Avaliação dos efeitos de consumo de materiais e das emissões ambientais sobre o meio ambiente e sobre o Homem;
- Identificação de potenciais áreas de oportunidade para uma maior eficiência económica;
- Conceção e desenvolvimento de produtos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), a ACV facilita o sistema de gestão ambiental da empresa/organização, uma vez que sistematiza questões associadas ao sistema de produção, melhora o conhecimento acerca do processo de fabrico dos materiais e facilita a identificação de prioridades em termos de desenvolvimento de um produto.

3.2 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

3.2.1 Generalidades

Para o desenvolvimento de um estudo de ACV recorre-se à construção de um modelo, no qual as fases do ciclo de vida são representadas por processos unitários que estão interligados por fluxos de produtos intermédios e/ou resíduos para tratamento, a outros sistemas de produtos por fluxos de produto, e ao ambiente por fluxos elementares, formando este conjunto de processos unitários um “sistema de produto”. A divisão de um determinado sistema de produto em processos unitários permite uma melhor identificação das entradas e saídas de um sistema de produto.

Na Figura 3.2 é apresentado um exemplo de um *sistema de produto*, esquema retirado na Norma NP EN ISO 14040: 2008

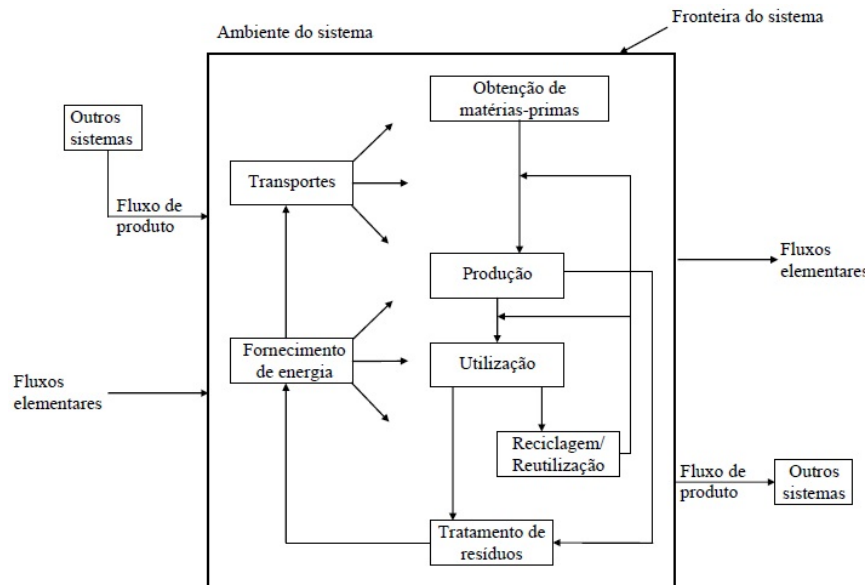


Figura 3.2: Exemplo de um sistema de produto para ACV. (IPQ, 2008)

Para além de sistema de produto, existem alguns termos e definições presentes na Norma EN ISO 14040: 2008 que são importantes para a compreensão do conceito de ACV. Desta forma, destacam-se os seguintes termos e definições (IPQ, 2008):

- Unidade funcional: desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência;
- Matéria-prima: material primário ou secundário que é utilizado para produzir o produto;
- Entrada: fluxo de produto, material ou energia que entra num processo unitário;
- Saída: fluxo de produto, material ou energia que sai de um processo unitário;
- Produto intermédio: saída de um processo unitário que constitui uma entrada para outros processos unitários que requer transformação posterior dentro do sistema;
- Processo unitário: o menor elemento considerado no inventário do ciclo de vida para o qual os dados de entrada e saída são quantificados;

- 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;
- Fluxo intermédio: fluxo de produto, material ou energia que ocorre entre processos unitários do sistema de produto em estudo;
- Fluxo de referência: medida de saídas de processos de um dado sistema de produto necessária para cumprir a função expressa pela unidade funcional;
- Fronteira do Sistema: conjunto de critérios que especificam que processos unitários são parte de um sistema de produto;
- Categoria de impacte: classe que representa questões ambientais dignas de preocupação à qual os resultados do inventário do ciclo de vida poderão ser atribuídos;
- Fator de caracterização: fator derivado de um modelo de caracterização que é aplicado para converter um resultado atribuído do inventário do ciclo de vida à unidade comum do indicador de categoria. A unidade comum permite o cálculo do resultado do indicador de categoria;
- Emissões e descargas: emissões para o ar e descargas para a água e solo;
- Resíduo: substâncias ou objetos que o detentor tem intenção ou é obrigado a descartar.

Segundo a norma NP EN ISO 14040:2008 (IPQ, 2008), a metodologia aplicada na ACV tem por base um sistema faseado que inclui quatro etapas: 1) Definição do Objetivo e Âmbito; 2) Inventário do Ciclo de Vida (ICV); 3) Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV); e 4) Interpretação (Figura 3.3).

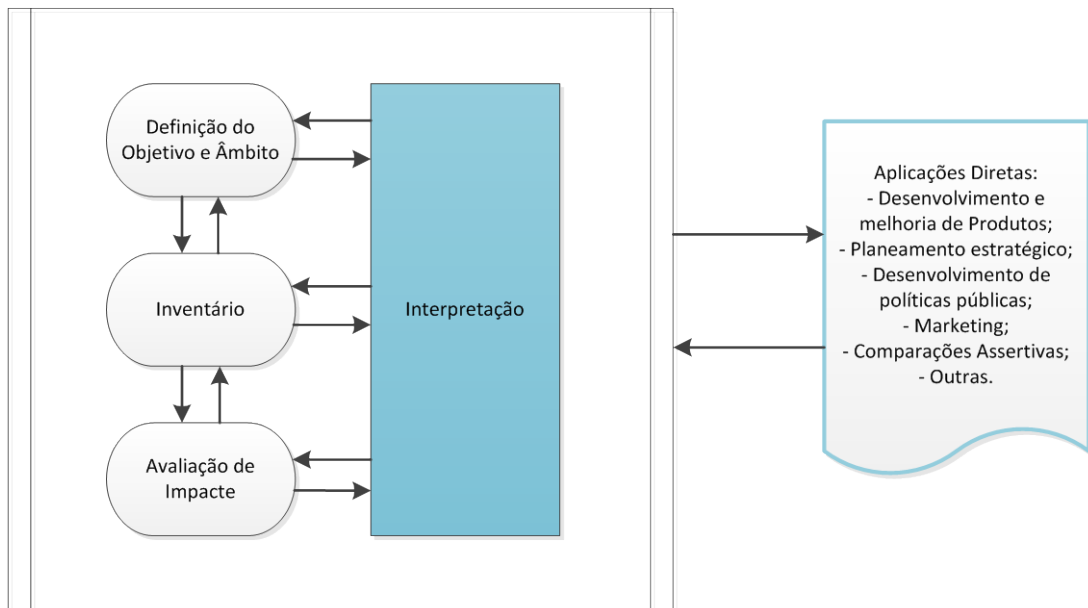


Figura 3.3: Fases da Análise de Ciclo de Vida. Adaptado de (IPQ, 2008)

Como se pode observar no esquema acima representado, os resultados da ACV podem ter várias aplicações, sobretudo as que estão ligadas ao desenvolvimento e melhoria dos produtos, principalmente na sua etapa de produção, de forma a minimizar o impacto ambiental global, no planeamento estratégico da empresa / organização, no desenvolvimento de políticas públicas, melhorando a integração da empresa/organização no meio público, e na estratégia de *marketing* onde os resultados da ACV podem conduzir a uma melhoria da imagem pública da empresa / organização.

Nos próximos pontos são descritas em pormenor cada uma das fases da ACV.

3.2.2 Definição do Objetivo e Âmbito

Esta fase da ACV define e descreve o produto, o processo ou o serviço, o objetivo do estudo, estabelece o contexto em que a avaliação é realizada e identifica as fronteiras do sistema do produto. Nesta fase é ainda identificado o público-alvo a que se destina o estudo, a função do sistema do produto, a unidade funcional, as categorias de impacto selecionadas e a metodologia de avaliação de impacto, a estratégia de recolha de dados e os pressupostos/limitações.

3.2.3 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Durante a fase de ICV são elaborados os fluxogramas que descrevem as entradas e saídas de cada processo unitário, inserido no processo de fabrico de cada material. A informação que será recolhida é relativa a todo o ciclo de vida do produto, processo ou serviço.

Nesta fase também devem ser identificadas as limitações associadas à recolha de dados, sendo necessária a execução de cálculos que dizem respeito à validação dos dados recolhidos e à sua relação com os processos unitários e com o fluxo de referência da unidade funcional.

Como resultado é obtido o inventário do sistema para cada processo unitário relativo à unidade funcional definida, onde são evidenciadas as entradas e saídas de todos os processos unitários do sistema, bem como as quantidades finais consumidas e libertadas.

3.2.4 Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV)

Durante esta fase os resultados do ICV são utilizados para avaliar e identificar os potenciais impactes ambientais. Na AICV, os dados recolhidos no inventário serão associados a um número de categorias de impacte ambiental específicas e a indicadores de categoria, tornando os resultados mais compreensíveis e facilmente comunicáveis.

A Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida, conforme a norma NP EN ISO 14040: 2008, é constituída por elementos obrigatórios e elementos opcionais. Como elementos obrigatórios tem-se: a seleção de categorias de impacte, indicadores de categoria e modelos de caracterização; imputação dos resultados da ICV (classificação); cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização). No que respeita aos elementos opcionais, estes são: o cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria em relação à informação de referência (normalização), agregação e ponderação.

3.2.5 Interpretação

Na fase de interpretação, os resultados do inventário (ICV) e da avaliação de impacte (AICV) são considerados em conjunto, fornecendo resultados que sejam consistentes

com o objetivo e o âmbito definidos, permitindo assim a descrição dos resultados da ACV de uma forma clara e coerente. É nesta fase da ACV que são analisados os resultados, delineadas as conclusões, identificadas as limitações e são dadas algumas recomendações baseadas nos resultados das fases anteriores da ACV.

3.3 EXEMPLOS DE DECLARAÇÕES AMBIENTAIS

3.3.1 Generalidades

A ACV permite fundamentar os critérios de atribuição de declarações ambientais, bem como apresentar aos consumidores informação relativa aos aspetos ambientais de um produto, o que contribui para a imagem social e para as estratégias comerciais da empresa (Bessa, 2011). No entanto, a grande vantagem para as empresas na aplicação do sistema de rotulagem e declarações ambientais está presente em todos os benefícios económicos e ecológicos gerados pela aplicação da ACV como instrumento de gestão (Ribeiro, 2012).

No presente contexto, pretende-se fazer uma breve descrição dos diferentes tipos de Declarações Ambientais, tendo por base a normalização vigente.

3.3.2 Declarações Ambientais Tipo I – Rótulos Ecológicos Certificados

As Declarações Ambientais Tipo I fazem parte de um programa independente e voluntário, baseado em vários critérios, que tem por fim atribuir rótulos a produtos, permitindo a diferenciação entre produtos de uma mesma categoria, com base no seu desempenho ambiental e em alguns princípios de ciclo de vida (Silvestre, et al., 2011), (Jesus, et al., 2008). Neste tipo de declarações ambientais, uma organização independente define um conjunto diversificado de critérios, sendo a transparência e a credibilidade destes assegurada por meio de certificação de uma terceira parte envolvida (Trindade, 2009).

Este tipo de rotulagem ambiental é mais adequado para mercados onde o consumidor pode, geralmente, ser considerado desinformado ou não-especialista, permitindo ao consumidor fazer uma seleção simples entre produtos ambientalmente aceitáveis, dentro de uma categoria específica (Ribeiro, 2012).

Na Europa existem uma série de rotulagens ambientais com validação a nível nacional, multinacional e europeu. Dentro dos rótulos ambientais nacionais destacam-se o *Blue Angel*, da Alemanha (Figura 3.4), o *NF Environnement*, de França, ou o *AENOR – Médio Ambiente*, de Espanha. Em termos de rótulos multinacionais são exemplo o *Nordic Swan* (Figura 3.4), referente a países nórdicos. Por último, a nível europeu, apresenta-se o *Rótulo Ecológico Europeu –Ecolabel* (Figura 3.4), que faz parte de uma ampla estratégia da união Europeia que pretende promover a produção e o consumo sustentáveis (Trindade, 2009).



Figura 3.4: Rótulo Ecológico Europeu (à esquerda), *Nordic Swan* (ao centro) e *Blue Angel* (à direita). (Seleção de materiais de construção eco-eficientes. Parte 1, 2011)

Os princípios e procedimentos para atribuição de Rótulos Ambientais Certificados a nível nacional encontram-se normalizados segundo a Norma NP EN ISO 14024: 2006.

3.3.3 Declarações Ambientais Tipo II – Auto Declarações Ambientais

As Auto Declarações Ambientais são declarações desenvolvidas pelos próprios fabricantes, importadores ou distribuidores de modo a comunicar a informação relativa aos aspetos ambientais de produtos ou serviços, sem que essa informação seja sujeita a uma verificação externa. A inexistência de uma entidade idónea que verifique a veracidade da informação disponibilizada neste tipo de declarações é um ponto desfavorável para o consumidor, no entanto o tipo de linguagem mais acessível e objetiva permite a sua perceção por qualquer tipo de consumidor. (Justino, 2008). Na Figura 3.5 são apresentados alguns exemplos de Auto Declarações Ambientais.



Figura 3.5: Produto Reciclado (à esquerda), Embalagem Reciclável (ao centro) e Alumínio Reciclável (à direita) (Caiado, 2011)

A norma NP EN ISO 14021:2008 (IPQ, 2008) especifica os requisitos para Auto Declarações Ambientais.

3.3.4 Declarações Ambientais Tipo III – Declarações Ambientais do Produto (EPD)

As Declarações Ambientais Tipo II – Declarações Ambientais de Produto (em Inglês, *Environmental Product Declaration – EPD*), tal como foi referido, são documentos elaborados segundo a Norma NP ISO 14025:2009, e cujo principal objetivo é encorajar à procura de produtos, processos ou serviços com menores impactes ambientais ao longo do seu ciclo de vida (Almeida, et al., 2011). Neste tipo de declarações é apresentado um conjunto de informação detalhada, rigorosa e quantificada dos impactes ambientais de um produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida, tendo por base estudos de ACV e respetiva interpretação (Trindade, 2009).

Através de uma Declaração Ambiental de Produto é especificado o “peso” que cada material presente no produto representa em termos ambientais, bem como os impactes ambientais de cada atividade ou processo do ciclo de vida do respetivo produto, para um conjunto de parâmetros predeterminados (Ribeiro, 2012). Estes parâmetros são estabelecidos segundo as Regras de Categoria dos Produtos - RCP (em Inglês, *Product Category Rules, PCR*), que constituem um conjunto de regras, exigências e diretrizes específicas para o desenvolvimento de uma declaração ambiental para um ou mais grupos de produtos que desempenham funções equivalentes (The Norwegian EPD Foundation, 2012), (dapHabitat, 2013).

Para a realização do presente estudo de ACV de duas soluções de *ETICS* que diferem no tipo de isolante, foram utilizadas as RCP elaboradas por *The Norwegian EPD*

Foundation (The Norwegian EPD Foundation, 2012), para a maioria dos materiais de isolamento disponíveis no mercado.

3.4 LEVANTAMENTO DE FERRAMENTAS INFORMÁTICAS (SOFTWARES E BASES DE DADOS)

De forma a facilitar a aplicação da ACV, têm sido desenvolvidos uma série de *softwares* que pretendem auxiliar o investigador na execução do Inventário do Ciclo de Vida, na análise dos resultados da avaliação de impactes ambientais e respetiva interpretação de resultados. Alguns destes *softwares*, sendo utilizados para avaliar qualquer tipo de produtos, são de carácter generalista, como é o caso do *GaBi*® (PE International, Alemanha) ou o *SimaPro*® (Pré Consultants, Países Baixos). Existem também algumas ferramentas que têm vindo a ser desenvolvidas especificamente para o setor da construção civil, como são exemplos o *BEES* (NIST, EUA), o *SBS* (Fraunhofer, Alemanha) ou o *Elodie* (CSTB, França) (Zabalza, et al., 2012).

A utilização de um *software* de ACV especialmente direcionado para o setor da construção civil acarreta algumas vantagens face à utilização de *softwares* generalistas, já que as interfaces estão mais adaptadas à análise de edifícios, simplificando a entrada de dados (*inputs*), a interpretação dos resultados obtidos e integrando os diferentes cálculos requeridos na mesma aplicação. Sendo assim, o utilizador não tem que ter uma grande base de conhecimentos da metodologia ACV. (Zabalza, et al., 2012).

Para além do aspeto funcional destas ferramentas, é necessário saber à partida se as mesmas dispõem de bases de dados ambientais que auxiliem na execução do Inventário do Ciclo de Vida. Estas bases de dados são desenvolvidas e atualizadas a partir de Declarações Ambientais de Produto que vão sendo publicadas. Na Tabela 3.1 são apresentadas as principais bases de dados existentes e que podem ser utilizadas em estudos de ACV (Zabalza, et al., 2012).

Tabela 3.1: Principais bases de dados para estudos ACV (Zabalza, et al., 2012)

Base de Dados	Conteúdo	Entidades	Nº de Processos (2010)
Ecoinvent v.1.2 (2005)	Grande variedade de processos incluindo energia, transportes, materiais de construção, produtos químicos, agricultura, gestão de resíduos, etc. da Suíça e Alemanha	Ecoinvent Centre (Suíça) < www.ecoinvent.ch >	2.700
Ecoinvent v.2.0 (2007)			4.000
IVAM LCA Data v.4.06 (2004)	Dados holandeses sobre materiais transportados, energia e tratamento de resíduos	IVAM Environmental Research (Países Baixos) < www.ivam.uva.nl/index.php?id=164&L=1 >	1.350
Boustead Model v.5.0.12 (2006)	Ampla base de dados de materiais, produção de combustíveis e energia	Boustead Consulting Limited (Reino Unido) < www.boustead-consulting.co.uk >	-
Athena database v.4 (2009)	Consumos energéticos e emissões de produtos de construção ao longo da sua vida útil	Athena Institute (Canadá) < www.athenasmi.org/tools/database/index.html >	1.200
Idemat (2001)	Base de dados holandesa compilada a partir de diferentes fontes	Delft Technical University (Países Baixos) < www.io.tudelft.nl >	508
Gabi database	Base de dados que inclui processos do setor agrícola, da construção, produtos químicos, eletrónica e TIC, energia, alimentação, metais, mineração de produtos industriais, plásticos, etc.	PE International < www.gabi-software.com >	4.500
ETH-SEU (1996)	Ampla base de dados suíça centrada em energia, transportes e resíduos	ETH-SEU (Suíça) < www.uns.ethz.ch >	1.200
GEMIS 4.5 (2009)	Base de dados gratuita que engloba processos energéticos e de transportes, materiais, processos de reciclagem e de tratamento de resíduos	Oko.Institut (Alemanha) < www.gemis.de >	-

O *software* que será utilizado para o desenvolvimento da presente dissertação é o *software* *SimaPro*®. Este *software* de ACV foi desenvolvido em 1990 por Mark Goedkoop, designer industrial, que se especializou em *ecodisign*. Mark Goedkoop,

ao desenvolver este *software*, tinha como objetivo elaborar uma ferramenta de ACV fácil de aplicar e de entender, visto que esta metodologia estava pouco explorada na altura. Através deste *software* foi criada a empresa Holandesa *Pré-Consultants*, que, na vanguarda da sustentabilidade há mais de vinte anos, tem uma grande reputação mundial ao nível das avaliações de impacte ambiental, tendo como objetivo fazer uma mudança positiva no mundo através da integração do conceito de sustentabilidade.

Este *software*, sendo o mais utilizado para ACV e utilizado em mais de 80 países, permite ao utilizador analisar e monitorizar o desempenho ambiental dos produtos, processos e serviços, bem como modelar e analisar ciclos de vida complexos, de forma organizada e transparente, baseando-se nos critérios específicos das normas ISO 14040 e ISO 14044. Através da aplicação deste *software* é possível analisar todas as etapas do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, incluindo as fases de extração da matérias-primas, transformação, construção, uso e manutenção, substituições, demolição, reciclagem e eliminação, sendo por isso designado uma análise do berço ao túmulo (PRé Consultants, 2012). A Figura 3.6 apresenta um aspeto geral do *software SimaPro®*.

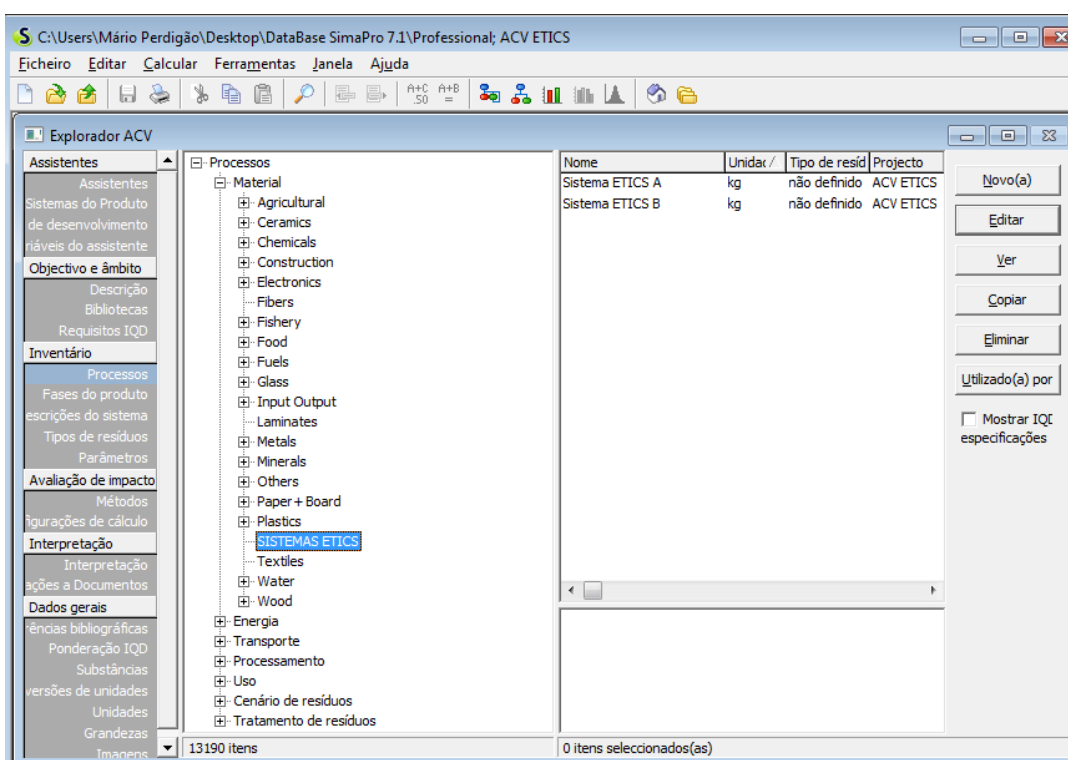


Figura 3.6: Aspeto geral do *software SimaPro®*

A avaliação de impactos ambientais pode ser conduzida através de vários métodos de avaliação, resultando, de cada um, diferentes conjuntos de indicadores de impacto. A estrutura básica dos vários métodos de avaliação de impacto, no *SimaPro*®, inclui a caracterização, a avaliação de danos, a normalização e a ponderação. No entanto, as últimas três etapas não fazem parte de todos os métodos de avaliação de impacto. É de referir, ainda, que, em função de certas regiões, existem métodos que são preferidos em relação a outros. No caso da Europa, há preferência pelos métodos *CML 2 baseline 2000* (base do método *CML 2001*), *CML 2001* (inclui todas as categorias de impacto), *Eco-Indicator 99*, *Ecological Scarcity 2006*, *EDIP 2003*, *EPD (2008)*, *EPS 2000*, *Impact 2002+*, *ReCiPe Endpoint* e o *ReCiPe Midpoint*.

4 METODOLOGIA PARA ACV DE SISTEMAS *ETICS*

4.1 GENERALIDADES

No presente capítulo apresenta-se a ACV para os dois sistemas *ETICS*. A organização deste capítulo baseia-se nas quatro etapas definidas na norma NP EN 14040:2008 (IPQ, 2008), que foram definidas na secção 3.2: a) Definição do Objetivo e Âmbito; b) Inventário do Ciclo de Vida, c) Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida; e d) Interpretação.

4.2 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO

4.2.1 Descrição do produto, objetivo e contexto do estudo e público-alvo

Neste estudo fez-se a avaliação comparativa do desempenho ambiental de dois sistemas *ETICS*, um com isolante térmico de EPS e outro sistema com o isolante térmico de ICB. Atendendo à constituição do sistema *ETICS* o único componente que difere entre os mesmos é o isolante térmico utilizado. O sistema que utiliza o isolante térmico de EPS designa-se por sistema A. O sistema B utiliza como isolante térmico o ICB, isolante alternativo e proveniente de um recurso natural, local e renovável. Os restantes componentes dos sistemas *ETICS* A e B (produto de colagem, camada de base, rede de reforço, primário de regularização de fundo e acabamento) não diferem entre o sistema A e o B.

O objetivo desta análise passa por identificar a relevância do tipo de isolante térmico no desempenho ambiental de um sistema *ETICS* e identificar os componentes dos sistemas mais relevantes para o desempenho ambiental e, dessa forma, contribui com informação que possibilite, a jusante, efetuar uma Análise de Ciclo de Vida de edifícios.

Neste estudo de ACV não foi considerado o impacte dos sistemas *ETICS* na redução das necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento.

Como público-alvo deste estudo, englobam-se a comunidade académica, empresas e organizações que pretendam conhecer a metodologia de Análise de Ciclo de Vida, a

sua importância para a sustentabilidade da construção civil e o seu contributo para a gestão da própria empresa.

4.2.2 Definição da unidade funcional

Visto que não existem Regras de Categoria de Produto (RCP) específicas para sistemas *ETICS*, fez-se uso das RCP para os materiais de isolamento (The Norwegian EPD Foundation, 2012). Neste estudo a análise funcional é definida da seguinte forma:

“1 m² de sistema *ETICS*, com materiais isolantes, que tenham uma resistência térmica (R) igual a 1 m².K/W.”

O tempo de vida útil das soluções *ETICS* incluídas neste estudo é de 40 anos, ao contrário do período de 60 anos definido nas RCP para materiais de isolamento. Ao fim de 40 anos o sistema *ETICS* deve ser totalmente substituído.

4.2.3 Definição das fronteiras dos sistemas

Para o estudo destes sistemas *ETICS* são consideradas as seguintes fases do ciclo de vida: a) extração de matérias-primas dos componentes; b) transporte das matérias-primas até à fábrica; c) produção dos componentes; d) transporte dos componentes até ao local de aplicação; e) aplicação dos sistemas *in situ*; f) manutenção dos sistemas aplicados; e g) tratamentos de fim de vida dos componentes do sistema. Sendo consideradas todas as fases de ciclo de vida na ACV, o presente trabalho dá origem a estudo com uma abordagem “do berço ao túmulo” ou, em inglês, *cradle-to-grave*.

As fronteiras geográficas e temporais deste estudo de ACV abrangem os dados da Europa Ocidental entre 1993 e 2010.

4.2.4 Metodologia de avaliação de impacto e categorias de impacto ambiental

A metodologia de avaliação de impacto a que se recorre é a *EPD (2008)*. Esta metodologia de avaliação de impacto foi publicada no *website* da *Swedish Environmental Management Council (SEMC)* e está especificamente adaptada para a elaboração de Declarações Ambientais de Produto (Goedkoop, et al., 2010).

A metodologia *EPD (2008)* utiliza as categorias de impacto ambiental descritas nas próximas secções.

a) Aquecimento global

Esta categoria de impacto ambiental está relacionada com a emissão de gases para a atmosfera que promovem o efeito de estufa, ou seja, gases que absorvem radiação infravermelha de grande comprimento de onda. O aquecimento global provoca alterações climáticas que poderão ter como consequências o aumento do fenómeno de desertificação ou a subida do nível da água do mar. Esta categoria de impacto é quantificada recorrendo ao “Potencial de Aquecimento Global” (PAG, ou em Inglês *GWP - Global Warming Potential*), expresso em kgCO₂ eq, ou seja, é comparado o efeito da emissão de 1 kg de CO₂ com o efeito da emissão do gás que se pretende quantificar. O cálculo do PAG, visto que existem substâncias que se decompõem gradualmente até ficarem inativas, pode ser efetuado para períodos de 20, 100 ou 500 anos (Pinto, 2008).

b) Diminuição da camada de ozono

O ozono, sendo responsável por filtrar parte da radiação UV-B, é um composto formado na atmosfera quando o oxigénio gasoso é exposto à radiação ultravioleta. A emissão para a atmosfera de alguns gases causa a diminuição da camada de ozono estratosférico. A esta redução da camada de ozono está associado um aumento da radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre, tendo como consequência o aumento dos casos de melanoma⁵, doenças em animais, alterações no equilíbrio de ecossistemas terrestres e aquáticos, bem como degradação de materiais.

Os clorofluorcarbonetos (CFC), cuja produção foi banida a partir de 2000, e os hidroclorofluorcarbonetos (HCFC), com produção banida a partir de 2015, são os principais gases responsáveis pela diminuição da camada de ozono. Esta categoria de impacto é quantificada recorrendo ao “Potencial de Destruição da Camada de Ozono” (PDCO ou, em Inglês, *ODP - Ozone Depletion Potential*), expresso em kgCFC-11 eq, que utiliza como referência o triclоромоноfluоrmetano (CFC11), sendo o efeito dos restantes gases comparados com o efeito do triclоромоноfluоrmetano (Pinto, 2008).

⁵ O melanoma é um tipo de cancro que tem início nos tecidos da pele, os melanócitos. Representa 5% dos tipos de cancro da pele, sendo o mais grave (Roche, 2007).

c) Oxidação fotoquímica

Serão englobados nos oxidantes todos os gases baseados numa reação de oxidação, como ocorre com os óxidos de azoto [sobretudo o monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO₂)]. A formação dos óxidos de azoto provém de indústrias de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e ácido nítrico (HNO₃), fumo de cigarros, tempestades, soldadura elétrica, bem como dos motores de combustão, estes últimos que são a principal fonte. Estes óxidos de azoto sofrem transformações fotoquímicas que levam à formação de ozono (O₃) que, em excesso, podem ter efeitos prejudiciais sobre a vegetação e efeitos tóxicos nos humanos, atingindo o sistema respiratório as mucosas dos órgãos sensoriais. Esta categoria de impacte é quantificada recorrendo ao “Potencial de Criação de Ozono Fotoquímico” (PCOF ou, em Inglês, *POCP – Photochemical Ozone Creation Potential*), expresso em kgC₂H₄ eq, que utiliza como referência o etileno (C₂H₄), sendo o efeito dos restantes gases comparados com o efeito do etileno (Ferreira, 1995).

d) Acidificação

A presente categoria de impacte ambiental está diretamente associada às chuvas ácidas que, caso ocorram, se depositam no solo e na água, podendo afetar o solo, águas subterrâneas e superficiais, organismos, ecossistemas e materiais de edifícios. A deposição ácida resulta da reação do SO₂ (dióxido de enxofre) e NO₂ (dióxido de nitrogénio) com o vapor de água, que dá origem aos ácidos sulfúricos e nítricos e às chuvas ácidas. A acidificação é quantificada através do “Potencial de Acidificação” (PA ou, em Inglês, *AP – Acidification Potential*) e é expressa relativamente ao efeito de acidificação do SO₂, para o qual se assume um fator de 1 (Pinto, 2008).

e) Eutrofização (poluição da água)

A eutrofização está associada à excessiva concentração de nutrientes (essencialmente azoto e fósforo) frequentemente arrastados para as águas de lagos e lagoas por águas carregadas de fertilizantes químicos que provocam uma rápida multiplicação de algas, formando uma espessa cortina verde à superfície. Esta cortina, impedindo a penetração de luz nas zonas mais profundas, faz com que as algas que estão a maior profundidade não realizem a fotossíntese acabando por morrerem e por se decomporem. Estas algas deixam assim de produzir oxigénio para a água, fazendo com que os lagos e lagoas entrem em anóxia (falta de oxigénio na água), o que leva

também à morte de muitos peixes que, na falta de algas, deixam de ter alimento essencial para a sua sobrevivência. Para além do problema da anóxia, as algas em decomposição libertam gases, principalmente metano (muito tóxico), criando condições para o aparecimento de algas malignas, como é o caso das cianófitas, conhecidas como algas azuis. Esta categoria de impacte ambiental é quantificada através do “Potencial de Eutrofização” (PE ou, em Inglês, *EP - Eutrophication Potential*) e é expressa em $\text{kgPO}_4 \text{ eq}$, que utiliza como referência o fosfato (PO_4), sendo o efeito dos restantes gases comparados com o efeito do fosfato (Cruz, et al., 2009).

f) Energia primária não renovável

A energia primária não renovável é o recurso energético que se encontra disponível na natureza, proveniente de uma fonte não renovável. Exprime-se, normalmente, em termos de toneladas equivalentes de petróleo (tep), em *Joules* (J) ou em calorías (cal), sendo que $1\text{tep} = 10^7\text{kcal} = 41840\text{ MJ}$ (Getep, 2009).

4.2.5 Estratégia de recolha de dados

A estratégia de recolha dos dados que constituem o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) foi essencialmente obtida em duas fases. Numa primeira fase foram obtidos os principais consumos de matérias-primas dos sistemas *ETICS* através de documentação técnica de dois sistemas homologados pelo LNEC, pelo inquérito a técnicos especialistas de *ETICS* e por consulta a fabricantes e distribuidores de alguns componentes do sistema. Numa segunda fase, na ausência de informação mais precisa, foram utilizados os processos existentes nas bases de dados do *software SimaPro®* para cada componente dos sistemas *ETICS*.

4.2.6 Pressupostos e limitações

O suporte e os acessórios dos sistemas *ETICS*, descritos respetivamente nas secções 2.2.2 e 2.2.9, não são considerados no presente estudo de ACV.

Para quantificação das distâncias de transporte considerou-se que todos os componentes dos sistemas *ETICS* provenientes do seu local de fabrico são transportados à localização do detentor do sistema *ETICS*, em Vila Franca de Xira, para controlo de qualidade, e só depois são transportados para o local de aplicação, o

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. As tintas que constituem o primário de regularização de fundo e o acabamento, por serem fabricados pelo detentor do sistema *ETICS*, apenas são transportadas de Vila Franca de Xira para o ISEL.

Todas as operações de transporte são executadas por um camião de aproximadamente 80 m³ de capacidade. Este veículo encontra-se acoplado a um reboque de três eixos que, segundo a legislação em vigor, pode transportar uma carga máxima de 24 toneladas (Decreto-Lei n.º 99/2005 de 21 de Junho, 2005). Para inserir a operação de transporte considerou-se o processo *Transport, lorry 16-32t* da base de dados do *SimaPro®*, *EURO5/RER U*, relativa à operação de transporte e ao fabrico, manutenção e tratamento de fim de vida associado ao veículo propriamente dito e à construção da via rodoviária.

Na fase de aplicação dos sistemas *ETICS* foram considerados a água utilizada e a energia consumida por uma betoneira para o fabrico da argamassa pronta que compõe o produto de colagem e a camada de base.

Desperdícios resultantes da aplicação dos sistemas *ETICS* não foram considerados neste estudo de ACV. Visto que para a aplicação de um sistema *ETICS* existe a necessidade de recorrer a equipas especializadas, os desperdícios de materiais podem ser bastante diminuídos. Sendo os desperdícios equivalentes nos dois sistemas, os mesmos não foram considerados neste estudo.

Na fase de manutenção dos sistemas *ETICS* considerou-se a aplicação de primário de regularização de fundo e de tinta de acabamento, bem como uma limpeza com jato de água de 10 em 10 anos na superfície do sistema. Sendo o tempo de vida expectável de uma solução *ETICS* de 40 anos (Lopes, 2005), contabilizam-se três aplicações de primário de regularização de fundo, três aplicações tinta acabamento e três limpezas com jato de água durante o seu tempo de vida, ou seja, aos 10, 20 e 30 anos desde a aplicação do sistema.

O estado da arte no que diz respeito à desconstrução de um sistema *ETICS* no fim de vida não é consensual e não está definido. Neste sentido considera-se que o isolante térmico, as cavilhas de fixação mecânica e a argamassa utilizada no produto de colagem são separáveis entre si, sendo os cenários de destino final aplicados individualmente a estes componentes. Em relação à rede de fibra de vidro e às tintas

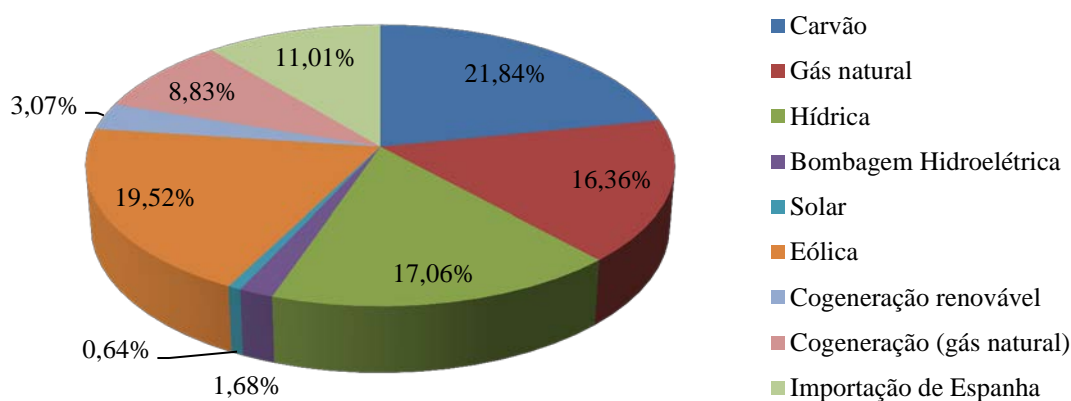
utilizadas no acabamento consideram-se não serem separáveis da argamassa utilizada para formar a camada de base do sistema *ETICS*. Desta forma, para a rede de fibra de vidro e para as tintas utilizadas no acabamento, são aplicados os tratamentos de fim de vida associados à camada de base. Na fase de desconstrução dos sistemas *ETICS* não foram considerados quaisquer *inputs* de energia.

Foram tomadas em consideração as emissões que apenas se fazem sentir-se durante um longo período temporal. Estas emissões são designadas por *long-term emissions* e fazem-se sentir por períodos de tempo superiores a 100 anos. Esta opção foi tomada visto que a deposição dos materiais em aterro no final do seu ciclo de vida originam este tipo de emissões (Lopes, 2011). Esta opção, fazendo parte das funcionalidades do *software SimaPro®*, é uma mais-valia para se obterem resultados mais aproximados da realidade.

Em termos estrutura de produção de energia elétrica utilizada nas diferentes etapas de ciclo de vida dos sistemas *ETICS*, foram considerados os dados médios da REN (Redes Energéticas Nacionais) dos anos de 2011 e 2012 (REN - Redes Energéticas Nacionais SGPS, S.A., 2013). A Tabela 4.1 e a Figura 4.1 apresentam os dados médios da distribuição da produção de energia elétrica em Portugal

Tabela 4.1: Distribuição da produção de energia elétrica em Portugal nos anos de 2011 e 2012 (REN - Redes Energéticas Nacionais SGPS, S.A., 2013)

Origem da energia	2012		2011		Média
	GW.h	%	GW.h	%	
Carvão	12136	25,00%	9128	18,68%	21,84%
Gás natural	5641	11,62%	10316	21,11%	16,36%
Hídrica	5403	11,13%	11239	22,99%	17,06%
Bombagem hidroelétrica	1044	2,15%	587	1,20%	1,68%
Solar	357	0,74%	262	0,54%	0,64%
Eólica	10012	20,62%	9003	18,42%	19,52%
Cogeração Renovável	1488	3,07%	1502	3,07%	3,07%
Cogeração (gás natural)	4573	9,42%	4029	8,24%	8,83%
Importação	7895	16,26%	2813	5,76%	11,01%
Total	48549	100,00%	48879	100,00%	100,00%

**Figura 4.1: Média da distribuição da produção de energia elétrica em Portugal entre os anos de 2011 e 2012**

Por forma a aproximar o recurso da energia elétrica no *software* de ACV à estrutura de produção elétrica portuguesa, criou-se um processo no *SimaPro*® que é utilizado sempre que um processo recorre a energia elétrica da rede de abastecimento nacional. Este processo foi criado através da substituição das percentagens indicadas no processo *Electricity mix/PT U* da base de dados do *SimaPro*®, pelas percentagens indicadas na Figura 4.1. A Figura 4.2 mostra o processo que foi criado.

The screenshot shows a software window titled "Copiar energia processo 'Electricity mix/PT U_MP'". It has tabs for "Documentação", "Entradas/Saídas", "Parâmetros", and "Descrição do sistema".

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos e co-produtos

Nome	Quantidade	Unidade	Grandeza	Imputação % Cat
Electricity mix/PT U_MP	1	kWh	Energy	100 %
(Insira linha aqui)				

Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Produtos evitados

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 ou 2*SC Mir
(Insira linha aqui)				

Entradas

Entradas conhecidas da natureza (recursos)

Nome	Sub-compartimento	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 ou 2*SC Mir
(Insira linha aqui)					

Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD^2 ou 2*SC Mir
Electricity, hard coal, at power plant/PT U	0.2184	kWh	Sessão normal	1.05
Electricity, natural gas, at power plant/UCTE U	0.1636	kWh	Sessão normal	1.0511
Electricity, hydropower, at power plant/PT U	0.1706	kWh	Sessão normal	1.05
Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/PT U	0.0168	kWh	Sessão normal	1.05
Electricity, production mix fotovoltaic, at plant/PT U	0.0064	kWh	Sessão normal	1.05
Electricity, at wind power plant/RER U	0.1952	kWh	Sessão normal	1.208
Electricity, at cogen ORC 1400kWh, wood, allocation exergy/CH U	0.0307	kWh	Sessão normal	1.208
Electricity, at cogen with biogas engine, allocation exergy/CH U	0.0883	kWh	Sessão normal	1.208
Electricity, production mix ES/ES U	0.1101	kWh	Sessão normal	1.05

Figura 4.2: Processo representativo da estrutura de produção elétrica nacional

No estudo de ACV elaborado neste trabalho foi considerado um tempo de vida expectável do sistema *ETICS* de 40 anos. Tendo em conta a variação ao longo do tempo da estrutura de produção elétrica nacional bem como das tecnologias que surgem, o *mix* energético considerado é extremamente incerto para a totalidade do ciclo de vida do sistema *ETICS*.

A falta de informação relativa à constituição dos componentes dos sistemas *ETICS* que se verificam, sobretudo, na argamassa utilizada no produto de colagem e na camada de base, e nas tintas utilizadas no primário de regularização de fundo e no acabamento, levou a algumas aproximações que estão descritas na fase de Inventário de Ciclo de Vida,

4.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA – ICV

4.3.1 Generalidades

Na fase de Inventário do Ciclo de Vida foi feita a recolha da informação disponível sobre os fluxos de referência de materiais e de energia utilizados nas diferentes fases de ciclo de vida para os dois sistemas de *ETICS* (sistema A e sistema B).

A recolha de informação foi realizada de acordo com a estratégia referida na secção 4.2.5.

Os sistemas *ETICS* são constituídos pelo suporte, sobre o qual são aplicadas as placas de material isolante (EPS ou ICB), sendo as mesmas fixas através de uma argamassa pronta que constitui o produto de colagem. Após uma fixação através do produto de colagem, são aplicadas cavilhas de fixação mecânica sobre o material isolante, formando assim uma solução mista de fixação, ou seja, colagem e fixação mecânica. Posteriormente, é aplicada uma argamassa igual à argamassa utilizada no produto de colagem, que constitui a camada de base. Esta camada de base é aplicada em duas fases para que se possa incorporar uma rede de fibra de vidro entre a mesma. Por último, sobre a camada de base são aplicados as tintas que formam o primário de regularização de fundo e o acabamento.

Na Tabela 4.2 são apresentadas as quantidades de recursos consumidos na execução de 1 m² dos sistemas *ETICS* A e B, os quais são justificados nas seguintes secções.

Tabela 4.2: Quantidades de cada componente do sistema A e B para 1m² de sistema ETICS

	R (m ² .K/W)	λ (W/m.K)	e (m)	A (m ²)	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	m (kg)	
Sistema A	Produto de Colagem		0,0028	1,000	0,0028	1291,667	3,600	
	- Argamassa Seca					1350,000	3,000	
	- Água					1000,000	0,600	
	Isolante Térmico - EPS	1,000	0,036	0,040	1,000	0,04	21,000	0,84
	Camada de Base			0,0044	1,000	0,0044	1291,667	5,700
	- Argamassa Seca					1350,000	4,750	
	- Água					1000,000	0,950	
	Rede de Fibra de Vidro				1,000			0,330
	Cavilhas de fixação				1,000			0,06
	Primário de Regularização			0,00014	1,000	0,00014	1400,000	0,200
	Acabamento			0,00097	1,000	0,00097	1800,000	1,750
	Sistema B	Produto de Colagem		0,0028	1,000	0,0028	1291,667	3,600
- Argamassa Seca						1350,000	3,000	
- Água						1000,000	0,600	
Isolante Térmico - ICB		1,000	0,040	0,040	1,00	0,04	100,00	4,00
Camada de Base				0,0044	1,000	0,0044	1291,667	5,700
- Argamassa Seca						1350,000	4,750	
- Água						1000,000	0,950	
Rede de Fibra de Vidro					1,000			0,330
Cavilhas de fixação					1,000			0,06
Primário de Regularização				0,00014	1,000	0,00014	1400,000	0,200
Acabamento				0,00097	1,000	0,00097	1800,000	1,750

4.3.2 Produto de colagem

a) Fabrico

Segundo o DH do LNEC dos sistemas ETICS A e B, o produto de colagem é descrito como uma argamassa seca, que contém ligantes mistos, agregados siliciosos, adjuvantes e fibras, dispendo de marcação CE. Este produto de colagem é exatamente igual à argamassa que constitui a camada de base. Visto que o mesmo documento não quantifica a constituição da argamassa, neste estudo considera-se uma argamassa com base em cimento ao traço 1:5 em massa, desprezando-se os outros ligantes que existam na mesma, bem como os adjuvantes e fibras. Foi admitida esta hipótese em virtude da falta de informação relativa à constituição e quantificação dos materiais que constituem a argamassa do produto de colagem.

Para o fabrico da referida argamassa foi utilizado o processo *cement mortar, at plant/CH U* da base de dados do *SimaPro*®. Este processo inclui todo o processo de fabrico da argamassa de cimento (fornecimento das matérias-primas até à unidade fabril, mistura das matérias-primas, embalagem e armazenamento), transporte das matérias-primas até à unidade fabril e infraestrutura.

Segundo o DH, existe um consumo de 3 kg/m² desta argamassa para a colagem do isolante térmico. Sendo a unidade funcional definida para 1 m² de sistema *ETICS*, obtém-se uma quantidade de **3 kg** de produto de colagem.

b) Transporte

Em termos do produto de colagem foi considerada uma distância de 112 km (78,2 km da empresa produtora da argamassa até à empresa detentora dos sistemas *ETICS* e 33,8 km da empresa detentora dos sistemas até ao local de aplicação do sistema). Visto que para a unidade funcional adotada é necessário transportar 3 kg de argamassa pronta, então, para uma distância de 112 km, temos uma quantidade de **0,336 t.km** [(3 kg/1000 kg) x 112 km)].

c) Aplicação

Na fase de aplicação dos sistemas *ETICS* existe o consumo de água e de energia utilizada na betoneira para a mistura do mesmo produto de colagem.

A argamassa de colagem, obtida por amassadura do produto pronto (embalagem de 25 kg) com 5 litros de água. Como foi referido, Segundo o DH do sistema A e do sistema B, para 1 m² de sistema *ETICS* são necessários 3 kg de argamassa pronta. Se na amassadura de 25 kg deste produto são necessários 5 litros de água, então, para 3 kg são necessários 0,6 litros de água, ou seja, **0,6 kg**. Para modelar o consumo de água utilizou-se o processo *Tap water, at user/RER U* da base de dados do *SimaPro*®. Este processo inclui a infra-estrutura e energia utilizadas no tratamento da água bem como o transporte da mesma para o utilizador final.

Relativamente ao consumo da energia, utilizou-se uma betoneira com 265 litros de capacidade e com uma potência elétrica instalada de 1,5 kW (2AB, 2006). Em cada amassadura é utilizado um saco de argamassa pronta, que contém 25 kg de argamassa, e 5L de água. Considerando um tempo médio de amassadura de 5 minutos (0,0833 horas), então a energia consumida é a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Energia (kW.h)} &= \Delta t \text{ (h)} \times \text{potência (kW)} \times \text{fator de carga (\%)} = \\ &= 0,0833 \times 1,5 \times 80\% \approx 0,1 \text{ kW.h} \end{aligned}$$

Para a aplicação de 1 m² de sistema *ETICS* (unidade funcional) são consumidos 3 kg de argamassa pronta na execução do produto de colagem para os quais se estima um consumo de energia de **0,012 kWh** de energia.

d) Manutenção

Na fase de manutenção do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos ao produto de colagem.

e) Tratamento de fim de vida

Apesar de existirem possibilidades de reutilização destes resíduos, foi considerado que a totalidade do produto de colagem é colocada em aterro, à semelhança da ACV aplicada a argamassas elaborado por uma empresa produtora (Baldi, et al., 2011). Sendo assim, foi utilizado o processo *Disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/CH U* da base de dados do *SimaPro*®. Este processo inclui a energia para o desmantelamento, as emissões de partículas de desmontagem e manuseio, transporte para instalações de desmantelamento e deposição final dos resíduos.

4.3.3 Isolante térmico do sistema A – EPS

a) Fabrico

A partir dos dados disponíveis no DH do sistema A (nomeadamente de condutibilidade térmica – $\lambda = 0,036 \text{ W/(m.K)}$ e a massa volúmica – $\rho = 21 \text{ kg/m}^3$) foi calculada a espessura do isolante térmico que permite obter uma resistência térmica do mesmo de 1 m².K/W, tal como tal como definido na unidade funcional (secção 4.2.2). Sendo a resistência térmica calculada pelo quociente entre a espessura do isolante (e) e a respetiva condutibilidade térmica (λ), resulta uma espessura de isolante térmico de 0,036 m (36 mm). Não sendo esta uma espessura comercializada para placas de EPS, adotou-se uma espessura de isolante térmico de 40 mm. Sabendo a espessura da placa (0,04 m) e a área de aplicação definida pela unidade funcional (1 m²), obtém-se um volume de 0,04 m³ para 1 m² de fachada. Visto que as placas de EPS são fornecidas com as dimensões *standard* de (1,0 x 0,5) m, serão necessárias 2

placas de isolante térmico para revestir 1 m² de fachada. Sendo a massa volúmica (ρ) de 21 kg/m³, significa que, para 0,04 m³, tem-se **0,84 kg** de EPS.

Para simular o fabrico do EPS recorreu-se ao processo *polystyrene foam slab, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®. Este processo inclui a produção do areão de poliestireno expansível, o seu transporte até à indústria de expansão, o processo de expansão do poliestireno expansível (PS) e o processo de termo moldagem do EPS.

b) Transporte

Relativamente ao transporte do EPS admitiu-se uma distância de 375,6 km (251 km de transporte das matérias-primas até à indústria produtora do poliestireno expansível, 90,8 km da mesma indústria até à indústria que faz a expansão do poliestireno expansível e 33,8 km até ao local de aplicação do sistema), que, associada a um transporte de 0,84 kg de poliestireno expandido moldado, permite obter um valor de **0,316 t.km** ((0,84 kg/1000 kg) x 375,6 km).

c) Aplicação e Manutenção

Na fase de aplicação e manutenção do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos ao EPS.

d) Tratamento de fim de vida

Os tratamentos de fim de vida associados aos resíduos de poliestireno expandido, conforme já foi referido, incluem dois tipos. A reciclagem mecânica (98%) e a deposição em aterro (2%) para os resíduos contaminados. Visto que não existem processos na base de dados do *SimaPro*® para modelar o tratamento de fim de vida associado à reciclagem mecânica, considera-se apenas que 2% da quantidade total de poliestireno expandido moldado (0,84 kg) é depositada em aterro. Sendo assim, temos uma quantidade de EPS depositado em aterro de **0,0168 kg**. Recorre-se ao processo *disposal, polystyrene, 0,2% water, to sanitary landfill/CH U*.

4.3.4 Isolante térmico do sistema B – ICB

a) Fabrico

A partir dos dados disponíveis no DH do sistema B (nomeadamente a condutibilidade térmica (λ) = 0,040 W/(m.K) e a massa volúmica (ρ) = 100 kg/m³) foi calculada a espessura do isolante térmico que permite obter uma resistência térmica do mesmo de 1 m².K/W, tal como tal como definido na unidade funcional (secção 4.2.2). Sendo a resistência térmica calculada pelo quociente entre a espessura do isolante (e) e a respetiva condutibilidade térmica (λ), resulta uma espessura de isolante térmico de 0,04 m (40 mm). Sabendo a espessura da placa (0,04 m) e a área de aplicação definida pela unidade funcional (1 m²), obtém-se um volume de 0,04 m³ para 1 m² de fachada. Visto que as placas de ICB são fornecidas com as dimensões *standard* de (1,0 x 0,5) m, serão necessárias 2 placas de isolante térmico para revestir 1 m² de fachada. Sendo a massa volúmica (ρ) de 100 kg/m³, significa que, para 0,04 m³, tem-se **4,0 kg** de ICB.

Para simular o fabrico do ICB recorreu-se ao processo *cork slab, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®. Este processo inclui os processos associados à colheita manual de cortiça, o seu transporte para as indústrias aglomeradoras e o processo de aglomeração/expansão da cortiça granulada nas respetivas indústrias.

b) Transporte

Relativamente ao transporte foi considerada uma distância de 127 km (20 km do local de extração da cortiça (montado) até ao local de produção do ICB, 78,2 km desta unidade industrial até à localização do detentor do sistema e 33,8 km até ao local de aplicação do sistema) que, associado a um transporte de 4 kg de aglomerado de cortiça expandida, permite obter um valor de **0,508 t.km** ((4,0 kg/1000 kg) x 127 km).

c) Aplicação e Manutenção

Na fase de aplicação e manutenção do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos ao ICB.

d) Tratamento de fim de vida

Os tratamentos de fim de vida a que são sujeitos os resíduos de aglomerado de cortiça expandida, conforme já foi referido na secção 2.2.3.3, incluem três tipos: reciclagem mecânica, incineração (valorização energética) e deposição em aterro.

Segundo alguns operadores de resíduos 86% dos resíduos sofrem reciclagem mecânica, 9% são incinerados e os restantes 5%, resíduos contaminados, são depositados em aterro. Contudo, no *software* de ACV utilizado, não existem processos na bases de dados que permitam simular os tratamentos de fim de vida do ICB. Sendo assim, recorre-se a informação disponível num estudo de ACV para a rolha de cortiça natural, onde se consideram os tratamentos de fim de vida associados à deposição em aterro e à incineração (da Silva, 2009). Os tratamentos de fim de vida aplicados neste estudo ACV são explicados nos próximos parágrafos.

No que diz respeito à deposição em aterro considera-se que a mesma em realizada sem recolha de gases. As emissões gasosas resultantes da decomposição da rolha de cortiça são o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), provenientes, respetivamente, dos processos de degradação anaeróbia e aeróbia das rolhas. Relativamente aos resíduos sólidos, estes incluem parte das rolhas de cortiça que não sofrem decomposição. Os mecanismos de decomposição química da cortiça não são conhecidos, desconhecendo-se, portanto, a sua taxa de biodegradação, tanto na fase aeróbia como na fase anaeróbia, e as condições ótimas para a degradação da cortiça. No entanto, a análise química da cortiça demonstra que esta é composta por três constituintes principais, sendo os mesmos a suberina (45%), a lenhina (25%) e celulose (15%). Os restantes constituintes (15%) são taninos, ceras e minerais. Sendo assim, o comportamento da rolha de cortiça natural em aterro é fortemente influenciada por estes componentes (da Silva, 2009).

Segundo este estudo de ACV sobre a rolha de cortiça natural a suberina é o constituinte que apresenta maior resistência à degradação por parte dos microrganismos do solo. Em relação à lenhina alguns autores referem que a mesma não é metabolizada por bactérias anaeróbias e não se decompõe significativamente quando depositada em aterro, ou seja, a decomposição da lenhina é feita de forma lenta, sendo que quase não se decompõe. Segundo alguns autores, quando maior for a presença da lenhina, menor será a biodisponibilidade do substrato, ou seja, a

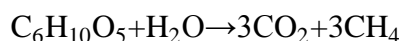
presença de lenhina está associada a reduzidos índices de biodegradabilidade, ajudando na proteção contra agentes patogénicos e pesticidas (da Silva, 2009).

Neste estudo ACV da rolha de cortiça recorreu-se a uma correlação matemática para a biodisponibilidade de substratos orgânicos em ambiente anaeróbio baseada no seu teor em lenhina (Chandler, et al., 1980), a qual se apresenta de seguida.

$$B = 0,83 - 0,028 \times X_1$$

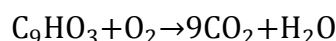
Em relação à celulose verifica-se que esta é a principal fonte de substrato presente na rolha, sendo que a degradação da rolha ocorre principalmente neste componente e na sua relação com a lenhina. Assim, neste estudo de ACV da rolha de cortiça, considera-se que a massa de cortiça disponível para biodegradação é de 15% (massa de celulose na cortiça). Se utilizarmos a equação acima referida, temos uma massa de rolha de cortiça que sofre decomposição em ambiente anaeróbio de 12,6% (da Silva, 2009).

Segundo este estudo, a estimativa das emissões gasosas resultantes da deposição de rolhas em aterro é dada pela reação da metanogénese da celulose ($C_6H_{10}O_5$), que se apresenta no próximo processo de transformação químico (da Silva, 2009):



Através da estequiometria da reação, considera-se que 12,6% do teor de celulose presente na rolha de cortiça se decompõe em CO_2 e CH_4 . Sendo assim, o balanço material determina que a deposição de 2 kg de rolhas de cortiça em aterro resulta em 0,031 kg de CO_2 , 0,0127 CH_4 e 1,98 kg de material sólido não decomposto. A restante massa de rolha seca não sofre qualquer alteração na deposição em aterro (da Silva, 2009).

Em relação ao processo de incineração, o qual se realiza sem recuperação energética, as emissões resultantes são o resultado na queima das rolhas presentes, sendo as cinzas de fundo depositadas em aterro. Neste processo considerou-se a completa oxidação da cortiça (C_9HO_3) nos elementos mais simples, ou seja, dióxido de carbono e água, como mostra o próximo processo de transformação químico (da Silva, 2009):



Considerou-se então que, para 1,5 kg de rolhas de cortiça incineradas, resultam 3,7813 kg de CO₂ e 0,0744 kg de cinzas de fundo que são depositadas em aterro.

Como foi referido anteriormente, para modelar os tratamentos de fim de vida deste material, considera-se que no final de vida do sistema *ETICS*, 9% do ICB é incinerado e 5% é depositada em aterro. Neste contexto, apresentam-se de seguida os resultados para a deposição em aterro, para a unidade funcional calculada (da Silva, 2009):

- Emissão de CO₂, em zona não residencial, resultante da deposição de cortiça em aterro: $(5\% \times 4 \text{ kg}) \times \left(\frac{0,031 \text{ kg}}{2 \text{ kg}}\right) = \mathbf{0,0031 \text{ kg}}$
- Emissão de CH₄, em zona não residencial, resultante da deposição de cortiça em aterro: $(5\% \times 4 \text{ kg}) \times \left(\frac{0,0127 \text{ kg}}{2 \text{ kg}}\right) = \mathbf{0,00127 \text{ kg}}$
- Resíduos de cortiça que não sofrem decomposição em aterro: $(5\% \times 4 \text{ kg}) \times \left(\frac{1,98 \text{ kg}}{2 \text{ kg}}\right) = \mathbf{0,198 \text{ Kg}}$

Para o caso da incineração (da Silva, 2009):

- Emissão de CO₂, em zona não residencial, resultante da incineração da cortiça: $(9\% \times 4 \text{ kg}) \times \left(\frac{3,7813 \text{ kg}}{1,5 \text{ kg}}\right) = \mathbf{0,908 \text{ Kg}}$
- Cinzas de fundo depositadas em aterro: $(9\% \times 4 \text{ kg}) \times \left(\frac{0,0744 \text{ kg}}{1,5 \text{ Kg}}\right) = \mathbf{0,0179 \text{ Kg}}$

4.3.5 Cavilhas de fixação mecânica

a) Fabrico

Segundo o DH dos sistemas, o número de mínimo de cavilhas é de 6 cavilhas/m². Neste caso específico as cavilhas de fixação mecânica são constituídas por polipropileno copolímero e apresentam uma massa de 0,01 kg/unidade. Para unidade funcional de 1 m² de *ETICS* obtém-se uma quantidade de cavilhas para fixação mecânica de **0,06 kg**.

Relativamente ao material constituinte das cavilhas de fixação, o polipropileno (PP), sendo um polímero derivado do propileno, é um tipo de plástico que pode ser

moldado recorrendo apenas a aquecimento, ou seja, é um termoplástico. Por outro lado, apesar de possuir propriedades muito semelhantes ao polietileno (PE), apresenta um ponto de amolecimento mais elevado (Pousa, 2008).

Estas cavilhas de fixação mecânica são executadas recorrendo a moldes de injeção de plástico, que permitem obter diversos produtos de diferentes formas. Estes moldes são, em geral, constituídos por duas meias matrizes, cavidade e bucha, que constituem a parte fêmea e macho respetivamente. Quando juntas, a cavidade e a bucha, formam no seu interior a geometria da peça que se pretende fabricar (Pousa, 2008).

Para simular o fabrico das cavilhas de fixação mecânica recorre-se ao processo *Polypropylene injection moulding E* da base de dados do *SimaPro*®. Esta base de dados inclui a processo de injeção do polipropileno, a produção de resina de PP, o transporte da resina de PP para a indústria transformadora, o processo de transformação e a embalagem do produto executado.

b) Transporte

Admitiu-se uma distância de 687,8 km (399 km de transporte das matérias-primas até à indústria produtora das cavilhas de fixação mecânica, 255 km da mesma indústria até à localização do detentor do sistema e 33,8 km até ao local de aplicação do sistema), que, associada a um transporte de 0,06 kg de cavilhas de fixação mecânica, permite obter um valor de **0,0413 t.km** ((0,06 kg/1000 kg) x 687,8 km).

c) Aplicação e Manutenção

Na fase de aplicação e manutenção do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos às cavilhas de fixação mecânica.

d) Tratamento de fim de vida

Relativamente aos tratamentos de fim de vida, apesar de existirem processos de reciclagem que consistem em moagem, derretimento, corte e granulação de resíduos plásticos, foram consideradas apenas a deposição em aterro e a incineração em virtude da ausência de processos na base de dados para a reciclagem.

A reciclagem deste componente ainda é uma opção pouco válida, devido à combinação de vários fatores. As matérias-primas de baixo custo, o alto custo da

reciclagem, o baixo custo atual de dispor resíduos em aterro e o baixo valor de energia obtido pela incineração fazem com que a reciclagem e reutilização dos polímeros sejam pouco praticadas (Strapasson, 2004).

Neste sentido, no presente estudo de ACV, considera-se que 50% dos resíduos vão para incineração e 50% são depositados em aterro. Para a operação de incineração, foi considerado processo *Disposal, polypropylene, 15.9% water, to municipal incineration/CH U* e para o caso da deposição em aterro o *Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill/CH U*, ambos da base de dados do *SimaPro*®.

4.3.6 Camada de base

a) Fabrico

A camada de base, obtida por amassadura do produto pronto (embalagem de 25 kg) com 5 litros de água é exatamente a mesma que é utilizada no produto de colagem. Segundo o especificado no DH, esta argamassa tem um consumo de 4,75 kg/m² de sistema *ETICS*. Sendo a unidade funcional definida para 1 m² de *ETICS*, é necessária uma quantidade de argamassa de **4,75 kg** e 0,95 litros de água (**0,95 kg** de água), para a formar a camada base.

Tal como no produto de colagem, para o fabrico da referida argamassa foi utilizado o processo *cement mortar, at plant/CH U* da base de dados do *SimaPro*®.

b) Transporte

Em termos da argamassa foi considerado uma distância de 112 km (78,2 km da empresa produtora da argamassa até à empresa detentora dos sistemas e 33,8 km da empresa detentora dos sistemas até ao local de aplicação do sistema). Visto que para a unidade funcional adotada é necessário transportar 4,75 kg de argamassa pronta numa distância de 112 km, então temos uma quantidade de **0,532 t.km** [(4,75 kg/1000 kg) x 112 km)].

c) Aplicação

Na fase de aplicação dos sistemas *ETICS* foram inventariados a água utilizada e a energia consumida por uma betoneira para a mistura do mesmo produto de colagem. No caso da água, para a unidade funcional definida, consumiram-se **0,95 kg** na produção do produto de colagem. Tal como na fase de aplicação do produto de

colagem, utilizou-se o processo *Tap water, at user/RER U* da base de dados do *SimaPro*®.

Relativamente ao consumo da betoneira utilizou-se uma betoneira com 265 litros de capacidade e com uma potência elétrica instalada de 1,5 kW (2AB, 2006). Em cada amassadura é utilizado um saco de argamassa pronta que contém 25 kg de argamassa e 5L de água. Se for considerado um tempo médio de amassadura de 5 minutos (0,0833 horas), então a energia consumida é a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Energia (kW.h)} &= \Delta t \text{ (h)} \times \text{potência(kW)} \times \text{fator de carga (\%)} = \\ &= 0,0833 \times 1,5 \times 80\% \approx 0,1 \text{ kW.h} \end{aligned}$$

Para aplicação de 1 m² de sistema *ETICS* (unidade funcional) são consumidos 4,75 kg de argamassa pronta na execução do produto de colagem para os quais são gastos **0,019 kW.h** de energia.

d) Manutenção

Na fase de manutenção do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos ao produto de colagem.

e) Tratamento de fim de vida

Relativamente aos tratamentos de fim de vida, são adotados para a camada base tratamentos de fim de vida que foram adotados para o produto de colagem.

4.3.7 Rede de fibra de vidro

a) Fabrico

A rede de fibra de vidro utilizada nos sistemas em estudo é constituída por fibra de vidro tecida segundo o processo designado por “meia-volta” ou “gaze de volta”, ou seja, entrelaçamento dos fios da teia e da trama seguido de torção. Esta rede contém ainda uma proteção contra ataques dos álcalis através de uma endução de resina. É também de referir que a rede de reforço utilizada neste estudo possui um DH específico elaborado pelo LNEC. De acordo com o DH dos sistemas *ETICS*, a rede de fibra de vidro apresenta um consumo de 330 g/m². Tendo em conta a unidade funcional de 1 m² de *ETICS*, obtém-se uma quantidade rede de fibra de vidro de **0,33 kg**.

Para a realização do estudo de ACV considera-se uma rede unicamente constituída por fibra de vidro, não se contabilizando a resina de proteção contra ataques de álcalis. Foi admitida esta hipótese em virtude da falta de informação relativamente à constituição e quantificação dos materiais que constituem a rede de reforço.

Para modelar o fabrico da rede de fibra de vidro, recorreu-se ao processo *glass fibre, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®. Esta base de dados inclui todo o processo de fabrico dos tubos de fibra de vidro, bem como os seus tratamentos de fim de vida.

b) Transporte

Em termos do seu transporte foi considerada uma distância de 305,8 km (272 km da empresa produtora da rede de fibra de vidro até à empresa detentora dos sistemas e 33,8 km da empresa detentora dos sistemas até ao local de aplicação do sistema). Visto que para a unidade funcional adotada é necessário transportar 0,33 kg de argamassa pronta numa distância de 305,8 km, então temos uma quantidade de **0,101 t.km**.

c) Aplicação e Manutenção

Na fase de aplicação e manutenção do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos ao EPS.

d) Tratamentos de fim de vida

Visto que a rede de fibra de vidro se encontra incorporada na camada de base, adotam-se os tratamentos de fim de vida utilizados para a camada de base, ou seja, deposição em aterro da totalidade da rede de fibra de vidro. Como não existem processos na base de dados que permitam modelar a deposição em aterro da rede de fibra de vidro, adotou-se a processo para deposição em aterro de vidro. Sendo assim, a base a utilizar será a *Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill/CH U*.

4.3.8 Primário de regularização de fundo

a) Fabrico

O primário de regularização de fundo utilizado no sistema em estudo é descrito como uma dispersão 100% acrílica, pigmentos e cargas. Para a elaboração da ACV deste produto considera-se uma tinta acrílica aquosa. Foi admitida esta hipótese em virtude

da falta de informação relativamente à constituição e quantificação dos materiais que constituem estas tintas.

De acordo com o DH dos sistemas, o primário de regularização de fundo apresenta um consumo de $0,20 \text{ kg/m}^2$. Para a unidade funcional de 1 m^2 de *ETICS*, tem-se uma quantidade de primário de regularização de fundo de **0,20 kg**.

Para simular o processo de fabricos desta tinta recorre-se ao processo *Alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®. Este processo inclui o transporte das matérias-primas e todas as etapas de produção da tinta, bem como os seus tratamentos de fim de vida que inclui a incineração de restos de tinta.

b) Transporte

Foi considerada uma distância de 33,8 km deste a empresa detentora do sistema *ETICS* e produtora deste componente específico até ao local de aplicação. Visto que para a unidade funcional adotada é necessário transportar 0,20 kg de primário de regularização de fundo numa distância de 33,8 km, então temos uma quantidade de **0,00676 t.km** [$(0,20 \text{ kg}/1000 \text{ kg}) \times 33,8 \text{ km}$].

c) Aplicação

Na fase de aplicação do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos ao primário de regularização de fundo.

d) Manutenção

Relativamente à manutenção através de pintura, foi considerada a aplicação de um primário de regularização de fundo de 10 em 10 anos na superfície do sistema. Sendo o tempo de vida expectável de uma solução de *ETICS* de 40 anos (Lopes, 2005), então, na fase de manutenção são necessárias três aplicações de primário de regularização de fundo. A sua quantidade foi calculada conforme a unidade funcional. Neste sentido, para 1 m^2 de sistema *ETICS*, é aplicado de **0,60 kg** (3 aplicações $\times 0,20 \text{ kg/m}^2$), sendo utilizado o processo *Alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®.

e) Tratamento de fim de vida

Sempre que a tinta aplicada for aquosa, vai para o destino adequado ao tipo de material em que está aplicado, juntamente com esse material. No caso do sistema

ETICS, o primário de regularização de fundo é aplicado na camada de base. Sendo assim, considera-se que o tratamento de fim de vida do primário de regularização de fundo e do acabamento é igual à camada de base, que por sua vez é igual ao tratamento de fim de vida do produto de colagem, ou seja, estes produtos são colocados em aterro. Para simular o tratamento de fim de vida da tinta recorre-se ao processo *disposal, paint, 0% water, to inert material landfill/CH U* da base de dados do *SimaPro*®.

4.3.9 Acabamento

a) Fabrico

O acabamento por pintura utilizado nos sistemas em estudo é constituído por uma tinta com base em copolímeros acrílicos, pigmentos e cargas seleccionadas.

Para elaboração do estudo de ACV, tanto o primário de regularização de fundo como o acabamento através de revestimento por pintura são considerados idênticos em termos de constituição. Sendo assim, admite-se que estes dois componentes do sistema são unicamente constituídos por tinta acrílica aquosa.

Segundo o DH dos sistemas *ETICS*, o acabamento apresenta um consumo de 1,75 kg/m². Para a unidade funcional de 1 m² de *ETICS*, tem-se uma quantidade de acabamento de **1,75 kg**.

Para simular o processo de fabrico desta tinta, tal como no primário de regularização de fundo, recorre-se ao processo *Alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®.

b) Transporte

Foi considerada uma distância de 33,8 km deste a empresa detentora do sistema *ETICS* e produtora deste componente específico até ao local de aplicação. Visto que para a unidade funcional adotada é necessário transportar 1,75 kg de acabamento numa distância de 33,8 km, então temos uma quantidade de **0,05915 t.km** [(1,75 kg/1000 kg) x 33,8 km)].

c) Aplicação

Na fase de aplicação do sistema *ETICS* não são contemplados quaisquer *inputs* relativos ao acabamento.

d) Manutenção

Relativamente à manutenção através de pintura, foi considerada a aplicação de um novo acabamento de 10 em 10 anos na superfície do sistema. Sendo o tempo de vida expectável de uma solução de *ETICS* de 40 anos (Lopes, 2005), então, na fase de manutenção são necessárias três aplicações de tinta de acabamento. A quantidade de tinta de acabamento foi calculada conforme a unidade funcional. Neste sentido, para 1 m² de sistema *ETICS*, é aplicado de **5,25 kg** (3 aplicações x 1,75 kg/m²), sendo que foi utilizado o processo *Alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®.

e) Tratamento de fim de vida

Os tratamentos de fim de vida a adotar para o acabamento são iguais aos tratamentos de fim de vida do primário de regularização.

4.3.10 Manutenção dos sistemas ETICS

A manutenção a considerar nos sistemas *ETICS* engloba operações gerais de manutenção e limpeza através de jato de água, descritas na secção 2.6.

As operações gerais de manutenção consistem na aplicação de primário de regularização e tinta de acabamento de 10 em 10 anos, até ao fim de vida de um sistema *ETICS*. Estas aplicações já foram inventariadas nas secções 4.3.8 e 4.3.9.

Para a limpeza através de jato de água, recorreu-se a um equipamento com uma potência elétrica instalada de 1,7 kW, o qual debita um caudal de 440 l/h. Devendo esta operação ser realizada com água limpa e com baixa pressão, estima-se que a mesma seja concluída, para a unidade funcional definida (1 m²), em cerca de 5 segundos ($\approx 0,0014$ horas). Neste sentido, o consumo energético para 1 m² de sistema *ETICS* é o seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Energia (kW.h)} &= \Delta t \text{ (h)} \times \text{potência (kW)} \times \text{fator de carga (\%)} \times 3 \text{ limpezas} = \\ &= 0,0014 \times 1,7 \times 80\% \times 3 \approx \mathbf{0,0057} \text{ kW.h} \end{aligned}$$

O consumo de água da operação de limpeza é dependente do caudal debitado pelo jato de água sob pressão, que é de 440 L/h (LeroyMerlin, 2013). Neste sentido, para 5 segundos, o consumo de água é de 0,611 litros, o que equivale a **0,611 kg** de água. Como se fazem 3 limpezas durante o ciclo de vida de um sistema *ETICS*, então temos um consumo de **1,833 kg** de água. Utilizou-se o processo *Tap water, at user/RER U* da base de dados do *SimaPro*®, o mesmo que inclui a infraestrutura e energia utilizadas no tratamento da água e o transporte da mesma para o utilizador final.

4.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA (AICV)

4.4.1 Generalidades

A Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV) comporta as etapas de Classificação, Caracterização e Normalização, descritas nas seguintes secções. Os resultados da AICV provenientes do *software SimaPro*® são apresentados na secção 4.5, que diz respeito à fase de Interpretação da metodologia de ACV.

4.4.2 Imputação dos resultados do ICV (Classificação)

Nesta etapa os resultados do ICV são combinados com as categorias de impacte seleccionadas e que estão descritas na secção 4.2.4. O *software SimaPro*® realiza este processo de uma forma automática.

4.4.3 Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (Caracterização)

Nesta etapa são calculadas as dimensões dos impactes por categoria. Visto que os resultados do ICV já foram combinados com as categorias de impacte seleccionadas (classificação), são agora quantificados com base numa unidade comum atribuída à respetiva categoria, permitindo apresentar os resultados num valor único. Esta unidade comum é designada de fator de caracterização. Em termos práticos, os resultados do impacte de uma dada categoria de impacte são calculados através da multiplicação da carga ambiental pelo respetivo fator de caracterização. Os resultados destas multiplicações são somados, dando origem ao resultado do impacte para cada categoria de impacte ambiental. Os resultados da etapa de caracterização para os dois sistemas *ETICS* são apresentados na secção 4.5.3.

4.4.4 Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria em relação à informação de referência (Normalização)

Na etapa de Normalização, os indicadores das categorias de impacto são normalizados e representados num único referencial. Por exemplo, se um sistema *ETICS* apresentar melhor desempenho face à categoria diminuição da camada de ozono e o outro sistema *ETICS* na categoria aquecimento global, será necessários dispor de impactes normalizados para aferir qual a solução que minimiza os impactes ambientais. Estes resultados são obtidos através da divisão dos resultados de impacto ambiental da etapa de Caracterização (etapa anterior) pelo respetivo fator de normalização. Apesar de a metodologia de avaliação de impacto a que se recorre, *EPD (2008)*, não conter a etapa de Normalização, foi elaborada uma folha de cálculo através do *software* Microsoft® Excel onde estes resultados são apresentados (Tabela 4.10). Nesta etapa de Normalização é usual adotar como perfil de referência o impacto ambiental médio de um cidadão durante um ano. Na Tabela 4.3 são apresentados fatores de normalização para as diferentes categorias de impacto ambiental adotadas, com base num perfil de referência de um cidadão (Huijbregts, et al., 2003), (Pinto, 2008).

Tabela 4.3: Fatores de Normalização (Pinto, 2008)

Categoria de Impacte	Unidade	Normalização Europa 1995	Normalização Cidadão UK
Aquecimento global	kg CO ₂ eq/p/ano	14600	12270
Diminuição da camada de zono	kg CFC-11 eq/p/ano	0,256	0,29
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq/p/ano	25,4	32,23
Acidificação	kg SO ₂ eq/p/ano	84,2	58,88
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq/p/ano	38,4	8,006
Energia primária	MJ eq/p/ano	153552,9	171125,6

Na presente dissertação foram considerados os fatores de normalização de Howard, 1999 (Pinto, 2008), que têm por base o impacto ambiental médio de um cidadão UK, que é bastante próximo de um cidadão médio europeu, como se viu na Tabela 4.3.

4.5 INTERPRETAÇÃO

4.5.1 Generalidades

Na fase de Interpretação, como foi referido na secção 3.2.5, são analisados os resultados obtidos para o sistema A e para o sistema B na etapa de caracterização e normalização da metodologia de avaliação de impacte considerada, ou seja, a metodologia *EPD (2008)*.

4.5.2 Análise da contribuição dos isolantes para o impacte ambiental do sistema A e sistema B.

A diferença entre o sistema A e o sistema B reside nos isolantes térmicos utilizados. Enquanto o sistema A utiliza isolante térmico em EPS, o sistema B utiliza isolante térmico em ICB. Desta forma, as diferenças entre os impactes ambientais provocados por ambos os sistemas estão associadas aos processos que dizem respeito a este componente do sistema, na sua fase de fabrico, transporte e tratamento de fim de vida. Neste seguimento, apresenta-se na Figura 4.3 a comparação entre as contribuições para as várias categorias de impacte ambiental dos dois materiais isolantes, em termos percentuais, na fase de Caracterização.

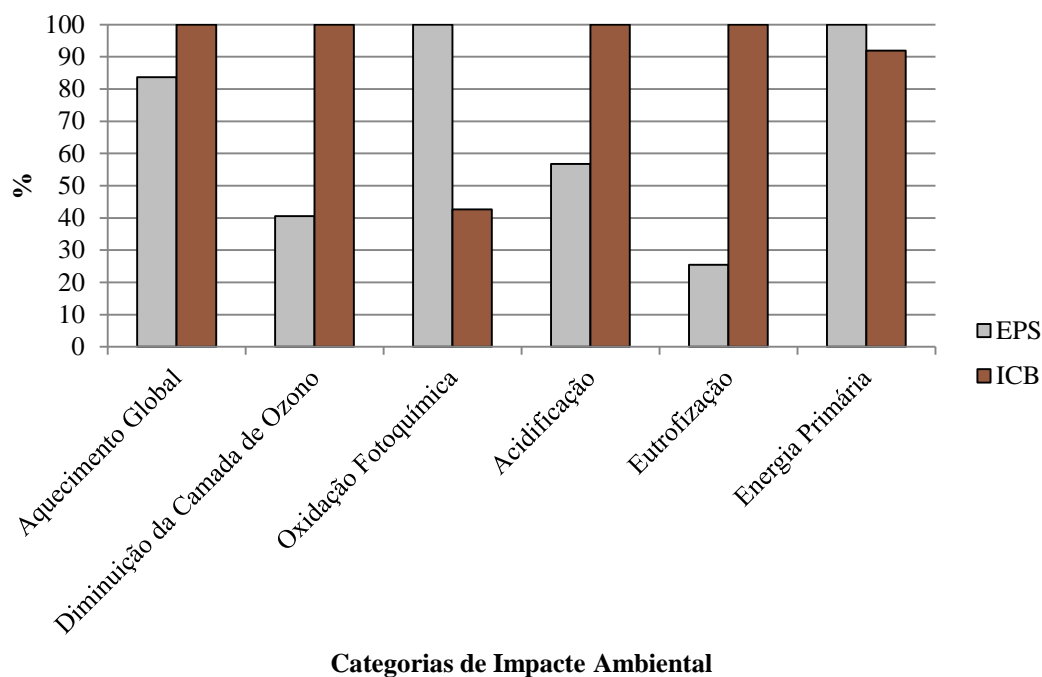


Figura 4.3: Comparação entre as contribuições do EPS e do ICB para o impacte ambiental, na fase de Caracterização

De forma a quantificar a contribuição do EPS e do ICB, a Tabela 4.4 apresenta os valores absolutos de cada um dos materiais, associados à respetiva categoria de impacto ambiental.

Tabela 4.4: Valores absolutos do EPS e do ICB, na fase de Caracterização

Categoria de impacte	Unidade	EPS	ICB
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	3,505055	4,158784
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	2,11E-07	5,15E-07
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,010536	0,004454
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,011325	0,019849
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,001671	0,006526
Energia primária	MJ eq	86,58798	79,02744

Atendendo ao que é comercialmente transmitido em relação ao ICB, o qual é comercializado como sendo um produto “amigo da natureza”, “ecológico”, “com recurso a matérias-primas renováveis” e sendo fabricado através de um “processo industrial natural”, bem como ao estudo de Energia Incorporada elaborado para o sistema A e o sistema B na secção 2.7, seria expectável que os resultados transmitidos neste estudo fossem ambientalmente favoráveis ao ICB. No entanto, os resultados são mais favoráveis para o EPS.

Estes resultados, na verdade, têm três justificações plausíveis, estas que são a diferença entre a massa volúmica de cada um dos isolantes utilizados no sistema *ETICS*, a relação entre a massa de materiais isolantes a transportar e a distância em que é transportado e, por último, o recurso a três resinas sintéticas termoendurecíveis que são utilizadas no processo *Cork slab, at plant/RER U* da base de dados do SimaPro®.

Estas resinas sintéticas termoendurecíveis, como são exemplo as resinas fenólicas, são correntemente utilizadas em revestimentos de cortiça, no entanto, no caso das placas de cortiça para isolamento (ICB), estas resinas não são utilizadas. Como foi referido na secção 2.2.3.3, o processo de aglomeração dos grânulos da cortiça é

realizado através da exsudação das próprias resinas intersticiais da cortiça, através de um processo de insuflação de vapor de água. Sendo assim, é possível que os resultados menos favoráveis para ICB sejam devido à presença destas resinas no processo *Cork slab, at plant/RER U* da base de dados do *SimaPro*®.

Visto que o *software SimaPro*® permite a edição dos processos presentes na base de dados, faz-se de seguida uma análise comparativa entre o sistema A e o sistema B, retirando as resinas sintéticas utilizadas no processo *Cork slab, at plant/RER U*.

Neste seguimento, apresenta-se na Figura 4.4 a comparação entre as contribuições para as várias categorias de impacte ambiental dos dois materiais isolantes, em termos percentuais, na fase de Caracterização.

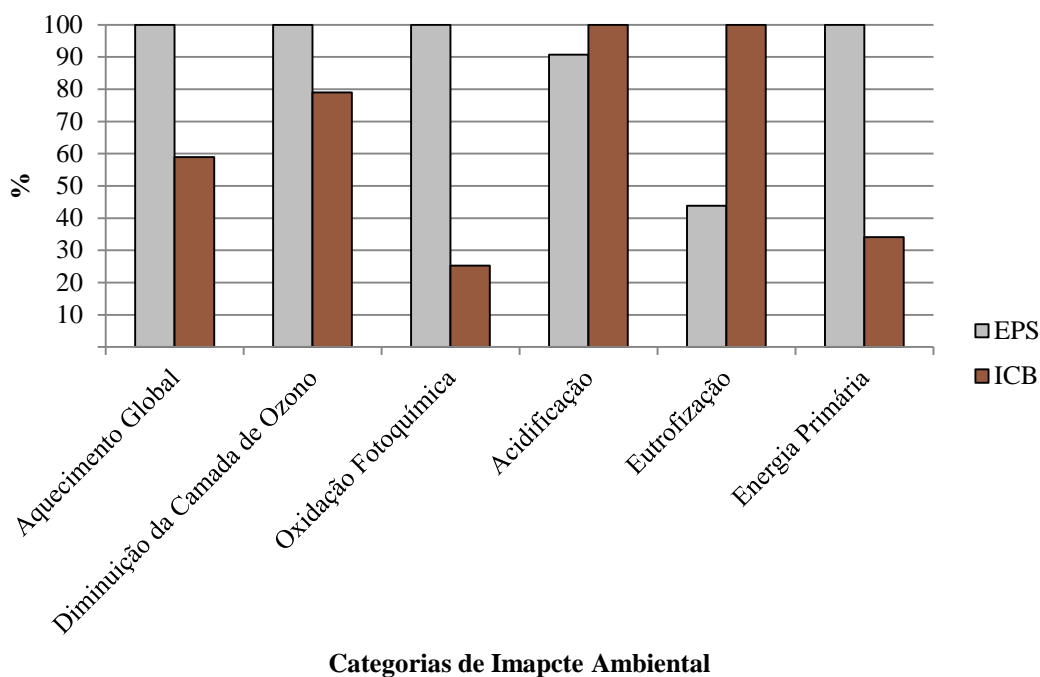


Figura 4.4: Comparação entre as contribuições do EPS e do ICB para o impacte ambiental, sem recurso a resinas sintéticas, na fase de Caracterização

De forma a quantificar a contribuição do EPS e do ICB, a Tabela 4.5 apresenta os valores absolutos de cada um dos materiais, associados à respetiva categoria de impacte ambiental.

Tabela 4.5: Valores absolutos do EPS e do ICB, na fase de Caracterização, sem recurso a resinas sintéticas, na fase de Caracterização

Categoria de impacte	Unidade	EPS	ICB
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	3,505055	2,065780
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	2,10E-07	1,66E-07
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,010536	0,002663
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,011325	0,012477
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,001671	0,003811
Energia primária	MJ eq	86,58798	29,49160

Na Tabela 4.6 são representados os processos maioritariamente responsáveis pelo impacte ambiental nas diferentes categorias de impacte, bem como a sua percentagem em termos de contribuição.

Tabela 4.6: Processos maioritariamente responsáveis pelo impacte ambiental do EPS e do ICB, para as diferentes categorias de impacte ambiental

Categoria de Impacte Ambiental	EPS	ICB
Aquecimento global	81,4% - <i>Polystyrene, expandable, at plant/RER U</i>	39,4% - <i>Hard coal, burned in power plant/PT U</i> 16,1% - <i>Natural as, burned in power plant/UCTE U</i>
Diminuição da camada de ozono	65,3% - <i>Polystyrene, expandable, at plant/RER U</i>	40,3% - <i>Transport, natural gas, pipeline, long distance/RER U</i>
Oxidação fotoquímica	48,3% - <i>Polystyrene, expandable, at plant/RER U</i> 47,2% - <i>Foaming, expanding/RER U</i>	45,4% - <i>Power sawing, without catalytic converter/RER U</i>
Acidificação	72,7% - <i>Polystyrene, expandable, at plant/RER U</i>	46,2% - <i>Hard Coal, burned in power plant/PT U</i>
Eutrofização	45,8% - <i>Polystyrene, expandable, at plant/RER U</i>	51,9% - <i>Disposal, spoil from coal mining, in surface landfill/GLO U</i>
Energia primária	89,8% - <i>Polystyrene, expandable, at plant/RER U</i>	14,3% - <i>Hard coal, at mine/RLA U</i>

A análise da Figura 4.4 e da Tabela 4.5 permite inferir os principais impactes ambientais dos sistemas isolantes térmicos utilizados no Sistema A e no Sistema B. O ICB contribui maioritariamente para duas categorias de impacte ambiental, sendo estas a acidificação e a eutrofização. Nas categorias de impacte aquecimento global,

diminuição da camada de ozono, oxidação fotoquímica e energia primária, o EPS têm uma maior contribuição.

No EPS, o processo de fabrico do poliestireno expansível (PS) (*Polystyrene, expandable, at plant/RER U*), é aquele que mais contribui para todas as categorias de impacte ambiental consideradas, tal como se pode ver na Tabela 4.6. No caso do ICB, para cada categoria de impacte ambiental, existe um processo maioritariamente contribuinte. No entanto, todos estes processos são associados ao fabrico do ICB, ou seja, são processos individuais que estão associados ao processo *Cork slab, at plant/RERU*.

Relativamente à etapa de Normalização, a mesma não consta na metodologia *EPD (2008)*. Neste sentido optou-se por calcular os resultados da etapa de Normalização com recurso à ferramenta de cálculo Microsoft® Excel. Os resultados da fase de caracterização anteriormente apresentados na Tabela 4.5 foram multiplicados pelos fatores de Normalização presentes na Tabela 4.3, sendo estes resultados apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Valores absolutos do EPS e do ICB, na fase de Normalização

Categoria de impacte	Unidade	EPS	ICB
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	0,000286	0,000168
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	7,02E-07	5,55E-07
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,000327	8,28E-05
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,000192	0,000212
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,000209	0,000476
Energia primária	MJ eq	0,000568	0,000193

Na Figura 4.5 são apresentados os resultados que permitem melhor comparar os resultados do impacte ambiental do EPS e do ICB na fase de Normalização.

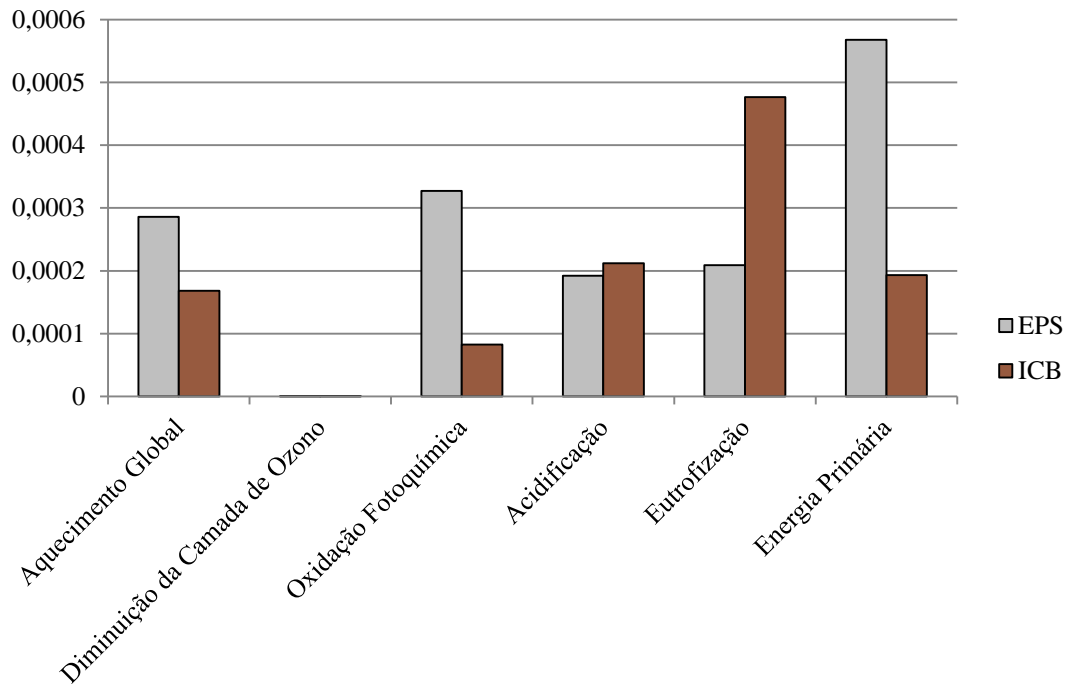


Figura 4.5: Comparação entre as contribuições do EPS e do ICB para o impacte ambiental, na fase de Normalização

Após a normalização dos resultados, percebe-se que existem resultados muito díspares entre cada categoria de impacte ambiental e entre cada material isolante. A categoria de impacte ambiental diminuição da camada de ozono apresenta resultados pouco preocupantes em relação às demais categorias, apresentando valores normalizados muito próximos do zero. Na categoria de impacte eutrofização, que diz respeito à poluição da água, o ICB apresenta resultados mais elevados que o EPS, sendo a sua contribuição para o impacte ambiental bastante elevado, quando comparado com as restantes categorias. O processo maioritariamente responsável pelo impacte ambiental do ICB na categoria eutrofização é o *Disposal, spoil from coal mining, in surface landfill/GLO U* que está associado ao armazenamento de carvão utilizado para produção de energia na central termoelétrica.

Por outro lado, a categoria de impacte energia primária, também apresenta contribuições para o impacte ambiental mais elevadas, principalmente através do EPS. O processo *Polystyrene, expandable, at plant/RER U* é maioritariamente responsável pelo impacte ambiental na categoria energia primária. Este processo está associado ao fabrico do poliestireno expansível.

4.5.3 Análise do impacte ambiental dos Sistemas A e B na fase de Caracterização

Após uma prévia análise dos materiais isolantes do sistema A e do sistema B, parte-se de seguida para uma análise de todos os componentes do sistema A e B, ou seja, uma análise de todo o sistema *ETICS*.

a) Sistema *ETICS* A

De seguida são apresentados os diagramas que representam a contribuição de cada processo unitário para cada categoria de impacte ambiental. Estes diagramas do *SimaPro*®, construídos individualmente para cada categoria de impacte ambiental, permitem verificar a contribuição de cada processo unitário de uma forma percentual ou quantitativa e conforme a espessura das setas que interligam os processos unitários. Uma maior espessura da seta significa uma maior contribuição do processo unitário para o impacte ambiental de uma categoria específica. O *software SimaPro*® elabora um diagrama por cada categoria de impacte ambiental.

A Figura 4.6 demonstra a rede associada ao sistema A para a categoria de impacte ambiental aquecimento global, em termos percentuais.

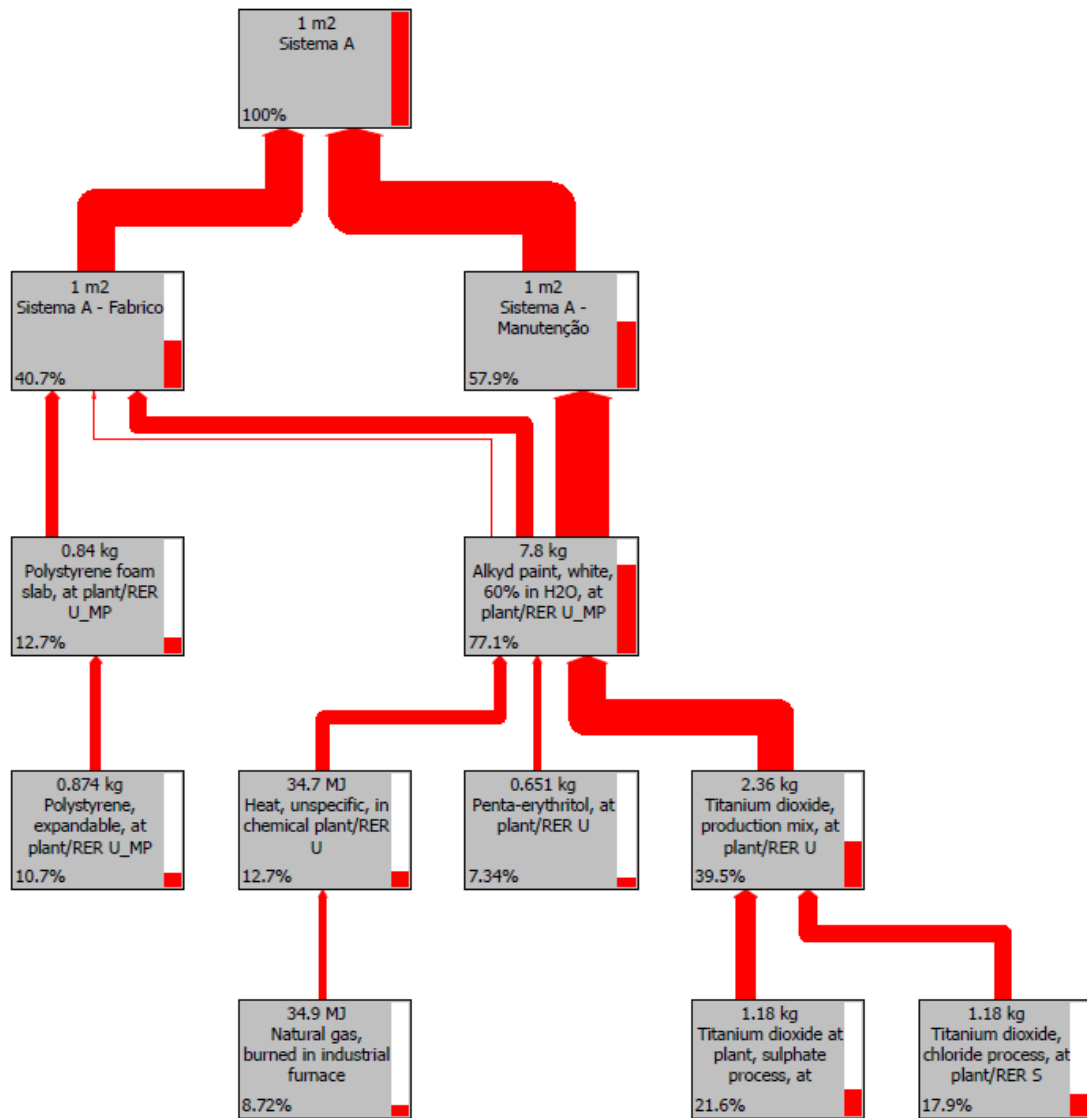


Figura 4.6: Representação esquemática da contribuição dos processos unitários do sistema A para a categoria de impacto ambiental aquecimento global. Apenas são visíveis 12 em 2022 (0.59%) processos que constituem o ciclo de vida do sistema A.

Em relação ao sistema A apenas são visíveis no diagrama da Figura 4.6 os processos associados à etapa de fabrico e manutenção do sistema A, respetivamente, com uma contribuição para a categoria aquecimento global de 40,7% e 57,9%. Significa assim que as etapas de fabrico e manutenção do sistema A são predominantes perante a fase de transporte, aplicação e tratamentos de fim de vida, pois estas últimas apenas contribuem com 1,4%. A predominância da fase de fabrico e manutenção do sistema A está sobretudo associada ao processo de fabrico do EPS e ao fabrico da tinta que constitui o primário de regularização de fundo e o acabamento dos sistemas *ETICS*.

Para além dos diagramas representados anteriormente, o *SimaPro*® permite ainda uma análise gráfica da contribuição de cada fase de ciclo de vida dos sistemas *ETICS*

para as diferentes categorias de impacto ambiental, bem como uma quantificação destas contribuições.

Na Figura 4.7, são apresentadas as contribuições das várias etapas do ciclo de vida do sistema A para cada categoria de impacto ambiental, em termos percentuais.

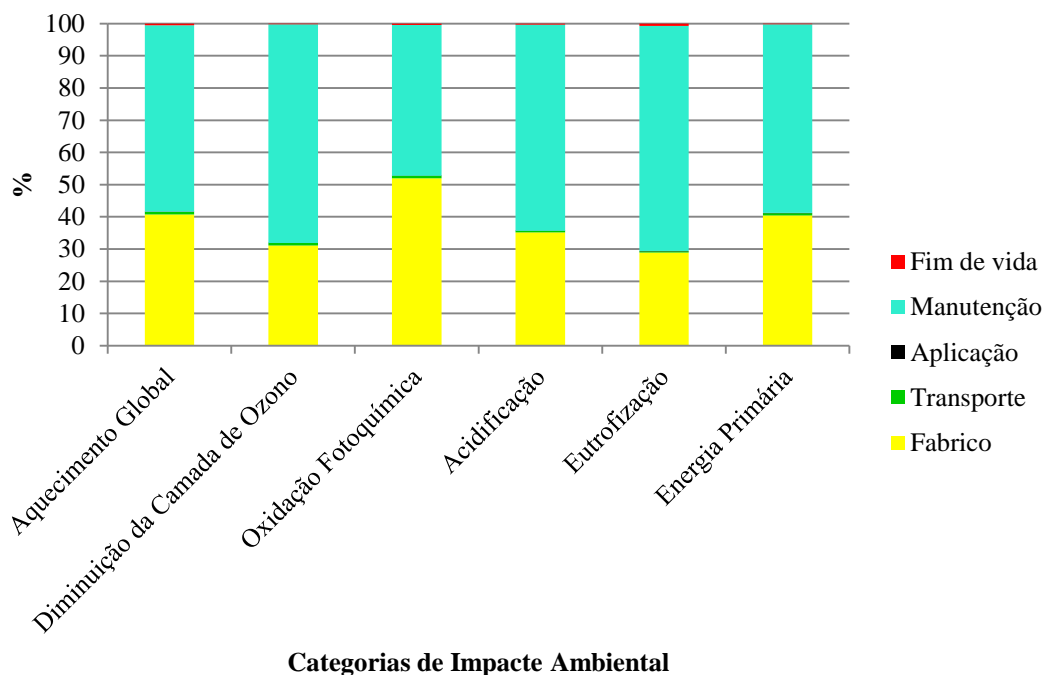


Figura 4.7: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema A para cada categoria de impacto ambiental, na fase de Caracterização

Na Tabela 4.8 são enunciados todos os resultados das contribuições de cada etapa do ciclo de vida do sistema A, para cada categoria de impacto ambiental. Por forma a complementar o gráfico anterior, esta tabela apresenta as contribuições de uma forma quantitativa.

Tabela 4.8: Valores absolutos obtidos para o sistema A na fase de Caracterização

Categoria de impacto	Unidade	Fabrico	Transporte	Aplicação	Manutenção	Fim de vida
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	11,04231	0,232876	0,013317	15,70174	0,150533
Diminuição da camada de ozono	kg CFC- 11 eq	1,27E-06	3,26E-08	9,88E-10	2,78E-06	1,11E-08
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,016491	0,000252	5,63E-06	0,014881	0,000135
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,046099	0,000651	7,73E-05	0,083955	0,00045
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,014336	0,000186	2,29E-05	0,034633	0,000352
Energia primária	MJ eq	214,3275	3,839504	0,183361	310,4546	1,312115

A fase de manutenção dos sistemas *ETICS* é aquela que apresenta maiores contributos para o impacto ambiental de todas as categorias, à exceção da categoria oxidação fotoquímica, na qual a fase de fabrico tem uma maior contribuição. Na fase de manutenção, os processos aos quais estão associados o maior impacto ambiental são a produção de dióxido de titânio, importante pigmento⁶ utilizado na tinta que constitui o primário de regularização de fundo e acabamento.

Por outro lado, o processo de fabrico do poliestireno expansível (PS) é aquele que contribui maioritariamente para o impacto ambiental na categoria oxidação fotoquímica, a mesma que está associada à libertação de gases que sofrem transformações fotoquímicas que levam à formação de ozono.

b) Sistema *ETICS* B

No que diz respeito ao sistema B, a Figura 4.8 demonstra a rede associada ao mesmo, para a categoria de impacto ambiental aquecimento global.

⁶ Material que muda a cor da luz transmitida ou refletida como resultado de uma absorção seletiva de um dado comprimento de onda. São utilizados nas tintas para lhes conferir cor.

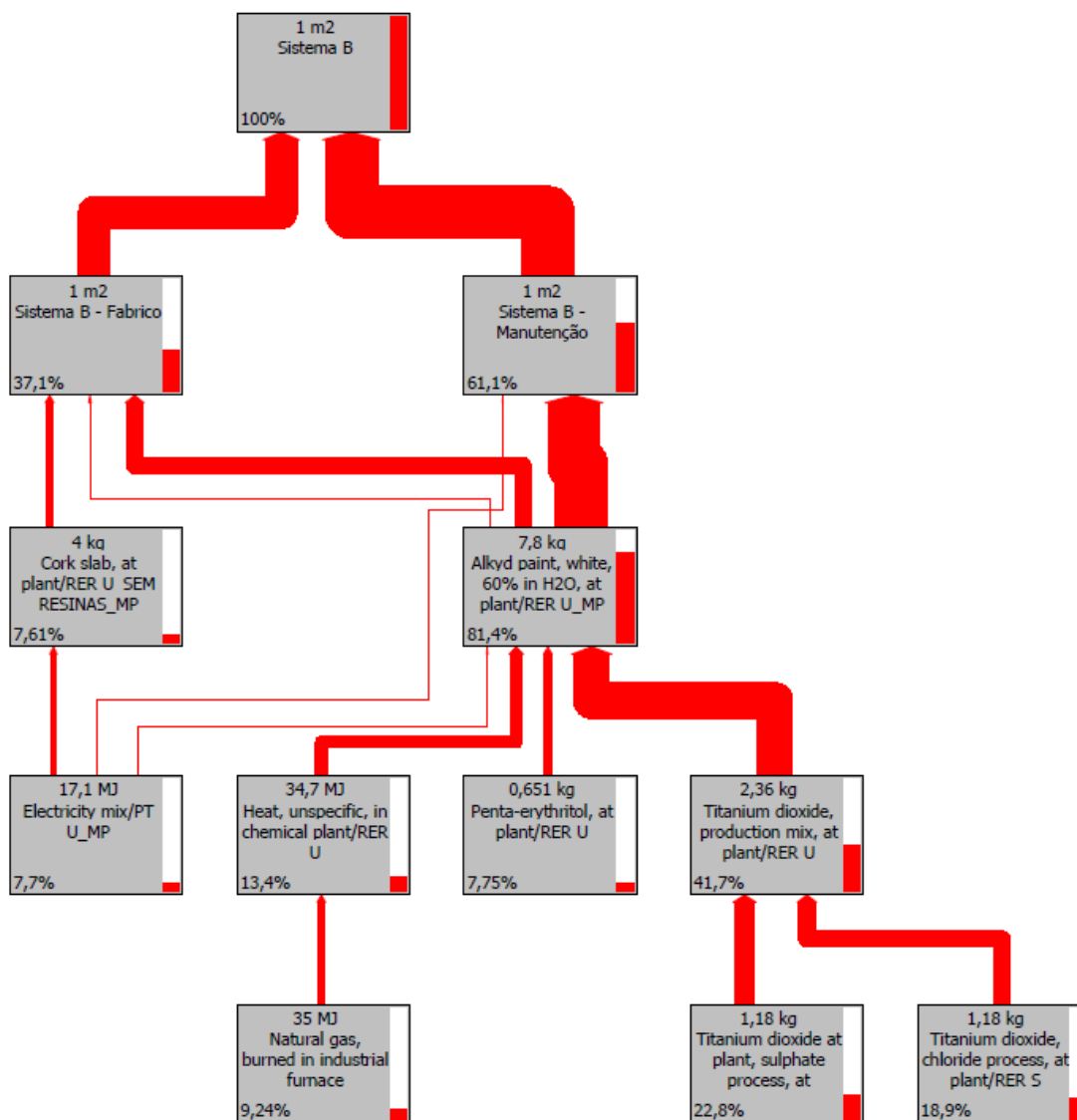


Figura 4.8: Representação esquemática da contribuição dos processos unitários do sistema B para a categoria de impacto ambiental aquecimento global. Apenas são visíveis 12 em 2021 (0.59%) processos que constituem o ciclo de vida do sistema B.

Em relação ao sistema B apenas são visíveis no diagrama da Figura 4.8 os processos associados à etapa de fabrico e manutenção do sistema B, respetivamente, com uma contribuição para a categoria aquecimento global de 37,1% e 61,1%. Significa assim que as etapas de fabrico e manutenção do sistema B são predominantes perante a fase de transporte, aplicação e tratamentos de fim de vida, sendo que estas últimas apenas contribuem com 1,8%. A predominância da fase de fabrico e manutenção do sistema B está sobretudo associada ao processo de fabrico do ICB e do fabrico da tinta que constitui o primário de regularização de fundo e o acabamento dos sistemas *ETICS*, à semelhança do que ocorre no sistema A.

Na Figura 4.9, são apresentadas as contribuições das várias etapas do ciclo de vida do sistema B para cada categoria de impacte ambiental, em termos percentuais.

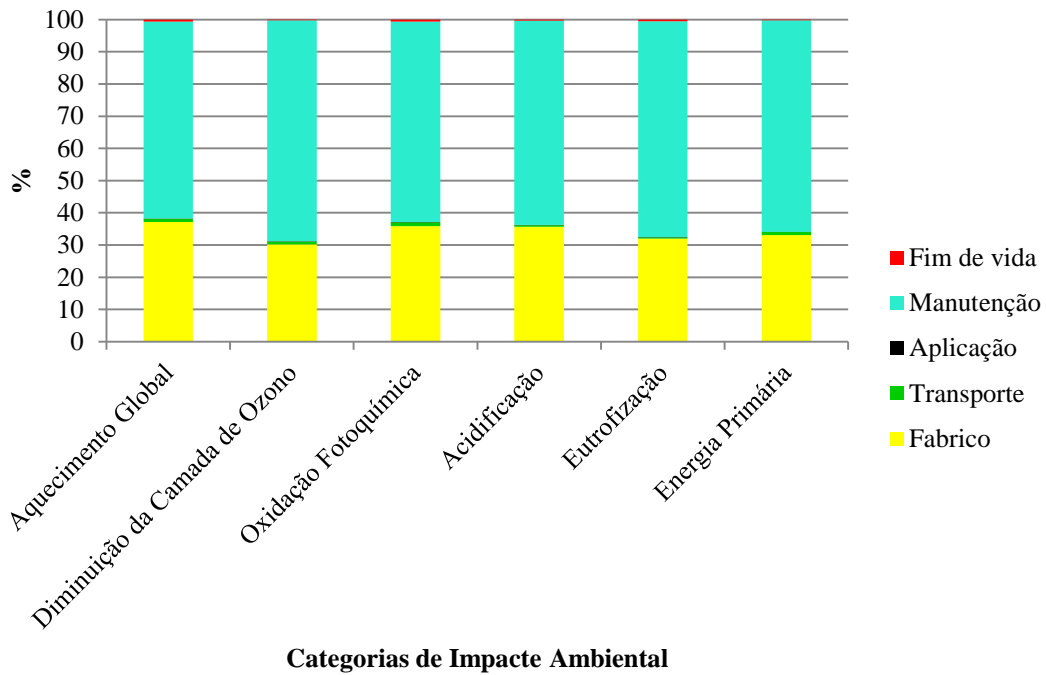


Figura 4.9: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema B para cada categoria de impacte ambiental, na fase de Caracterização

Na Tabela 4.9 são enunciados todos os resultados das contribuições de cada etapa do ciclo de vida do sistema B, para cada categoria de impacte ambiental. De modo a complementar o gráfico anterior, esta tabela representa as mesmas contribuições, mas de uma forma quantitativa.

Tabela 4.9: Valores absolutos obtidos para o sistema B na fase de Caracterização

Categoria de impacte	Unidade	Fabrico	Transporte	Aplicação	Manutenção	Fim de vida
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	9,547384	0,264997	0,013317	15,70174	0,174062
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	1,23E-06	3,71E-08	9,88E-10	2,78E-06	1,11E-08
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,008577	0,000287	5,63E-06	0,014881	0,000141
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,047162	0,000741	7,73E-05	0,083955	0,000449
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,016546	0,000212	2,29E-05	0,034633	0,000257
Energia primária	MJ eq	156,7071	4,369091	0,183361	310,4546	1,306702

A fase de manutenção dos sistemas *ETICS* é aquela que apresenta maiores contributos para o impacte ambiental em todas as categorias, sem exceção. Na fase de manutenção os processos aos quais estão associados o maior impacte ambiental são a produção de dióxido de titânio, à semelhança do que acontece no sistema B, em virtude de os processos de manutenção aplicados serem iguais.

4.5.4 Análise do impacte ambiental do Sistemas A e B na fase de Normalização

Como foi referido anteriormente, na metodologia utilizada, *EPD (2008)*, a fase de Normalização não é utilizada. Neste sentido optou-se por calcular os resultados da etapa de Normalização com recurso à ferramenta de cálculo Microsoft® Excel. Os resultados da fase de caracterização anteriormente apresentados na Tabela 4.8 (sistema A) e Tabela 4.9 (sistema B), foram multiplicados pelos fatores de Normalização presente na Tabela 4.3.

a) Sistema *ETICS* A

Na Tabela 4.10 são apresentados os resultados calculados para a etapa de Normalização do sistema A.

Tabela 4.10: Valores absolutos obtidos para o sistema A na fase de Normalização

Categoria de impacte	Unidade	Fabrico	Transporte	Aplicação	Manutenção	Fim de vida
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	0,000900	1,90E-05	1,09E-06	0,001280	1,23E-05
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	4,25E-06	1,09E-07	3,29E-09	9,27E-06	3,71E-08
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,000512	7,82E-06	1,75E-07	0,000462	4,18E-06
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,000782	1,11E-05	1,31E-06	0,001425	7,64E-06
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,001792	2,33E-05	2,87E-06	0,004329	4,39E-05
Energia primária	MJ eq	0,001405	2,52E-05	1,20E-06	0,002035	8,60E-06

Na Figura 4.10 são apresentadas graficamente as contribuições das várias etapas do ciclo de vida do sistema A para cada categoria de impacte ambiental, na etapa de Normalização.

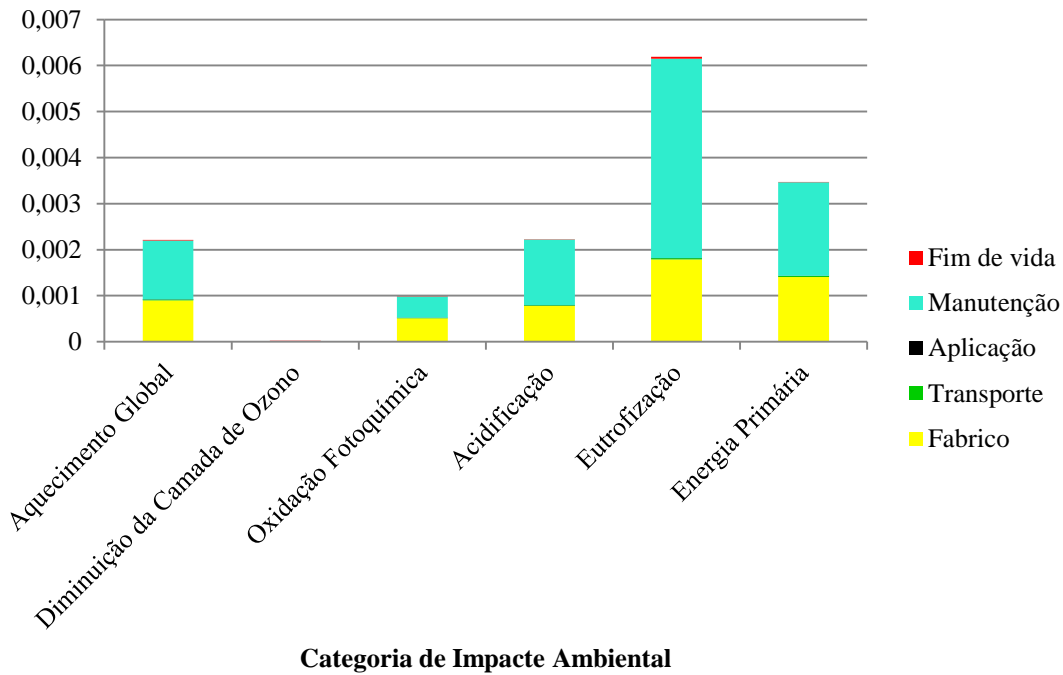


Figura 4.10: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema A para cada categoria de impacto ambiental, na fase de Normalização

Após a normalização dos resultados, podemos analisar que existem resultados muito díspares entre cada categoria de impacto ambiental. A categoria de impacto ambiental diminuição da camada de ozono apresenta resultados pouco preocupantes em relação às demais categorias, apresentando valores normalizados muito próximos do zero. A categoria de impacto eutrofização, que diz respeito à poluição da água, é aquela onde o ciclo de vida do sistema A apresenta maiores contribuições para o impacto ambiental, principalmente devido a fase de manutenção e fabrico dos componentes do sistema *ETICS*.

Por outro lado, as contribuições para a categoria de impacto ambiental energia primária são, a seguir à eutrofização, as contribuições mais elevadas que são produzidos pelo sistema A.

Importa também referir que na categorial de impacto ambiental oxidação fotoquímica as maiores contribuições provêm da fase de fabrico dos componentes do sistema A, essencialmente por via do processo de fabrico do poliestireno expansível (PS).

b) Sistema *ETICS* B

Em relação à etapa de Normalização do sistema B, apresentam-se na Tabela 4.11 os resultados desta etapa, após aplicação dos coeficientes de normalização.

Tabela 4.11: Valores absolutos obtidos para o sistema B na fase de Normalização

Categoria de impacto	Unidade	Fabrico	Transporte	Aplicação	Manutenção	Fim de vida
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	0,000778	2,16E-05	1,09E-06	0,001280	1,42E-05
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	4,08E-06	1,24E-07	3,29E-09	9,27E-06	3,69E-08
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,000266	8,90E-06	1,75E-07	0,000462	4,39E-06
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,000801	1,26E-05	1,31E-06	0,001425	7,62E-06
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,002068	2,65E-05	2,87E-06	0,004329	3,22E-05
Energia primária	MJ eq	0,001027	2,86E-05	1,20E-06	0,002035	8,57E-06

Na Figura 4.11 são apresentadas graficamente as contribuições das várias etapas do ciclo de vida do sistema B para cada categoria de impacto ambiental, na etapa de Normalização.

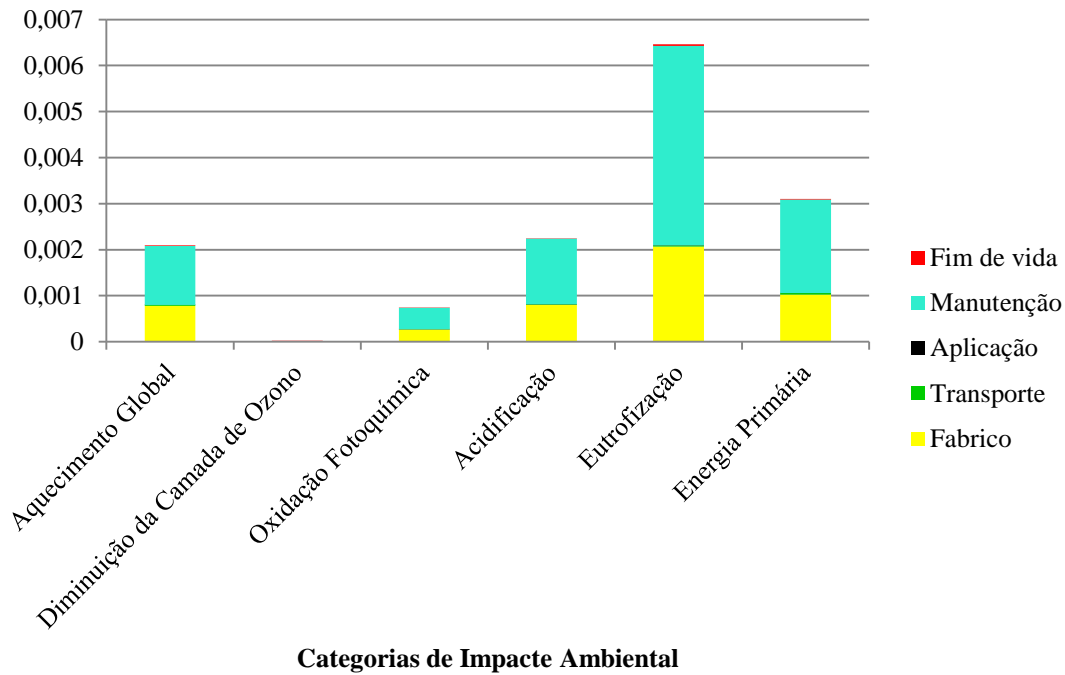


Figura 4.11: Contribuição das várias etapas do ciclo de vida do sistema B para cada categoria de impacto ambiental, na fase de Normalização

Em relação à etapa de Normalização do sistema B, as análises a efetuar são idênticas às análises elaboradas anteriormente para o sistema A.

A categoria de impacto ambiental diminuição da camada de ozono apresenta resultados pouco preocupantes em relação às demais categorias, apresentando valores normalizados muito próximos do zero. A categoria de impacto eutrofização, que diz respeito à poluição da água, é aquela onde o ciclo de vida do sistema B apresenta maiores contribuições para o impacto ambiental, principalmente devido a fase de manutenção e fabrico dos componentes do sistema *ETICS*.

Por outro lado, as contribuições para a categoria de impacto ambiental energia primária são, a seguir à eutrofização, as contribuições mais elevadas que são produzidos pelo sistema B.

4.5.5 Análise comparativa dos impactes ambientais dos sistemas A e B

Na sequência da interpretação e análise dos resultados do sistema A e B individualmente, faz-se, nesta secção, uma análise comparativa entre o sistema A e B, nas etapas de Caracterização e Normalização.

Na Figura 4.12 apresentam-se os resultados da análise comparativa entre os dois sistemas ETICS, para a etapa de Caracterização. O software SimaPro® não só faz análises de uma forma individual como também permite fazer uma comparação entre quaisquer produtos, processos ou sistemas.

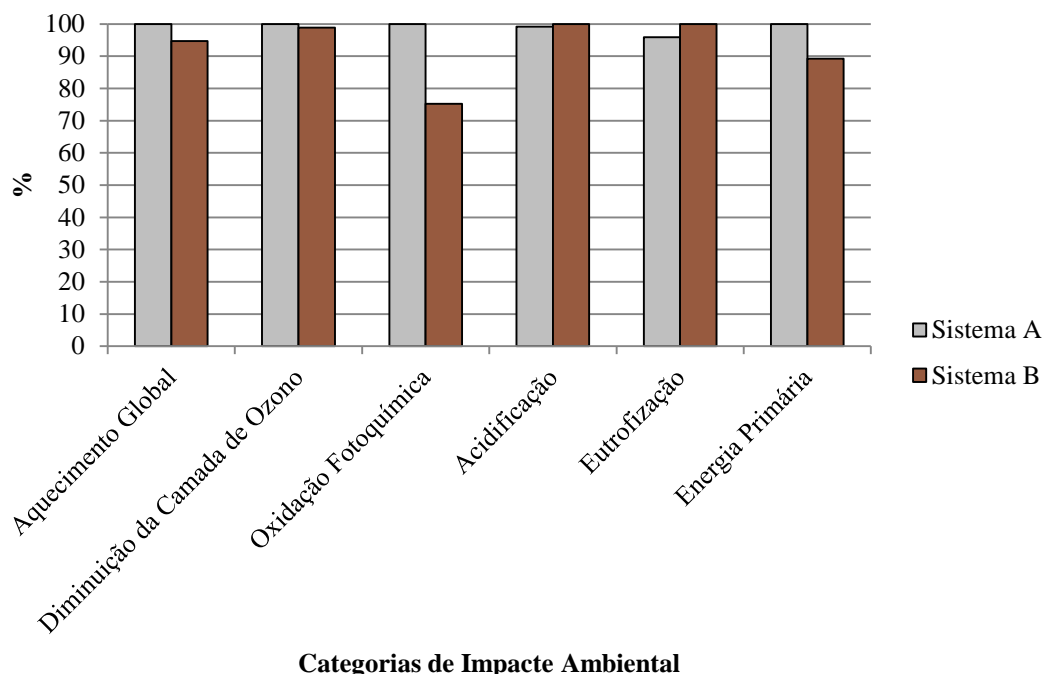


Figura 4.12: Comparação entre as contribuições do sistema A e do sistema B para o impacto ambiental, na fase de Caracterização

Na Tabela 4.12 são apresentados os valores absolutos do sistema A e B para a etapa de Caracterização.

Tabela 4.12: Valores absolutos do sistema A e do sistema B, na fase de Caracterização

Categoria de impacto	Unidade	Sistema A	Sistema B
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	27,14077	25,7015
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	4,1E-06	4,06E-06
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,031765	0,023891
Acidificação	Kg SO ₂ eq	0,131233	0,132384
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,04953	0,051671
Energia primária	MJ eq	530,1171	473,0208

Na Figura 4.13 apresenta-se uma comparação entre os impactos ambientais entre o sistema A e B, após a normalização dos resultados anteriores.

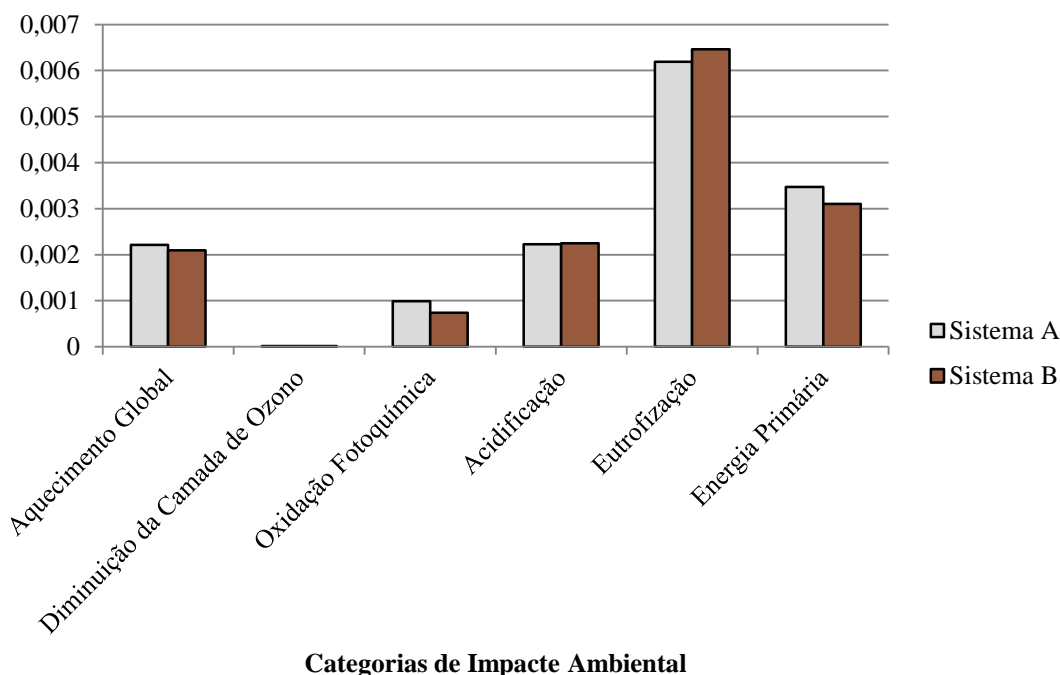


Figura 4.13: Comparação entre as contribuições para o impacte ambiental do sistema A e do sistema B, na fase de Normalização

Na Tabela 4.13 são apresentados os valores absolutos do sistema A e B para a etapa de Normalização.

Tabela 4.13: Valores absolutos do sistema A e do sistema B, na fase de Normalização

Categoria de impacte	Unidade	Sistema A	Sistema B
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	0,002212	0,002095
Diminuição da camada de ozono	kg CFC-11 eq	1,37E-05	1,35E-05
Oxidação fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,000986	0,000742
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,002228	0,002248
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,006191	0,006459
Energia primária	MJ eq	0,003475	0,003101

Verifica-se que ambos os sistemas (A e B) contribuem para a totalidade das categorias de impacte da metodologia de avaliação de impacte *EPD (2008)*, estas que são aquecimento global, diminuição da camada de ozono, oxidação fotoquímica, acidificação, eutrofização (poluição da água) e energia primária.

O sistema A contribui maioritariamente para quatro categorias de impacte ambiental, sendo estas o aquecimento global, a diminuição da camada de ozono, a oxidação

fotoquímica e a energia primária. Nas categorias de impacto eutrofização e acidificação, o sistema B tem uma maior contribuição.

5 CONCLUSÕES, DESENVOLVIMENTOS FUTUROS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Nesta secção são retiradas as principais conclusões acerca do desempenho ambiental individual dos sistemas *ETICS* em estudo, ou seja, o sistema A, com isolante em EPS, e o sistema B, com isolante em ICB. A análise é efetuada com base nos resultados obtidos na etapa de Caracterização e Normalização. Posteriormente são identificadas as principais substâncias e processos que contribuem maioritariamente para o impacte ambiental dos sistemas, em cada categoria de impacte ambiental.

Com o objetivo de verificar qual dos sistemas *ETICS* têm maior contribuição ambiental, foi efetuada uma análise comparativa entre os mesmos, partindo de uma unidade funcional comum e que foi utilizada em todo este estudo: 1 m² de sistema *ETICS* que tem um isolante térmico com uma resistência térmica de 1 m².k/W. Nesta análise comparativa são retiradas conclusões sobre os resultados obtidos na etapa de Caracterização e Normalização.

No que se refere ao sistema A na etapa de Caracterização, conclui-se que contribui para as seis categorias de impacte ambiental presentes na metodologia de avaliação de impacte *EPD (2008)*, sendo estas o aquecimento global, diminuição da camada de ozono, oxidação fotoquímica, acidificação, eutrofização e energia primária. No que se refere à etapa de Normalização, conclui-se que as categorias que apresentam uma contribuição predominante são a eutrofização e a energia primária.

Constata-se que para a eutrofização têm contribuição maioritária a fase de manutenção, seguida da fase de fabrico dos componentes do sistema, em especial devido ao processo de fabrico do pigmento da tinta de acabamento dióxido de titânio, que liberta essencialmente fosfato e nitrato em meio hídrico.

Para a categoria de impacte energia primária tem contribuição maioritária o processo de fabrico do dióxido de titânio, o qual consome uma grande quantidade de energia elétrica da rede.

Acidificação é a terceira categoria para a qual existe uma maior contribuição. O processo que contribui maioritariamente para esta categoria de impacto é o fabrico de dióxido de titânio, na qual são libertados gases que provocam chuvas ácidas, tais como o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio (ou óxidos de azoto) e amoníaco.

O aquecimento global é a quarta categoria para a qual existe uma maior contribuição. O processo que contribui maioritariamente para esta categoria de impacto é novamente o fabrico do dióxido de titânio, no qual são libertados gases que provocam o aumento da temperatura como o dióxido de carbono, o metano, o monóxido de dinitrogênio e o monóxido de carbono.

Para categoria de impacto oxidação fotoquímica, a fase de fabrico dos componentes é a única que é ligeiramente mais contributiva que a fase de manutenção, em virtude da maior contribuição do processo de fabrico do poliestireno expansível bem como da moldagem final do granulado de poliestireno expansível, através dos quais são libertados para a atmosfera gases como os *NMVOC (Non-Methane volatile Organic Compounds)* o pentano, o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono e o metano.

Na categoria de impacto diminuição da camada de ozono as contribuições são bastantes reduzidas e, por isso, são consideradas desprezáveis.

No que se refere ao sistema B na etapa de Caracterização, conclui-se que, tal como o sistema A, contribui para as seis categorias de impacto ambiental presentes na metodologia de avaliação de impacto *EPD (2008)*. No que se refere à etapa de Normalização conclui-se que as categorias que apresentam uma contribuição predominante são a eutrofização e a energia primária.

Constata-se que para a eutrofização têm contribuição maioritária a fase de manutenção, seguida da fase de fabrico dos componentes do sistema, essencialmente devido ao processo de fabrico do pigmento dióxido de titânio, que liberta sobretudo nitrato, fosfato e fosforo em meio hídrico.

Para a categoria de impacto energia primária tem contribuição maioritária o processo de fabrico do dióxido de titânio, o qual consome uma grande quantidade de energia elétrica da rede.

Acidificação é a terceira categoria para a qual existe uma maior contribuição. O processo que contribui maioritariamente para esta categoria de impacte é o fabrico de dióxido de titânio, durante a qual são libertados gases que provocam chuvas ácidas, tais como o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio (ou óxidos de azoto) e amoníaco.

O aquecimento global é a quarta categoria para a qual existe uma maior contribuição. O processo que contribui maioritariamente para esta categoria de impacte é novamente o processo de fabrico do dióxido de titânio, no qual são libertados gases que provocam o aumento da temperatura tais como o dióxido de carbono, o metano e monóxido de dinitrogênio.

Na categoria de impacte oxidação fotoquímica, também a fase de manutenção é aquela que apresenta maiores contributos, maioritariamente devido ao processo de fabrico do dióxido de titânio, através dos quais são libertados gases como os NMVOC, o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono e o hexano.

Na categoria de impacte diminuição da camada de ozono as contribuições são bastantes reduzidas e, por isso, são consideradas desprezáveis.

Se compararmos os sistemas *ETICS*, conclui-se que, para a etapa de Caracterização, para a mesma unidade funcional (1 m² de sistema *ETICS*), o sistema A apresenta 4 categorias de impacte ambiental com valores absolutos mais elevados do que o sistema B (aquecimento global, diminuição da camada de ozono, a oxidação fotoquímica e a energia primária). O sistema A apenas apresenta valores mais baixos nas categorias de impacte ambiental acidificação e eutrofização.

Em relação à etapa de Normalização conclui-se que em ambos os sistemas *ETICS* as categorias de impacte para as quais existem maiores contribuições são a eutrofização (poluição da água) e a energia primária. O sistema A, com isolante em EPS, apresenta valores de contribuição para o impacte ambiental superiores na maioria das categorias de impacte ambiental, quando comparado com o sistema B, com isolante em ICB.

Com conclusão final de todo este estudo, pode-se afirmar que o sistema B, com material isolante em ICB, recorrendo à técnica de ACV, apresenta um desempenho ambiental mais favorável quando comparado com o sistema A, com material isolante

em EPS. Se fosse considerada uma metodologia que tivesse em conta uma etapa de ponderação, na qual são considerados fatores que atribuem um grau de importância ambiental de cada categoria de impacte, estas conclusões poderiam ser ainda mais claras. No entanto, a metodologia de impacte adotada, *EPD (2008)*, não tem em conta a etapa de ponderação.

É também bastante importante concluir que, ao contrário do que inicialmente era previsível, as maiores contribuições para o impacte ambiental de ambos os sistemas *ETICS* não têm origem nos materiais isolantes, mas sim nas tintas utilizadas como primário de regularização de fundo e de acabamento.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os desenvolvimentos indicados para futuros estudos de ACV vão essencialmente de encontro às limitações indicadas na secção 4.2.4. Estas sugestões têm como objetivo um melhoramento do estudo de ACV elaborado, com vista a resultados mais próximos da realidade. Sendo assim, sugerem-se os seguintes desenvolvimentos futuros por forma a potencializar um estudo de ACV de sistemas *ETICS*:

- visto que a ACV permite fundamentar os critérios de atribuição de *Declarações Ambientais do Produto (DAP)*, a construção deste documento para cada um dos sistemas *ETICS* seria um trabalho que se poderia desenvolver futuramente;
- era importante que se construíssem processos na bases de dados que reproduzisse os processos de fabrico em Portugal. Sendo assim, o contacto mais aprofundado com as principais empresas que fabricam os componentes de um sistema *ETICS*, bem como a emissão de questionários às mesmas, seria uma opção que, com certeza, levaria a resultados e conclusões mais aproximados da realidade;
- neste estudo de ACV não foram tomados em consideração os acessórios dos *ETICS* descritos na secção 2.2.9. Destes acessórios fazem parte os perfis de arranque, os perfis de esquina, perfis de remate com janela e perfis de remate para junta de dilatação. Sendo os referidos perfis essencialmente metálicos e em PVC, seria importante quantificar os mesmos para a unidade funcional

utilizada neste estudo (1 m²) e inclui-los num futuro estudo de ACV de sistemas *ETICS*;

- em termos de tratamento de fim de vida, em nenhum componente dos sistemas *ETICS* foi considerada a reciclagem, em virtude da ausência de processos nas base de dado para este fim. Como foi referenciado ao longo da descrição dos componentes de um sistema *ETICS*, existem muitas possibilidades de reciclagem para os mesmos. A construção de processos na bases de dados que permitam simular a reciclagem destes componentes seria uma opção que conduziria a resultados de impactes ambientais mais favoráveis aos sistemas em estudo;
- visto que para a fase de desconstrução de um sistema *ETICS* não foram consideradas no Inventário do Ciclo de Vida quaisquer *inputs* de materiais e/ou energia, seria importante aprofundar o conhecimento sobre esta fase do ciclo de vida de um sistema *ETICS* e saber qual a sua contribuição para o impacte ambiental total desta solução;
- a falta de informação sobre a composição da argamassa que constitui o produto de colagem e a camada de base de um sistema *ETICS* pode conduzir a resultados mais afastados da realidade. Neste estudo foi considerado uma argamassa que utiliza o cimento como ligante, ao traço 1:5. No entanto, conforme o fabricante da referida argamassa, a sua composição poderá incluir outros ligantes, agregados ou fibras que não foram tomados em consideração. Um contacto mais aprofundado com as empresas que fabricam este tipo de argamassas poderá ser bastante importante para um futuro estudo de ACV. O mesmo se aplica à tinta que constitui o primário de regularização de fundo e o acabamento, cuja sua composição não é totalmente conhecida;
- neste estudo de ACV não foi tomado em consideração o suporte da solução *ETICS*. Sendo assim, poderá tomar-se em conta o pano de alvenaria que suporta o sistema *ETICS* e, posteriormente, fazer-se uma comparação entre uma solução de isolamento térmico pelo exterior e uma solução de isolamento através de dois panos de alvenaria com isolante entre os mesmos (parede dupla), através da metodologia de ACV.

Para além destas sugestões de desenvolvimentos futuros existem outras que são alternativas ao presente estudo de ACV, mas que também permitem obter resultados comparáveis com o mesmo:

- o método de avaliação de impacte a que se recorreu foi o *EPD (2008)*, que foi especificamente desenvolvido para a elaboração de Declarações Ambientais do Produto. Futuramente poderá ser desenvolvido um estudo de ACV em sistemas *ETICS* recorrendo a outras metodologias, como por exemplo a metodologia *CML Baseline 2000*, que contempla a etapa de Normalização e entra em conta com outras categorias de impacte ambiental, como Depleção Abiótica e a Toxicidade Humana. Outra metodologia a que se poderia recorrer seria a *Impact 2002+* que, para além de considerar mais categorias de impacte ambiental, recorre às ferramentas de avaliação de danos, ponderação e pontuação única;
- o recurso a outro(s) *software(s)* de ACV poderia ser uma mais valia em termos de comparação de resultados. A ferramenta informática *Gabi®*, desenvolvida na Alemanha, poderia ser uma outra solução. Para além deste *software* de ACV mais generalistas, existem outras ferramentas mais direccionadas para o setor da construção civil e que poderiam, também eles, ser uma mais-valia para um estudo de ACV. São exemplo destas ferramentas o *BEEES*, dos Estados Unidos da América, e o *SBS*, desenvolvido na Alemanha, tal como foi referido na secção 3.4;
- no presente estudo de ACV foi considerada uma solução mais convencional de sistemas *ETICS*. Para além destas soluções, poderiam ser estudadas outras soluções, que diferissem, por exemplo, no material isolante utilizado ou mesmo no acabamento. No caso dos materiais isolantes poderia ser considerado uma solução alternativa com XPS e/ou com Lã Mineral (MW). No caso do acabamento, ao invés da utilização de tintas, poderia ser considerado uma solução *ETICS* com acabamento em ladrilhos cerâmicos. Todos estes resultados seriam posteriormente comparáveis com os impactes ambientais associados aos sistemas *ETICS* estudados nesta dissertação;
- existe uma série de estudos de ACV que são elaborados para um edifício. Geralmente, nestes estudos, são analisados os elementos básicos de um

edifício, tais como elementos estruturais em betão, argamassas e alvenaria. No entanto é também importante elaborar estudos de ACV de outros elementos mais específicos da construção civil, para que haja estudos de soluções mais específicas. São exemplos destas soluções, as caixilharias, as coberturas, as impermeabilizações ou os pavimentos;

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ACV é uma ferramenta cada vez mais importante para a Gestão Ambiental e para a melhoria de produtos, processos ou sistemas. Promovendo a melhoria dos aspetos ambientais, pode também atingir-se uma melhoria dos aspetos económicos, visto que os recursos passam a ser melhor utilizados. A ACV, por ser baseada em modelos qualitativos e quantitativos, apresenta-se como uma ferramenta bastante clara e objetiva, permitindo retirar conclusões claras para que, futuramente, sejam tomadas decisões mais eficazes para o desenvolvimento e para a reformulação de produtos. Uma das grandes vantagens da ACV está relacionada com a possibilidade de se analisar todo o ciclo de vida de um produto, processo ou sistema, não sendo restrito apenas a algumas fases do ciclo de vida de um produto.

Estando a sociedade atual cada vez mais consciente de que os recursos naturais podem escassear, a aplicação dos conceitos associados à sustentabilidade e a implementação de soluções que visam promover a preservação dos recursos naturais representam uma forma para se contornar a situação à qual o meio ambiente foi e está a ser submetido. Não apenas através de sofisticadas ferramentas de gestão ambiental, mas também através de simples iniciativas e atitudes no quotidiano será possível alcançar o desenvolvimento sustentável que tanto se fala nos tempos que decorrem.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2AB. 2006. *2AB. Máquinas & Equipamentos.* [Online] 29 de Dezembro de 2006. [Citação: 21 de Novembro de 2013.] http://www.2ab.pt/images/machine/Betoneiras_Volante.pdf.

ADENE. 2011. *Perguntas & Respostas sobre o RCCTE.* s.l. : ADENE, 2011.

Almeida, Marisa, et al. 2011. *A Declaração ambiental de produto para materiais de construção.* Guimarães : Universidade de Aveiro, 2011.

Amaro, Bárbara e Saraiva, Diogo. 2012. *Sistema de inspeção e diagnóstico de ETICS em paredes.* Lisboa : s.n., 2012.

AMORIM. 2007. *A Cortiça. Amorim.* [Online] 1 de Maio de 2007. [Citação: 2 de Agosto de 2013.] http://www.amorim.com/cor_glob_cortica.php.

APFAC. 2012. *Argamassas fabris e ETICS em Portugal, ano 2012.* Lisboa : APFAC, 2012.

AQC. 2013. *Agence Qualité Construction.* [Online] 6 de Junho de 2013. [Citação: 12 de Julho de 2013.] <http://www.qualiteconstruction.com/>.

Baldi, Andressa e Houang, Paul. 2011. *Análise de Ciclo de Vida aplicada às Argamassas Industriais.* Weber, Saint-Gobain : s.n., 2011.

Berge, Bjorn. 2009. *The Ecology of Building Materials.* s.l. : Elsevier Science, 2009. 978-1-85617-537-1.

Bessa, Paulo. 2011. *Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos de base florestal.* Lisboa : Amorim, 2011.

Caiado, Alessandra. 2011. *Selos Verdes e Greenwashing – Parte 2 . Auto-certificações. Materiais Sustentáveis.* [Online] Wordpress, 10 de Janeiro de 2011. [Citação: 13 de Maio de 2013.] <http://materiaissustentaveis.com/2012/01/10/selos-verdes-e-greenwashing-parte-ii-auto-certificacoes/>.

Chandler, J. A., et al. 1980. *Predicting methane fermentation biodegradability. Biotechnology and Bioengineering Symposium.* 1980.

Couto, Diana. 2011. *Declaração Ambiental de Produtos de Construção (Estudo de Caso)*. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2011.

Cruz, Maria João e Braz, Rui. 2009. A eutrofização dos sistemas aquáticos. *Naturlink*. [Online] Naturlink, 2009. [Citação: 14 de Outubro de 2013.] <http://naturlink.sapo.pt/NaturSAPO/Artigos/content/A-eutrofizacao-dos-sistemas-aquaticos?bl=1&viewall=true>.

da Silva, Rui Pedro. 2009. *Análise de Ciclo de Vida da rolha de cortiça natural*. Porto : FEUP, 2009.

dapHabitat. 2013. *Os benefícios duma Declaração Ambiental de Produto (DAP) para o mercado de produtos e serviços de construção*. s.l. : dapHabitat, 2013.

de Medeiros, Hermano. 1978. *Aglomerados Negros de Cortiça: bases e esquemas de aplicação na Construção Civil*. Porto : ISOCOR, 1978.

Decreto-Lei n.º 130/2013 de 10 de Setembro. 2013. Diário da República, 1.ª série, N.º 174, 10 de setembro de 2013.

Decreto-Lei n.º 38/382 de 7 de Agosto de 1951. Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU). 1951. Diário da República, I série, N.º 166, 7 de Agosto de 1951.

Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de Fevereiro. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). 1990. Diário da República, I série, N.º 31, 6 de Fevereiro de 1951.

Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). 2006. Diário da República, I série-A, N.º 67, 6 de Abril de 2006.

Decreto-Lei n.º 99/2005 de 21 de Junho. 2005. s.l. : Diário da República, I série-A, N.º117, 21 de Junho de 2005, 2005.

dos Santos, C.A. Pina e Matias, Luís. 2006. *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa : LNEC, 2006.

Duarte, Carlos. 2012. *Reabilitação Energética de Edifícios: contribuição dos ETICS e das Argamassas Térmicas*. Lisboa : APFAC, 2012.

EOTA. 2008. *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*. Bruxelas : EOTA, 2008.

Ferrão, Paulo Cadete. 1998. *Introdução à Gestão Ambiental: a Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos*. Lisboa : IST Press, 1998. 972-8469-05-5.

Ferreira, Denise de Brum. 1995. *O ozono fotoquímico e o aumento das propriedades oxidantes da troposfera: um problema ambiental global*. Lisboa : FLUL, 1995.

Ferreira, José Vicente Rodrigues. 2004. *Análise de Ciclo de Vida dos Produtos*. Viseu : Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

Flores, Inês, et al. 2012. *Levantamento estatístico da inpecção, diagnóstico e reparação de ETICS em paredes*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2012.

FuturEng. 2010. EPS. *FuturEng*. [Online] 17 de Fevereiro de 2010. [Citação: 13 de Julho de 2007.] <http://www.futureng.pt/eps>.

—. 2010. ETICS. *FuturEng*. [Online] 17 de Fevereiro de 2010. [Citação: 2013 de Junho de 13.] <http://www.futureng.pt/etics>.

Getep. 2009. Energia Primária. *Getep*. [Online] 01 de Julho de 2009. [Citação: 14 de Novembro de 2013.] http://www.getep.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=50&Itemid=42.

Gil, Luís. 2008. *A cortiça como material de construção. Manual Técnico*. Santa Maria de Lamas : APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, 2008.

Goedkoop, Mark, et al. 2010. *Database Manual: Methods Library*. Netherlands : PRé Consultants, 2010.

Hammond, Geoffrey e Jones, Craig. 2008. *Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. Bath : University of Bath, 2008.

Huijbregts, M.A.J., et al. 2003. *Normalisation figures for environmental life-cycle assessment The Netherlands (1997/1998), Western Europe (1995) and the world (1990 and 1995).* s.l. : Journal of Cleaner Production, 2003.

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. 2004. Avaliação do Ciclo de Vida. *Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia* . [Online] Plone Content Management System, 12 de Agosto de 2004. [Citação: 2 de Maio de 2013.] <http://acv.ibict.br/>.

IPQ. 2008. *NP EN ISO 14021 - Rótulos e declarações ambientais. Autodeclarações ambientais (Rotulagem ambiental Tipo II).* s.l. : IPQ, 2008.

— **2008.** *NP EN ISO 14040 - Gestão ambiental. Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e enquadramento.* s.l. : IPQ, 2008.

— **2010.** *NP EN ISO 14044 - Gestão ambiental. Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e linhas de orientação.* 2010.

— **2009.** *NP ISO 14025 - Rótulos e declarações ambientais. Declarações ambientais Tipo III: Princípios e procedimentos.* s.l. : IPQ, 2009.

Jesus, Carlos e Bessa, Paulo. 2008. *Análise de Ciclo de Vida dos vedantes de Cortiça, Alumínio e Plástico.* s.l. : Amorim, 2008.

Justino, Clara. 2008. *Auto-Declarações Ambientais.* s.l. : Start-IPP, 2008.

LeroyMerlin. 2013. Lavadora de alta pressão Karcher K3200. *Leroy Merlin*. [Online] Leroy Merlin, 27 de Março de 2013. [Citação: 2013 de Novembro de 14.] http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Jardim/Lavadoras-alta-pressao/16368240_LAP-KARCHER-K3200-1700W-420L-H.aspx.

LNEC. 2013. LNEC. *Produtos com Documento de Homologação já disponível em edição eletrónica.* [Online] LNEC, 31 de Agosto de 2013. [Citação: 25 de Junho de 2013.] <http://www.lnec.pt/qpe/>.

— **2012.** Qualidade de Produtos e Empreendimentos. *LNEC*. [Online] 30 de Janeiro de 2012. [Citação: 22 de Abril de 2013.] <http://www.lnec.pt/qpe>.

Logeais, Louis. 1988. *L'Isolation thermique par l'extérieur: enduit mince sur isolant*. Paris : Agence Qualité construction, 1988. 2905423102 9782905423108.

Lopes, Gil. 2011. *Avaliação do Ciclo de Vida de dois materiais de isolamento utilizados na construção civil: o poliestireno expandido e o aglomerado de cortiça expandida*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

Lopes, Tiago. 2005. *Fenómenos de Pré-Patologia em Manutenção de Edifícios: Aplicação ao Revestimento ETICS*. Porto : FEUP, 2005.

Lucas, J. A. de Carvalho. 1990. *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. Lisboa : LNEC, 1990.

Lucas, José. 1990. *Classificação e Descrição Geral de Revestimentos para Paredes de Alvenaria ou de Betão*. Lisboa : LNEC, 1990. 978-972-49-1507-7.

Malanho, Sofia. 2012. *Avaliação do desempenho de ETICS com acabamento em ladrilhos cerâmicos*. Aveiro : Universidade de Aveiro, 2012.

Mendão, Juliana Vicente. 2011. *Sistema ETICS - Influência no comportamento térmico dos edifícios*. Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2011.

Monteiro, Ana David. 2011. *O impacto das energias renováveis na economia dos países emergentes: o caso de Cabo Verde*. Lisboa : ISCTE-IUL, 2011.

Neto, Abdala Carim Nabut. 2011. *Energia Incorporada e Emissões de CO2 de Fachadas. Estudo de Vaso Steel Frame para Utilização em Brasília*. Brasília : Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília, 2011. E.D.M.-009A/11.

Observatoire de la Qualité de la Construction. 2013. *SYCODÈS 2013 - Les indicateurs d'évolution de la qualité des constructions*. s.l. : Observatoire de la Qualité de la Construction, 2013.

Pedro, Diogo André Gomes. 2011. *Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus*. Lisboa : IST, 2011.

Pinheiro, Manuel Duarte. 2006. *Ambiente e Construção sustentável*. Amadora : Instituto do Ambiente, 2006. 972-8577-32-X.

Pinto, Armando Teófilo dos Santos. 2008. *Aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida à Análise Energética e Ambiental de Edifícios*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2008.

Pousa, César Augusto Paulo. 2008. *Desenvolvimento de Modelos Simplificados de Análise do Ciclo de Vida de Moldes de Injecção de Plástico*. Lisboa : Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

PRé Consultants. 2012. *pre-sustainability*. [Online] 31 de Agosto de 2012. [Citação: 2013 de Setembro de 25.] <http://www.pre-sustainability.com/>.

REN - Redes Energéticas Nacionais SGPS, S.A. 2013. *Dados Técnicos 2011*. Lisboa : REN, 2013.

Representações Esferovire, S.A. 2007. Esferovite. *Dryvit*. [Online] Representações Esferovire, S.A., 10 de Maio de 2007. [Citação: 14 de Agosto de 2013.] <http://www.dryvit.pt/mesfvit.htm>.

Ribeiro, João Filipe. 2012. *Sustentabilidade dos produtos de construção - Aplicação da Análise de Ciclo de Vida a um perfil de alumínio*. Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012.

Roche. 2007. O melanoma. *infoCancro*. [Online] Roche, 18 de Janeiro de 2007. [Citação: 1 de Dezembro de 2013.] <http://www.roche.pt/sites-tematicos/infocancro/index.cfm/tipos/melanoma/>.

Seleção de materiais de construção eco-eficientes. Parte 1. **Torgal, Fernando Pacheco e Jalali, Said. 2011.** *Materiais de construção sustentáveis*, Porto : Associação de Jovens Empresários, 2011. 0873-5271.

Silva, João. 2012. *Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção*. Lisboa : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.

Silvestre, José, Brito, Jorge e Pinheiro, Manuel. 2011. *Catálogo de Produtos Sustentáveis segundo o sistema LiderA: critérios para materiais de isolamento*. Congresso LiderA - IST : IST, 2011.

- Sousa, Luís Filipe. 2010.** *Durabilidade da construção. Estimativa da vida útil - ETICS*. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- Strapasson, Reinaldo. 2004.** *Valorização do polopropileno através de sua mistura e reciclagem*. Curitiba : Universidade Federal do Paraná, 2004.
- Tavares, Sérgio. 2006.** *Metodologia de Análise de Cilo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras*. Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- Teodoro, Nuno. 2011.** *Contribuição para a sustentabilidade na construção civil: reciclagem e reutilização de materiais*. Lisboa : IST, 2011.
- The Norwegian EPD Foundation. 2012.** *Product Category Rules - Insulation Materials*. s.l. : The Norwegian EPD Foundation, 2012.
- Trindade, Paula. 2009.** Rotulagem Ambiental. *Manual Prático para a Gestão Ambiental*. Lisboa : Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2009.
- Veiga, Maria do Rosário e dos Santos, C.A. Pina. 2009 a).** *Revestimentos de isolamento térmico de fachada: eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade*. s.l. : Construção Magazine, 2009 a).
- Veiga, Maria do Rosário. 2004.** *Acção de Formação sobre revestimentos Exteriores de Paredes*. Porto : Congresso Construção 2004, 2004.
- Veiga, Maria do Rosário e dos Santos, C.A. Pina. 2009 b).** *Contribuição dos revestimentos de fachada para a eficiência energética dos edifícios*. Lisboa: Centro Cultural de Belém : 4^{as} jornadas PINTUMED, 2009 b).
- Veiga, Maria do Rosário e Malanho, Sofia. 2010 a).** *Regras para a Consessão de uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) ou de um Documento de Homologação (DH) a Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)*. Lisboa : LNEC, 2010 a).
- **2010 b).** *Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): comportamento global e influência dos componentes*. Lisboa : LNEC, 2010 b).

Vicente, Carla Madalena. 2012. *Sistema de isolamento térmico pelo exterior (ETICS): reabilitação térmica em edifícios de habitação.* Lisboa : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.

World Commission on Environment and Development. 1987. *Our Common Future.* s.l. : Oxford University Press, 1987.

Zabalza, Ignacio, Aranda, Alfonso e Scarpellini, Sabina. 2012. *Manual explicativo da Avaliação de Ciclo de Vida aplicado ao setor da construção.* s.l. : LNEG, 2012.